



Université Catholique de Louvain
Faculté des bioingénieurs
Earth and Life Institute

Effet combiné du travail du sol et de la gestion de la fumure organique dans l'agrosystème cotonnier au Burkina Faso

Fabèkourè Cédric KAMBIRE

Septembre 2016

Thèse présentée en vue de l'obtention
du grade de Docteur en sciences
agronomiques et ingénierie biologique

MEMBRES DU JURY :

Président	: Prof. Bruno HENRY DE FRAHAN (UCL, Belgique)
Promoteur	: Prof. Charles L. BIELDERS (UCL, Belgique)
Co-Promoteur	: Prof. Marie-Paule KESTEMONT (UCL, Belgique)
Secrétaire	: Prof. Pierre BERTIN (UCL, Belgique)
Lecteurs	: Prof. Michel P. SEDOGO (INERA, Burkina Faso)
	: Prof. Laurent BOCK (ULg / Gembloux AgroBioTech)
	: Prof. Bruno DELVAUX (UCL, Belgique)

A mon épouse Alimata Pulchérie
et à nos enfants Flavien, Eden et Victoria.

Je puis tout par Celui qui me fortifie (Ph, 4/13)

Remerciements

Ce travail est le fruit d'un soutien multiforme pour lequel je voudrais dire ici toute ma reconnaissance. Tout d'abord, je tiens à remercier l'ADRI (UCL) qui a financé ma bourse de thèse. Au-delà de l'administration de l'ADRI, je voudrais exprimer ma gratitude à l'ensemble du personnel, et en particulier Mesdames Lucie Pétillon, Emmanuelle Paul, Danisa Zapparrata et Catherine Goossens pour tous les services obtenus.

Ce parcours est la suite d'une rencontre avec le Prof. Michel Installé en décembre 2005, qui m'a ensuite présenté au Prof. Marie-Paule Kestemont, puis au Prof. Bruno Delvaux en avril 2008, qui m'a dit ce jour «ne vous inquiétez pas, nous allons résoudre votre problème ». C'est ainsi qu'en mars 2009, j'ai rencontré le Prof Charles Bielders, le promoteur, pour finaliser le projet de thèse. Le problème étant résolu, je voudrais que chacune de ces personnes ci-dessus citées trouve en ce travail, un motif de satisfaction personnelle pour le maillon de contribution et de responsabilité assumée. Pour tout, je leur dis spécialement Merci.

J'exprime spécialement ma profonde gratitude à mon promoteur, le Prof. Bielders, pour sa disponibilité, les ressources pour les analyses de laboratoire, etc, ainsi que pour son soutien tout au long du parcours doctoral. J'associe à ces remerciements le co-promoteur, le Prof. Kestemont pour toute la charge assumée depuis le stade de projet de thèse. Mes remerciements vont également au Prof. Bruno Henry De Frahan, pour avoir accepté présidé le jury, aux Profs Bruno Delvaux, Laurent Bock, Pierre Bertin et Michel Sedogo pour l'intérêt porté à mon travail et pour les diverses contributions reçues. Encore merci au Prof. Bruno pour ses suggestions très précieuses. Pour avoir honoré sa promesse qui m'avait été faite à Rabat en 2004 et plus tard à Bobo-Dioulasso, j'ai voudrais remercier le Prof. Michel Sedogo pour sa disponibilité légendaire à accompagner la jeunesse scientifique.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du groupe GERU, dont les collègues doctorants, anciens et actuels. Je voudrais particulièrement remercier Mme Carine De Meyer pour ses services.

Pour les facilités administratives qui ont permis à cette formation d'aboutir, je voudrais remercier tous mes responsables hiérarchiques de l'IRSAT et du

Remerciements

CNSRT. Je tiens particulièrement à remercier le Dr Roger Nébié, pour le soutien personnel reçu, d'abord en 2005 pendant qu'il était DAP à l'IRSAT, puis en 2014 alors qu'il n'était plus au CNRST. Merci au Dr Nanéma Emmanuel pour sa disponibilité et son aide, et au Dr Medah Ignace pour son soutien constant et fraternel. Je joins à ces remerciements tous les collègues de l'IRSAT, dont Mesdames Cécile Toé et Patricia Ouédraogo.

Pour les parcelles expérimentales et son soutien constant, j'adresse ma profonde gratitude au Dr Koulibaly Bazoumana. Je remercie également le Dr Karim Traoré et Mr Souleymane Ouédraogo, successivement Chefs de Programme GRN/SP – Farako-Bâ, pour les facilités qui m'ont toujours été accordées à travers la production du compost et les analyses dans leur laboratoire. Pour leur appui très précieux, je dis un grand merci aux techniciens Amoro Ouattara le docteur, Mamourou Ouattara, Abou Jacques, Béré Michel, Barry, ainsi qu'aux ex-stagiaires Denis Tuina, Roxane et Emilie. Un grand merci au Dr Rouamba Jérémie pour son aide amicale pour les cartes.

Pour leur disponibilité et leur contribution diverses, je remercie vivement tous les producteurs partenaires de Kamadena, et en particulier Rouamba Madi, notre personne ressource et tuteur, pour l'hospitalité.

Je remercie Catherine Ep. Installé et Joëlle Kestemont pour les divers soutiens. Pour les moments de partage amical et fraternel, je remercie les amis et compatriotes, anciens et actuels de Louvain-la-Neuve, et en particulier l'Ab. Michel Bationo, Willy, Cornellia, Khaly, Constantin, Sheick et Issoufou.

Pour les gestes d'attention et de solidarité, merci à Augustine, Badri Traoré, Mohamed Coulibaly, Patrice & Angèle. Je remercie fraternellement Simon Pierre Kaboré, Euloge Tapsoba, Béatrice Mukamulindwa et les frères et sœurs de Isoko y'Ubugingo.

Enfin, je veux marquer spécialement ma profonde reconnaissance à mon épouse Pulchérie et à nos enfants Flavien, Eden et Victoria, pour le sacrifice consenti tout au long de ce travail, qui les a privés très souvent de ma présence.

Puisse l'Eternel rendre à chacun ses bienfaits et que toute la gloire Lui soit rendue !

Louvain-la-Neuve le 10 août 2016

Fabèkouré Cédric Kambiré

Table des matières

Remerciements.....	v
Résumé.....	xi
Liste des Figures.....	xii
Liste des Tableaux	xvi
Liste des Annexes.....	xx
Sigles et abréviations.....	xxi
Chapitre 1: Contexte et objectifs de l'étude	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 La pluviométrie.....	6
1.3 Les sols	8
1.4 La culture du coton au Burkina Faso	11
1.4.1 Importance de la culture du coton.....	11
1.4.2 Evolution de la production du coton au BFA	12
1.4.3 Evolution des pratiques culturales et de gestion de la fertilité des terres	14
1.4.4 Effet des pratiques culturales sur la fertilité des sols	16
1.4.4.1 Effet du travail mécanisé du sol sur l'érosion des sols	16
1.4.4.2 Effet du travail du sol sur la qualité des sols.....	16
1.4.4.3 Effet du travail du sol sur les rendements des cultures	18
1.4.4.4 Effet de la fertilisation organique sur le sol et les rendements	19
1.5 Les principaux objectifs de la thèse	22
1.6 Les principales parties de la thèse :.....	24
Chapitre 2: Optimizing indigenous soil fertility assessments. A case study in cotton-based systems in Burkina Faso	29
2.1 Introduction.....	29
2.2 Materials and methods	32
2.2.1 Study site.....	32
2.2.2 Selection of cotton plots	33
2.2.3 Physico-chemical characterization of the plots and soil fertility index	34
2.2.4 Indigenous soil fertility evaluation	35
2.2.5 Data analysis	35
2.3 Results.....	37
2.3.1 Local indicators of soil fertility.....	37
2.3.2 Fertility status of plots as assessed by farmers	42

Table des matières

2.3.3 Fertility status based on analytical indicators	42
2.3.4 Reducing the number of local indicators	44
2.3.5 Reducing the number of evaluators	46
2.4 General discussion	50
2.5 Conclusion	55

Chapitre 3 : Déterminants de la teneur en matière organique du sol dans les agrosystèmes cotonniers en zone nord soudanienne du Burkina Faso.

.....	57
3.1 Introduction.....	57
3.2 Méthodologie.....	59
3.2.1 Présentation du site d'étude	59
3.2.2 Collecte des données.....	60
3.2.3 Enquêtes.....	61
3.2.4 Caractérisation physico-chimique des parcelles	61
3.2.5 Echantillonnage et analyses des fumures organiques	61
3.2.6 Analyse des données.....	61
3.3 Résultats.....	63
3.3.1 Caractéristiques des unités de production.....	63
3.3.2 Caractéristiques de la fumure organique produite par les agriculteurs	65
.....	65
3.3.3 Caractéristiques physico-chimiques des sols échantillonnés	69
3.3.4 Les relations entre la MOS et les indicateurs analytiques du sol et socio-économiques de l'exploitation.	71
3.3.5 Les déterminants de la teneur en matière organique du sol sélectionnés par le modèle de régression	76
3.3.6 La teneur du COS en fonction des pratiques culturales	77
3.4 Discussion générale	80
3.5 Conclusion	82

Chapitre 4: Effet combiné du travail réduit du sol et de l'épandage en ligne de la fumure organique sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

.....	85
4.1 Introduction.....	85
4.2 Matériels et méthodes	88
4.2.1 Description du site expérimental	88
4.2.2 Dispositif expérimental	90
4.2.3 Les traitements mis en comparaison	91
4.2.3.1 La dose de fumure organique.....	91
4.2.3.2 Les techniques de préparation.....	92
4.2.4 La conduite culturale	94
4.2.5 Collecte des données.....	96
4.2.5.1 Distribution pondérale des mottes du lit de semis	96
4.2.5.2 La résistance mécanique du sol à la pénétration	97

Table des matières

4.2.5.3 Stabilité structurale du sol.....	97
4.2.5.4 L'infiltration.....	98
4.2.5.5 Le bilan chimique du sol.....	98
4.2.6 Analyse des données.....	99
4.3 Résultats.....	100
4.3.1 Etat structural des lits de semis.....	100
4.3.2 Infiltration.....	103
4.3.3 Stabilité structurale du sol.....	104
4.3.4. Effet du travail du sol sur la résistance mécanique du sol.....	107
4.3.5 Evolution des caractéristiques chimiques du sol.....	108
4.3.5.1 Etat chimique du sol à la fin du cycle de culture « cycle coton-maïs-coton »	108
4.3.5.2 Etat chimique du sol à la fin du cycle de culture « coton-maïs » ...	110
4.3.5.3 Evolution de l'état chimique du sol sous le cycle de culture « coton-maïs-coton ».....	115
4.3.5.4 Evolution des caractéristiques chimiques du sol : cycle de culture coton-maïs.....	117
4.4 Discussion générale	121
4.5 Conclusion	126
Chapitre 5: Effet combiné du travail réduit du sol et de l'épandage en ligne de la fumure organique sur la productivité d'un système de culture coton-maïs.....	127
5.1 Introduction.....	127
5.2 Matériels et méthodes	130
5.2.1 Description du site expérimental	130
5.2.2 Le dispositif expérimental.....	130
5.2.3 Les traitements mis en comparaison	131
5.2.3.1 La dose de fumure organique.....	131
5.2.3.2 Les techniques de préparation.....	131
5.2.4 La conduite culturale	132
5.2.5 Collecte des données climatiques	132
5.2.6 Collecte des données sur le cotonnier	133
5.2.6.1 Etat hydrique du sol	133
5.2.6.2 Taux de levée des semis.....	134
5.2.6.3 Densité des plants	134
5.2.6.4 Croissance végétative et niveau de floraison	134
5.2.6.5 Profils racinaires du cotonnier à la floraison	135
5.2.6.6 Rendement	136
5.2.7 Collecte des données sur le maïs	137
5.2.8 Analyse des données.....	137
5.3 Résultats.....	137
5.3.1 Conditions hydriques lors des essais.....	137

Table des matières

5.3.2. Effet des traitements sur le cotonnier.....	140
5.3.2.1 Levée des semis	140
5.3.2.2 Effet des traitements sur la croissance aérienne.....	141
5.3.2.3 Effet des traitements sur le développement racinaire	144
5.3.2.4 Composantes de rendement du cotonnier	149
5.3.2.5 Effet des traitements sur les rendements du cotonnier.....	152
5.3.3 Effet des traitements sur le maïs	154
5.3.3.1 La levée des semis	154
5.3.3.2 Rendements du maïs et ses composantes.....	155
5.4 Discussion générale	158
5.5 Conclusion	164
Chapitre 6 : Conclusion générale et perspectives	165
Références bibliographiques	173
Annexes	xxiii

Résumé

Le coton est un élément-clé de l'économie agricole du Burkina Faso. Cependant, la faible fertilité des sols, les ressources limitées dont disposent les producteurs pour maintenir la fertilité de leurs terres ainsi que différentes contraintes énergétiques et climatiques affectent de plus en plus la production du coton. Dans une perspective de gestion durable des sols intégrant savoirs endogènes et savoirs scientifiques, cette thèse vise à contribuer à une meilleure compréhension des savoirs endogènes et des facteurs socio-économiques qui gouvernent la fertilité des sols, ainsi qu'au développement de pratiques culturales plus efficaces. Pour ce faire, des enquêtes socio-économiques et une évaluation conjointe des sols ont été faites en milieu paysan afin d'une part, d'établir la relation entre indicateurs endogènes et analytiques de la fertilité des terres et d'autre part, de mieux cerner les facteurs socio-économiques qui conditionnent la fertilité des sols. Parallèlement, des essais en station ont été menés sur l'effet de différentes variantes de techniques culturales simplifiées (TCS) combinées à l'épandage en bande de compost dans une rotation coton-maïs en vue d'accroître l'efficacité de l'utilisation de la fumure et de réduire les besoins énergétiques liés au travail du sol.

Les résultats ont permis de proposer une démarche moins lourde et moins coûteuse pour l'évaluation endogène des terres, faisant appel à 9 agriculteurs-évaluateurs et 3 paires d'indicateurs endogènes axés sur le sol, l'activité biologique et l'état des cultures. Il existe une relation étroite ($r^2 = 0.79$) bien qu'imparfaite entre les indicateurs analytiques et les indicateurs endogènes de fertilité du sol. Par ailleurs, en considérant la teneur en carbone organique du sol (COS) comme proxy de la fertilité, il est apparu que le statut socio-économique de l'agriculteur, à travers la superficie cultivée en coton, explique le mieux la teneur en COS, ce qui souligne l'importance des facteurs économiques dans la gestion de la fertilité des sols.

D'autre part, les TCS grâce à une moindre perturbation du sol et à la concentration du compost dans les lignes de semis, augmentent significativement la stabilité structurale du sol par rapport au labour conventionnel. L'amélioration des paramètres chimiques du sol (COS, N, pH_{eau}) s'est avérée très modeste en raison des faibles quantités de compost et de la durée réduite des essais. Les TCS avec enfouissement du compost ont permis une augmentation du rendement en coton-graine de 11% et en maïs grain de 6% par rapport au labour. Ces premiers résultats expérimentaux suggèrent que les TCS, dont la pratique se répand par ailleurs en réponse au raccourcissement de la saison culturale, peuvent être une alternative au labour conventionnel dans la perspective du maintien durable des sols.

Liste des Figures

Figure 1.1 : Evolution des agrégats de la culture du coton au Burkina Faso : production totale (T), superficies emblavées (ha) et rendement (T/ha).	2
Figure 1.2 : Illustration de quelques pratiques paysannes de préparation du sol dans la région de la Boucle du Mouhoun. (a, b) : le labour conventionnel sur sol humide. Il exige un travail supplémentaire de rayonnage (a) ou de cordage (b) pour tracer les lignes de semis. (c) : le billonnage est une alternative plus rapide à mettre en œuvre par rapport à (a) et (b) et dispense du rayonnage et du cordage. Le pseudo-labour ou sillonnage sur sol plat et sec (d) ou réalisé perpendiculairement aux billons de la culture précédente (e). (f) : un semis direct ou zéro-labour (f). (d), (e) et (f) sont des alternatives aux pratiques (a), (b) et (c) pour gagner du temps.	4
Figure 1.3: Carte des trois régions agroclimatiques du Burkina Faso	6
Figure 1.4 : Carte de la production cotonnière au Burkina Faso (2007-2008)	13
Figure 1.5: Occupation des terres agricoles par les différentes cultures au Burkina Faso en 2013	13
Figure 1.6 : Interrelations entre les principales parties de la thèse	25
Figure 2.1 : Location of the study site in the north sudanian zone	32
Figure 2.2: Number of evaluators needed to estimate the local fertility index (LFI) with an accuracy of 0.25 (at 95% probability) as a function of the number of indicators used for the calculation of the LFI _n (Eq. 2.1).	46
Figure 2.3: Linear regression (regression line, regression equation and coefficient of determination) between local indicators and analytical soil parameters. Only those parameters which were significantly correlated (Table 2.3) and had a coefficient of determination $R^2 > 0.50$ are shown.	48
Figure 2.4: Linear regression (regression line, regression equation and coefficient of determination) between LFI10 and normalized soil analytical parameters (a to c) or soil analytical fertility index AFI (d)	49
Figure 3.1: Démarche globale de collecte des données de terrain.	60
Figure 3.2 : Sources de fumure organique utilisées dans la région: ordures ménagères (a), litière des étables (b), compost (c,d). Les fosses compostières sont remplies progressivement avec divers substrats, dont les ordures ménagères. Elles ne sont pas couvertes et les parois latérales ne sont pas toujours étanches.	65

Liste des Figures

Figure 3.3 : Quantités annuelles de fumures organiques produites par les agriculteurs enquêtés à Kamadena : (a) quantité totale de fumure organique, (b) quantité de compost, (c) quantité de litière, (d) quantités d'ordures ménagères. La quantité de la fumure organique (a) est la somme de (b) + (c) + (d).	67
Figure 3.4: Opinions des agriculteurs sur les contraintes de production de la fumure organique à Kamadena en 2010	68
Figure 3.5: Représentation des groupes de variables dans les plans factoriels (1, 2; (a)) et (2, 3; (b))......	74
Figure 3.6: Cercle de corrélation des variables dans les plans factoriels (1, 2) (a) et (2, 3) (b)......	74
Figure 3.7 : Teneur en carbone organique du sol en fonction des pratiques culturales : (a) la fréquence de la culture du coton, (b) la fréquence du labour et (c) la fréquence du labour au tracteur.	78
Figure 3.8: Teneur en carbone organique du sol en fonction de la texture: interactions avec les fréquences de la culture du coton (a, b), de labour (c, d) et de labour au tracteur (e, f).....	79
Figure 4.1 : Localisation de la station de Farako-Bâ	88
Figure 4.2 : Plan du dispositif expérimental bifactoriel strip-plot : (a) : parcelle 1 sous rotation coton-maïs-coton de 2010 à 2012 ; (b) : parcelle 2 sous rotation coton-maïs de 2011 à 2012.	90
Figure 4.3: Chronoséquence des opérations culturales.....	93
Figure 4.4 : Illustration des outils et des modalités de travail du sol testées	93
Figure 4.5: Etat structural du lit de semis : MWD moyen (a) et indice de finesse (b) selon les modalités de travail du sol. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.	100
Figure 4.6: Etat structural du lit de semis : proportion des agrégats en fonction de leur taille par modalité de travail du sol : (a) année 2010 ; (b) année 2011 ; (c) année 2012. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.	101
Figure 4.7 : (a) Pourcentage d'agrégats de taille inférieure à 5 mm selon les modalités de travail du sol. La ligne tiretée horizontale correspond au minimum proposé par Lagièr (1966). Les pluies (T1-T2) correspondent au cumul de pluies tombées dans les trois jours avant l'opération culturale. Les pluies (T3-T4) correspondent aux pluies (T1-T2) cumulées avec les pluies tombées avant le labour. (b) Teneurs en eau du sol au moment de la préparation du sol. Les traitements sont comparés par horizon et par année.	

Liste des Figures

Une même lettre indique des moyennes équivalentes. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.....	102
Figure 4.8: Vitesse moyenne d'infiltration selon les modalités de travail du sol : (a) à 10 JAS en 2011 et à 30 JAS en 2010, 2011 et 2012. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard. (b) en fonction de la quantité de pluies cumulée entre la date de préparation du sol et la période de mesure de l'infiltration en 2010, 2011 et 2012.	103
Figure 4.9: MWD moyen par test de stabilité structurale et par traitement ainsi que MWD moyenné pour les trois tests : (a) MWD moyenné des trois tests par Di, (b) MWD moyenné des trois tests par Ti, (c) interaction TiDi entre les modalités de travail du sol (Ti) et les doses de fumure organique (Di), test HR, (d) interaction TiDi, test HL, (e) interaction TiDi, test DM, (f) interaction TiDi, MWD moyenné pour les trois tests. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.	105
Figure 4.10: Résistance mécanique moyenne du sol en fonction des modalités de préparation du sol : profondeur du sol 0-10 cm (a) et 10-20 cm (b). Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.	107
Figure 4.11: Niveau moyen des paramètres chimiques à la profondeur 0-10 et 10-20 cm du sol en fonction de la modalité de travail du sol après un cycle de culture coton-maïs-coton: carbone organique (a), azote total (b), P Bray I(c), pH _{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-standard.	109
Figure 4.12 : Niveau moyen des paramètres chimiques du sol en fonction de la dose de compost après un cycle de culture coton-maïs: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH _{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.	112
Figure 4.13 : Niveau moyen des paramètres chimiques du sol en fonction de la modalité de travail du sol après un cycle de culture coton-maïs: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH _{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.	113
Figure 4.14 : Interaction entre la dose de compost et la modalité de travail du sol sur la teneur en COS (a) et P Bray I (b) à la profondeur 0-10 cm du sol après un cycle de culture coton-maïs. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.....	114
Figure 5.1 : Pluviomètre automatisé de type auget basculeur installé dans la parcelle expérimentale. (a) vision extérieure, (b) vision extérieure.	132
Figure 5.2: Pluviométrie enregistrée à la parcelle expérimentale à partir de la date de semis : pluies journalières de 2010 (a), 2011 (b), 2012 (c) et pluies cumulées des trois années (d).	138

Liste des Figures

- Figure 5.3 : Evolution de la réserve en eau utile (0-25 cm) de la parcelle et pluviométrie cumulée entre deux périodes d'observation : (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012.139
- Figure 5.4 : Distribution des racines latérales en fonction de la dose de compost: distribution verticale vers la profondeur (a) :2010 ; (b) : 2011 ; (c) : 2012. Distribution horizontale vers l'interligne: (d) :2010 ; (e) : 2011 ; (f) : 2012.146
- Figure. 5.5 : Distribution des racines latérales en fonction de la modalité du travail du sol: distribution verticale vers la profondeur (a) :2010 ; (b) : 2011 ; (c) : 2012. Distribution horizontale vers l'interligne: (d) :2010 ; (e) : 2011 ; (f) : 2012.148
- Figure 5.6: Effet de l'interaction entre la dose de compost et le travail du sol sur le nombre des capsules (a) et le nombre de capsules par plant (b).151
- Figure 5.7 : Rendement moyen : coton graine en fonction de la dose de compost (a) et de la modalité du travail du sol (c) ; matière sèche aérienne en fonction de la dose de compost (b) et de la modalité du travail du sol (d). La matière sèche n'a pu être évaluée en 2010. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.153
- Figure 5.8 : Rendement moyen : maïs grain en fonction de la dose de compost (a) et de la modalité du travail du sol (c) ; matière sèche aérienne en fonction de la dose de compost (b) et de la modalité du travail du sol (d). La matière sèche n'a pu être évaluée en 2010. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.157

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Caractéristiques d'un sol ferrugineux lessivé à concrétions9

Table 2.1 : Some characteristics of the plots that were evaluated by farmers : location, origin of the owner, fertility level as reported by the owner, and descriptive statistics of the local fertility index calculated using 10 indicators (LFI₁₀; Eq. 1 and Table 2.2). Plots are ranked by increasing values of the LFI₁₀.33

Table 2.2: Mean values of the median and interquartile range (IQR) ratings of local indicators of soil fertility identified by participating farmers.39

Table 2.3: Correlations between local indicators and soil analytical indicators. Spearman's rank correlation coefficients (R) are given above the diagonal. The significant correlation coefficients ($p < 0.05$) are written in bold. Below the diagonal, the level of statistical significance of the correlation is indicated as follows: ns: non-significant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$. LFI and AFI correspond to the local and analytical fertility indexes, respectively. A list of local fertility indicators is provided in Table 2.2.....41

Table 2.4: Physico-chemical characteristics and analytical fertility index (AFI) of the studied plots, ranked by increasing LFI₁₀ value (Table 2.1). Legend of textural class: L = loam; SL = Sandy loam; CL = Clay loam; LS = Loamy sand.....43

Table 2.5: Optimal combinations of local indicators used for estimating LFI₁₀. Root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R^2) and slope of the linear regression passing through 0 of LFI_n vs. LFI₁₀.45

Table 2.6: Evaluation of the 13 local indicators according to 6 main criteria. A '+' indicates that a given indicator responds favourably to the criterion and a '-' indicates the opposite. A '?' indicates an uncertain effect on the indicator. 52

Tableau 3.1: Moyennes ($\pm$ erreur standard) des caractéristiques des unités de production selon le groupe social du producteur.64

Tableau 3.2 Quelques caractéristiques analytiques des fumures organiques produites par les agriculteurs de Kamadama, mai 2011 (n= 23 agriculteurs)66

Tableau 3.3: Valeurs moyennes ($\pm$ erreur standard) des paramètres physico-chimiques des sols des parcelles échantillonnées des deux groupes sociaux.70

Liste des Tableaux

Tableau 3.4: Corrélations entre les variables: coefficients de corrélations de rangs (de Spearman) au-dessus de la diagonale. Les p-valeurs sont en dessous de la diagonale. Les p-valeurs en gras sont significatives à 5% (*), 1% (**) et 0,1% (***).	72
Tableau 3.5: Variables significativement corrélées aux composantes 1, 2 et 3.	75
Tableau 3.6: modèle de régression sur le carbone organique du sol : coefficients des variables sélectionnées par la procédure stepwise.	77
Tableau 4.1: Granulométrie du sol des deux parcelles expérimentales	89
Tableau 4.2 : Etat initial des paramètres chimiques du sol de la parcelle 1 (mai 2010, coton-maïs-coton) et 2 (mai 2011, coton-maïs).....	89
Tableau 4.3: Caractéristiques du compost utilisé en 2010, 2011 et 2012, et quantité moyenne d'éléments nutritifs selon les doses de compost appliquées.	91
Tableau 4.4 : Calendrier des opérations culturales des essais au cours des années 2010, 2011, 2012.....	95
Tableau 4.5: Effet de la modalité du travail du sol sur le MWD et l'indice de finesse des agrégats du lit de semis en 2010, 2011 et 2012.	100
Tableau 4.6: Effet de la dose de compost et du travail du sol sur le MWD moyen par test de stabilité structurale.....	105
Tableau 4.7: Analyse de la variance de la résistance mécanique du sol en fonction de l'année de mesure et de la modalité de préparation du sol	107
Tableau 4.8: Effet de la dose de compost, des modalités de travail du sol et de l'interaction des deux facteurs sur les paramètres chimiques du sol de la parcelle 1 en 2012 après un cycle de culture coton-maïs-coton.	108
Tableau 4.9: Effet de la dose de compost, des modalités de travail du sol et de l'interaction des deux facteurs sur les paramètres chimiques du sol de la parcelle 2 en 2012 après un cycle de culture coton-maïs.....	110
Tableau 4.10: Variation des paramètres chimiques avant et après un cycle de culture coton-maïs-coton : analyse de la variance en fonction des facteurs : dose de compost, modalités de travail du sol et interaction entre les facteurs.	115
Tableau 4.11 : Variations moyennes ($\pm$ erreur standard) des valeurs des paramètres chimiques du sol selon de la dose de compost avant et après un cycle de culture coton-maïs-coton (parcelle 1) : Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	116

Liste des Tableaux

Tableau 4.12 : Variations moyennes ($\pm$ erreur standard) des valeurs des paramètres chimiques du sol selon la modalité du travail du sol avant et après un cycle de culture coton-maïs-coton (parcelle 1). Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	117
Tableau 4.13 : Variations des paramètres chimiques avant et après un cycle de culture coton-maïs : analyse de la variance en fonction des facteurs : dose de compost, modalités de travail du sol et interaction entre les facteurs.	118
Tableau 4.14 : Effet de la dose de compost sur la variation des paramètres chimiques du sol avant et après un cycle de culture coton-maïs : moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	119
Tableau 4.15 : Effet de la modalité de travail du sol sur la variation des paramètres chimiques du sol avant et après un cycle de culture coton-maïs : moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	120
Tableau 5.1: quantité de pluies utiles et nombre de jours de pluies enregistrés sur la parcelle expérimentale.	138
Tableau 5.2a: Taux de levée (moyenne et erreur standard) en fonction de la dose de compost en 2011 et 2012. Une lettre identique indique des moyennes équivalentes.	140
Tableau 5.2b: Taux de levée (moyenne $\pm$ erreur standard) en fonction de la modalité de travail du sol en 2010, 2011 et 2012. Une lettre identique indique des moyennes équivalentes.	141
Tableau 5.3a: Effet de la dose de compost sur les paramètres de croissance du cotonnier : courbure k au point d'inflexion de la croissance, demi-temps t_m de la croissance, la hauteur maximale et le niveau moyen de floraison à 70 JAS.	142
Tableau 5.3b : Effet de la modalité de travail du sol sur la croissance du cotonnier : courbure k au point d'inflexion de la croissance, demi temps t_m de la croissance, hauteur maximale et niveau moyen de floraison à 70 JAS...	143
Tableau 5.4: Effet de la dose de compost sur l'enracinement du cotonnier : moyennes $\pm$ erreur standard des paramètres de courbure ou décroissance racines latérales, et profondeur de la racine pivotante. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	146
Tableau 5.5: Effet de la modalité du travail du sol sur l'enracinement du cotonnier : moyennes $\pm$ erreur standard des paramètres de courbure ou décroissance latérale de la distribution des racines et profondeur maximale de	

Liste des Tableaux

la racine pivotante. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5% (*).	148
Tableau 5.6: Densité des cotonniers (%), nombre de capsules, nombre de capsules par plant (NCP) et poids moyen capsulaire (PMC) en fonction de la dose de compost: moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	149
Tableau 5.7: Densité des cotonniers (%), nombre de capsules, nombre de capsules par plant (NCP) et poids moyen capsulaire (PMC) en fonction de la modalité de travail du sol : moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.	150
Tableau 5.8: Taux de levée des semis du maïs à 7 JAS: moyenne $\pm$ erreur standard en fonction de la dose de compost et du travail du sol en 2011 et 2012.	154
Tableau 5.9: Densité (%) des plants de maïs à la récolte (moyenne $\pm$ erreur standard) en fonction de la dose de compost et du travail du sol en 2011 et 2012.	155
Tableau 5.10: Rapport entre la quantité de maïs grain et la biomasse en fonction des traitements.	156

Liste des Annexes

Annexe 3.1: Fiche d'Enquête sur les déterminants de la teneur de la matière organique des sols dans les agrosystèmes cotonniers	xxiii
Annexe 3.2: Analyse des composantes principales: contribution et $\cos^2$ des variables	xxv
Annexe 4.1 Généralités sur les cotonniers	xxvi
Annexe 4.2 Méthodologie de mesure de la stabilité structurale du sol (Le Bissonnais, 1996).....	xxix
Annexe 4.3: Niveau moyen des paramètres chimiques à la profondeur 0-10 et 10-20 cm du sol en fonction de la dose de compost après un cycle de culture coton-maïs-coton: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH_{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-standard	xxxi

Sigles et abbréviations

AFI	: Analytical Fertility Index / Index de Fertilité Analytique
AFM	: Analyse factorielle multiple
AICB	: Association Interprofessionnelle du Coton du Burkina
Al	: Aluminium
ANOVA	: ANalysis Of Variance / Analyse de la variance
ASS	: Afrique subsaharienne
BFA	: Burkina Faso
C	: Carbone
CEC	: Capacité d'échange cationique
CILSS	: Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
COS / SOC	: Carbone Organique du Sol / Soil Organic Carbon
DGESS	: Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles
Di	: i ^{ème} Dose de fumure
Eq.	: Equation
ES	: Erosion signs
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Fig.	: Figure
ha	: Hectare
Hj	: Homme jour
HSD	: Honest Significant Difference
INERA	: Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles
INSD	: Institut National des Statistiques et de la Démographie
IQR	: interquartile range / Ecart interquartile
IS	: Indicator species /espèces indicatrices
JAS	: Jour après semis
K (Ktot)	: Potassium total
kg	: Kilogramme
LC	: Labour Conventionnel
LFI ₁₀	: Local Fertility Index / Index Local de Fertilité (basé sur 10 indicateurs)
LY	: Low Yields / faibles rendements
MASA	: Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire
Mm	: millimètre
MO	: Matière organique
MOS /SOM	: Matière Organique du Sol / Soil organic matter

Sigles et abbréviations

N (Ntot)	: Azote total
NH	: Need for Hoeing / besoin de sarclage
NM	: Need for organic Manure / besoin de fumure organique
NR	: Need for crop Rotation / besoin de rotation culturale
Ri	: i ^{eme} Répétition
RMSE	: Root Mean Square Error / Erreur quadratique moyenne
P	: Phosphore
T	: Tonne
SC	: Soil Color / couleur du sol
SD	: Standard deviation
SN	: Soil Nature / nature du sol
SOFITEX	: Société Burkinabè des Fibres Textiles
ST	: Soil Thickness / Épaisseur du sol
Tab.	: Tableau
TCS	: Techniques Culturelles Simplifiées
Ti	: i ^{eme} modalité de Travail du sol
TW	: Presence of Termites and Worms / Présence de termites et de vers
UBT	: Unité de Bétail Tropical
UPA	: Unité de Production Agricole
VC	: condition of Vegetation Cover / Etat de couverture végétale
VG	: Vegetative Growth, plant vigor (VG) / croissance végétative et vigueur des plantes
WH	: Water Holding capacity
ZL	: Zero-Labour

Chapitre 1: Contexte et objectifs de l'étude

1.1 Introduction

En 2050, la population mondiale sera de 9,15 milliards, dont 17 à 21% basée en Afrique subsaharienne (ASS). Ceci entraînera une augmentation de la demande globale des productions agricoles de 60% par rapport à 2005/2007 (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Pour répondre à cette demande, 80% du surplus des besoins agricoles sont attendus de l'intensification culturale et 20% de l'extension des superficies (FAO, nd), particulièrement en Afrique. On assiste cependant à une tendance stagnante, voire baissière, des rendements de la plupart des cultures à travers le monde (Ray *et al.*, 2012 ; Grassini *et al.*, 2013 ; Constable & Bange, 2015). Ainsi, sur la période de 1961-2008, Ray *et al.* (2012) ont observé à travers 24 à 39% des zones de culture de maïs, de riz, de blé et de soja dans le monde, que les rendements n'ont jamais été améliorés, stagnent ou encore baissent. Selon ces auteurs, la stagnation du rendement du maïs, par exemple, est plus généralisée en Afrique et cela depuis les années 1990. Avec 15% des superficies mondiales, l'ASS ne fournit que 5% de la production mondiale du maïs, avec une croissance annuelle de 9% ; ce qui est encore très faible pour aider à atténuer la pression sur les ressources agricoles.

Cette stagnation des rendements concerne aussi les cultures de rente et notamment le cotonnier, qui est pourtant d'une importance économique et sociale majeure pour le continent, troisième produit agricole d'exportation après le cacao et le café (Perrin & Lagandre, 2005). Depuis les années 1980, les rendements stagnent autour de 400 kg ha⁻¹ de fibres, bien en dessous de la moyenne mondiale de 800 kg ha⁻¹ de fibres (Constable & Bange, 2015). Selon

1.1 Introduction

Hengsdijk & Langeveld (2009), le déficit de rendement ('yield gap') en ASS est de 760 kg ha⁻¹ de fibres contre un minimum de 230 kg ha⁻¹ de fibres en Amérique du Nord. Au Burkina Faso (BFA), les rendements évoluent en dents de scie, avec une tendance stagnante, voire baissière, depuis trois décennies (1986/1987 ; Fig. 1.1). Il en est de même au Mali sur la même période (Laris *et al.*, 2015). Au Cameroun, les données indiquent une baisse moyenne de 8,4 kg ha⁻¹ par an entre 1975 et 2010 (Naudin *et al.*, 2010).

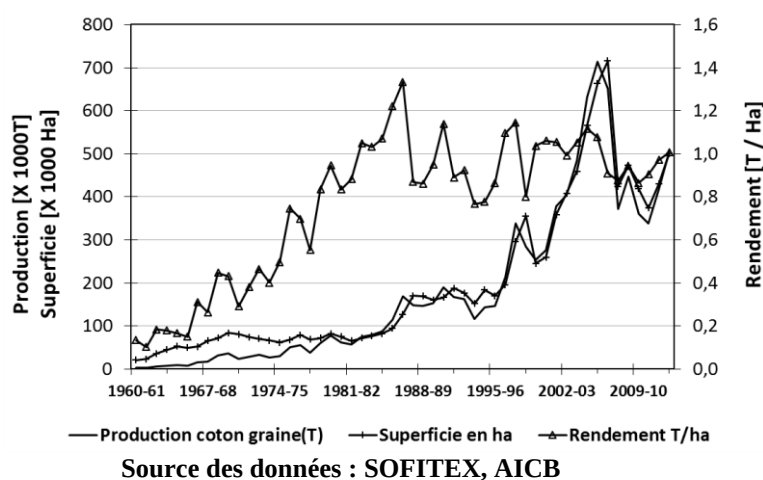


Figure 1.1 : Evolution des agrégats de la culture du coton au Burkina Faso : production totale (T), superficies emblavées (ha) et rendement (T/ha).

Ces déficits importants et persistants de rendements sont la résultante d'une combinaison complexe de facteurs biophysiques et socio-économiques qui résultent entre autres d'une disponibilité limitée en eau et en nutriments, de l'utilisation inadéquate de la mécanisation et d'un déficit de connaissances (Alexandratos & Bruinsma, 2012 ; Constable & Bange, 2015). Ces conditions limitantes sont par ailleurs aggravées par la dégradation des sols cultivés sous l'effet du travail mécanisé du sol exacerbé par l'insuffisance des restitutions

organiques¹ (Charreau & Fauck, 1970 ; Moreau, 1978 ; Roose, 1985 ; Boli *et al.*, 1993 ; Hauchart, 2005 ; Abou Abba, 2006 ; Kestemont, 2009). Cette dégradation des sols se manifeste par la déperdition de la matière organique du sol (MOS), et subséquemment l'altération physique, la déplétion chimique et l'acidification (Boyer, 1977 ; Guillobez *et al.*, 2000 ; Hauchart, 2005 ; Koulibaly, 2011). Ainsi, dans la province cotonnière du Mouhoun au BFA, Hauchart (2005) a observé que 82% des sols sont remaniés tandis que 52,4% sont faiblement acides et 60% sont peu profonds et instables. Par ailleurs, l'appauvrissement chimique est régulièrement illustré par des bilans minéraux négatifs résultant du caractère minier des systèmes de culture (Stoorvogel & Smaling, 1990 ; Lesschen *et al.*, 2007).

Ces constats précédents posent le besoin de pratiques culturales alternatives, plus durables et plus productives, et ce dans un contexte de rareté des ressources organiques mais aussi de contraintes pédoclimatiques et énergétiques (Nicou & Poulain, 1972 ; Kambiré, 2000). En effet, l'irrégularité des pluies en début de saison et la faiblesse physique des animaux retardent la réalisation du labour et des semis, entraînant ainsi des pertes de rendement. Dans le cas du cotonnier, le rendement est en effet corrélé de façon linéaire et négative à la date de semis (Dakouo *et al.*, 1995 ; Sultan *et al.*, 2010).

En réponse à l'incertitude persistante autour de l'installation de la saison des pluies et compte tenu de la faiblesse physique des animaux de trait en début de saison pluvieuse, on assiste à une expansion de techniques culturales simplifiées (TCS) dans les zones cotonnières du BFA (Kambiré, 2006 ; Kestemont, 2009 ; Fig. 1.2).

¹ La production annuelle de la fumure organique (2,5 – 3 t) dans les exploitations cotonnières du BFA (Dibi, 2002 ; Kestemont, 2009) indique une insuffisance récurrente des amendements au regard des recommandations (6 t ha⁻¹ tous les 3 ans) de la recherche (Berger *et al.*, 1987 ; CILSS, 2012).

1.1 Introduction

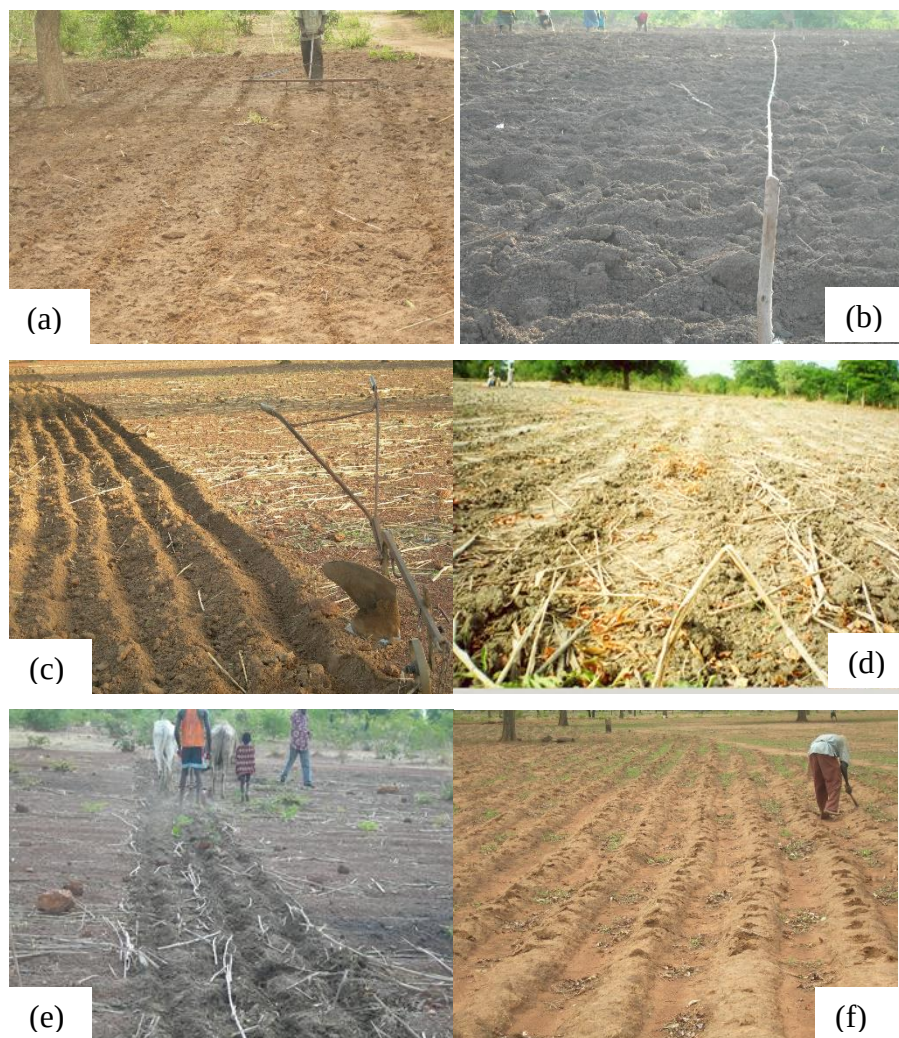


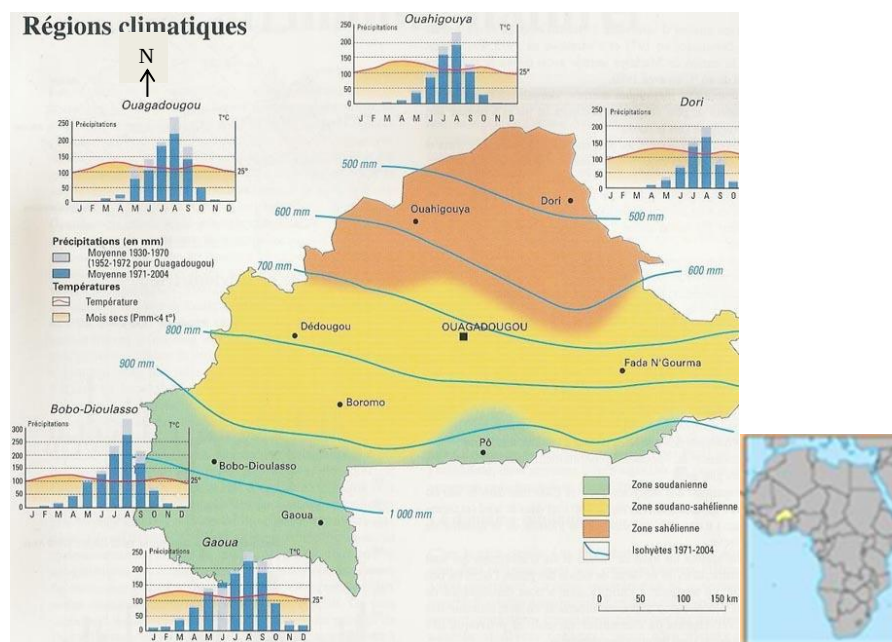
Figure 1.2 : Illustration de quelques pratiques paysannes de préparation du sol dans la région de la Boucle du Mouhoun. (a, b) : le labour conventionnel sur sol humide. Il exige un travail supplémentaire de rayonnage (a) ou de cordage (b) pour tracer les lignes de semis. (c) : le billonnage est une alternative plus rapide à mettre en œuvre par rapport à (a) et (b) et dispense du rayonnage et du cordage. Le pseudo-labour ou sillonnage sur sol plat et sec (d) ou réalisé perpendiculairement aux billons de la culture précédente (e). (f) : un semis direct ou zéro-labour (f). (d), (e) et (f) sont des alternatives aux pratiques (a), (b) et (c) pour gagner du temps.

Source : Auteur

En effet, des études réalisées pendant la saison culturale 2007 dans la région cotonnière de la Boucle du Mouhoun indiquent que les TCS couvraient plus de la moitié des superficies (53% contre 35% pour le billonnage et 11% pour le labour) des exploitations enquêtées (Kestemont, 2009). Les TCS consistent en un scarifiage de la ligne de semis avec des outils à dent ou un travail superficiel du sol à la houe manuelle ou même un zéro-labour. A l'image de ces pratiques locales ci-dessus illustrées (Fig. 1.2 d, e, f), les TCS ont en commun une réduction de la perturbation mécanique du sol, ce qui nécessite moins de temps et d'énergie de traction qu'un labour conventionnel (LC). Elles peuvent également être réalisées pour un degré moindre d'humectation du sol, voir sur sol sec, et donc plus tôt que le labour. Les TCS cadrent bien par ailleurs avec les pratiques extensives mises en œuvre par les agriculteurs dans les contextes où le risque climatique est grand (Eldin, 1989). En effet, le risque climatique développe chez la plupart des agriculteurs une réticence à mettre en œuvre des techniques coûteuses en argent et en temps (Eldin, 1989). C'est ce contexte qui justifie la présente étude intitulée « effet combiné du travail du sol et de la gestion de la fumure organique dans l'agrosystème cotonnier au Burkina Faso ». Elle s'interroge principalement de savoir comment les TCS peuvent contribuer à mitiger la baisse de la productivité des sols des agrosystèmes cotonniers, et contribuer à une utilisation plus efficiente la fumure organique. Pour répondre à cette question, il convient d'admettre comme Dufumier (2004) qu'il « serait vain d'espérer pouvoir formuler des suggestions utiles et pertinentes en matière de mise en valeur durable des écosystèmes sans d'abord comprendre comment les agriculteurs en sont arrivés à mettre en œuvre les systèmes de culture qui prédominent aujourd'hui ». Suivant alors cette logique, les lignes qui suivent seront consacrées à la caractérisation du contexte de l'étude afin de justifier l'orientation de la présente étude à travers les objectifs qui seront définis.

1.2 La pluviométrie

La pluviométrie est un facteur structurant les systèmes de production agricole de la région soudano-sahélienne², caractérisée par un climat sahélien à soudanien en allant du nord au sud. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 300 à 900 mm tandis que le ratio entre pluviométrie et évapotranspiration potentielle est comprise entre 0,20 à 0,65 (Bationo *et al.*, 2005). La saison pluvieuse est unimodale (2 à 5 mois) et alterne avec une longue saison sèche (7 à 10 mois). Le gradient décroissant de l'aridité dans le sens nord – sud permet de définir des zones agroclimatiques, à l'image de celles du BFA (Fig. 1.3).



Source : Atlas de l'Afrique – Burkina Faso, Jeune Afrique, 2005

Figure 1.3: Carte des trois régions agroclimatiques du Burkina Faso

² Burkina Faso, Cap-Vert, Djibouti, Érythrée, Gambie, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Somalie, Soudan et Tchad.

La zone sahélienne (~25% de la superficie du pays) est à vocation pastorale et agro-pastorale en raison des conditions pluviométriques plus limitantes (2 à 3 mois de pluies). Par contre, les zones soudano-sahélienne (~50% de la superficie du pays) et soudanienne (~25% de la superficie du pays) sont plus centrées sur l'agriculture, dont la culture cotonnière.

Cependant, la région soudano-sahélienne traverse une crise climatique persistante depuis la fin des années 60 (Sivakumar & Gnoumou, 1987 ; Somé, 1989 ; Ardoin-Bardin, 2004 ; Ibrahim, 2012 ; De Longueville *et al.*, 2016), et ce malgré une tendance récente à la remontée de la quantité des pluies annuelles (Ozer *et al.*, 2009 ; Lodoun *et al.*, 2013). Cette crise s'est traduite par un déficit de la pluviométrie annuelle (-22%) à partir de la période 1969-1971 (Servat *et al.*, 1999).

En outre, la saison pluvieuse est particulièrement caractérisée par une installation irrégulière et tardive des pluies, ce qui entraîne une contraction de la longueur de la saison culturale avec des répercussions négatives et directes sur les productions agricoles. En effet, les rendements sont très largement liés à la longueur de la saison culturale (Blanc *et al.*, 2008 ; Sultan *et al.*, 2010 ; Traoré *et al.*, 2014 ; Ripoche *et al.*, 2015, Constable & Bange, 2015). Plus particulièrement, les travaux de Sultan *et al.* (2010) indiquent que la date de début et la longueur de la saison des pluies sont mieux corrélées (linéairement) aux rendements des cotonniers ($R = -0,68$ et $0,67$ respectivement) que la quantité annuelle de pluies ($R = 0,56$) sous un seuil inférieur à 900 mm. Constable & Bange (2015) rapportent également une relation étroite et positive entre la matière sèche cotonnière et la longueur du cycle végétatif (jours après semis). In fine, le raccourcissement de la saison des pluies en dessous de 118 jours entraîne une décroissance des rendements du coton-graine à raison de $65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ (Ripoche *et al.*, 2015).

1.3 Les sols

Selon la Base de Référence Mondiale des sols (FAO, 2001), les sols de la région soudano-sahélienne sont des sols minéraux issus principalement de l'altération de roches acides (granites, grès) sous l'influence du climat tropical (humide ou aride). Il s'agit principalement de sols tropicaux ferrugineux plus ou moins lessivés et indurés (Lixisols) sur matériaux divers (sableux, sablo-argileux, argilo-sableux). Plus de la moitié de l'étendue des sols tropicaux ferrugineux (435 millions d'hectares dans le monde) se trouvent dans la bande soudano-sahélienne allant de l'Afrique de l'Ouest jusqu'en Ethiopie (FAO, 2001). Au BFA, ces sols sont aussi les plus représentés (46%). Les essais agronomiques dont nous parlerons plus loin sont aussi réalisés sur ces sols. Pour toutes ces raisons, nous nous focaliserons ici sur les Lixisols, bien qu'il existe d'autres types de sols au BFA (Ferralsols, Solonetz, Vertisols, Cambisols, Leptosols, Regosols, Gleysols, etc).

Caractéristiques et contraintes des sols tropicaux ferrugineux

Les sols tropicaux ferrugineux ont intéressé de nombreux auteurs (dont Charreau & Fauck, 1970 ; Dabin & Maignien, 1979 ; Dabin, 1981 ; Cointepas & Makilo, 1982 ; Morin, 1993 ; Gardner *et al.*, 1999) qui ont contribué à en décrire les propriétés, les atouts et les contraintes. Le Tab. 1.1 présente le profil type d'un Lixisol non cultivé. En effet, les Lixisols ont un profil de type A Bt C, avec un horizon illuvial dit *argic* (Bt) dans les 100 premiers cm du profil. Ils présentent un net gradient de texture et d'accumulation d'oxydes sous forme de taches et concrétions, après 60 cm de profondeur. La couleur passe du beige en surface au jaune rouge en profondeur. La structure de l'horizon A est moyennement à faiblement développée.

Les Lixisols ont une faible fertilité intrinsèque se traduisant, entre autres, par une faible capacité de rétention en eau et des nutriments (FAO, 2003 ; Bationo *et al.*, 2005). A l'image des données du profil (Tab. 1.1), ils sont faiblement acides, peu pourvus en matière organique, en azote, en phosphore assimilable et en bases échangeables tandis que le taux de saturation est plutôt moyen à fort. Le bas niveau de la CEC est lié aux faibles teneurs en carbone organique du sol (COS) et en argiles, mais aussi à la nature kaolinitique des argiles (Dabin, 1984). De ce fait, le rôle du COS est capital pour la qualité et la productivité des Lixisols (Feller, 1995 ; Guibert, 1999).

Tableau 1.1 : Caractéristiques d'un sol ferrugineux lessivé à concrétions

		Profondeur du sol (cm)				
Paramètres		0-10	20-80	60-70	110 – 120	190 – 200
Argile (%)		9,9	21,3	28,1	24,4	26,6
Limons fins (%)		3,8	3,5	3,3	3,5	5,1
Limon grossier (%)		13,8	14,0	11,5	11,5	12,1
Sable fin (%)		57,3	47,7	44,9	48,7	41,2
Sable grossier (%)		14,2	12,8	11,9	11,7	14,9
Matière Organique (%)		1,00	0,68	0,29	0,19	0,17
Azote (‰)		0,40	0,36	0,21	0,18	-
C/N		14,5	10,8	8	6	-
Phosphore (%)		0,23				
Fer libre (%)		1,64	2,5	2,83	2,47	3,68
Fer total (%)		1,77	2,76	3,26	3,00	4,25
Fer libre / Fer total		0,93	0,90	0,87	0,82	0,87
Ca ²⁺	cmol+ kg ⁻¹	1,60	2,39	1,80	1,83	2
Mg ²⁺		0,83	1,18	1,25	0,59	0,93
K ⁺		0,08	0,11	0,18	0,17	0,23
Na ⁺		0,03	0,04	0,05	0,06	0,08
Σ des bases échangeables S		2,55	3,70	3,30	2,95	3,25
Capacité d'échange cationique T		4,20	5,30	4,80	4,55	4,40
Taux de saturation en bases S/T		61	70	69	65	74
pH		5,9	6,1	5,6	5,8	6,4
Teneur en eau volumique (%)	pF3	6	9,2	11,4	10,7	13,2
	pF4,2	2,8	6,0	7,6	6,8	8,9
	Eau utile	3,2	3,2	3,8	3,9	4,3
Perméabilité (cm / h)		1,0	1,8	1,7	2,0	1,1

Nom du profil : HVF 98 NIESSEGA: 13°2'15" Nord, 2°18'20" Ouest.

Source ORSTOM, 1968 In CRA (2001)

1.3 Les sols

Au niveau physique, les Lixisols sont mal structurés, très cohérents en saison sèche et pâteux en cas de pluies (Roose, 1977). Ils ont une haute susceptibilité naturelle à la prise en masse à cause de la faible teneur en argiles (< 20%), de leur nature minéralogique (kaolinite) et de l'alternance des cycles de dessiccation et d'humectation en l'absence d'activité biologique (Gardner *et al.*, 1999 ; Valentin, 1995).

La cohésion est assez élevée, les forces de résistance³ étant de 160 à 800 kg dans les profondeurs respectives de 0-20 cm et 20 - 40 cm (Charreau & Fauck, 1970). La perméabilité est souvent médiocre (1 à 2 cm/h ; Tab. 1.1). Par ailleurs, la mise en culture et la destruction du couvert végétal s'accompagnent généralement d'une dégradation des propriétés physiques comme la stabilité structurale et la perméabilité (Moreau, 1983). En effet, l'impact des pluies, la décroissance de la teneur en COS et la rupture de la cohésion intra-agrégats par les opérations culturales entraînent une baisse de la stabilité structurale (Lal, 1985 ; Morin, 1993 ; Barthès *et al.*, 1998 ; Ludwig, 2000 ; Barthès & Roose, 2002). Charreau & Fauck (1970) renseignent une nette augmentation des indices d'instabilité de Hénin (de 0,4 - 0,7 à 1,3 - 1,6) après seulement six ans de culture. Devenus fragilisés, les sols sont plus sensibles à l'érosion et au ruissellement, ce qui aboutit à des réorganisations superficielles telles que les croûtes structurales, d'érosion, de ruissellement, de décantation et de dessiccation (Casenave & Valentin, 1989 ; Valentin, 1995). La formation de ces structures superficielles s'accompagne d'une baisse très sensible de la porosité, dont le corollaire est une prédominance progressivement accrue du ruissellement sur l'infiltration (Duchaufour, 1950, Charreau & Fauck, 1970 ; Casenave & Valentin, 1989 ; Barthès & Roose, 2002). Par exemple, des

³ Les mesures sont faites à l'aide d'un pénétromètre constitué d'un barreau métallique que l'on enfonce par percussions dans le sol.

mesures d'infiltration sur un sol ferrugineux peu lessivé (Séguénéga au BFA) ont permis de constater que seul 16 à 24% d'une pluie de 25 mm s'infiltrait dans le sol tandis que la profondeur d'humectation est limitée à 7 à 11 cm (Boulet, 1976). D'autres mesures sur un sol dénudé du type ferrugineux tropical (à Saria au BFA) ont révélé que le coefficient de ruissellement peut atteindre 60 à 80% sous une averse d'une intensité de 120 mm/h (Roose, 1981).

1.4 La culture du coton au Burkina Faso

1.4.1 Importance de la culture du coton

Le coton, dont le Burkina Faso (BFA) est le premier producteur en Afrique subsaharienne (ASS), est d'une grande importance économique et sociale pour le pays. Cette culture concernait environ 325 000 exploitations agricoles en 2006-2007, soit 30% de la population totale du BFA (AGRER, 2007). Le coton a toujours été la première source de recettes d'exportation du pays jusqu'en 2009 (60% ; INSD, 2010), avant d'être relégué au second rang par l'or (70% en 2012 ; INSD, 2015). Il apporte 50 à 90% des revenus des exploitations agricoles qui cultivent le coton (Belem *et al.*, 1999). Par ses retombées financières positives, la culture du coton est considérée comme un facteur de réduction de la pauvreté dans les zones de culture (Berti *et al.*, 2006 ; Zagbaï *et al.*, 2006 ; Kaminski, 2007). Grâce à l'accès au crédit, aux intrants, aux équipements et aux services, la culture du coton est aussi considérée comme un vecteur de modernisation des systèmes de production agricole (Hauchart, 2005 ; Zagbaï *et al.*, 2006 ; Renaudin, 2007).

1.4.2 Evolution de la production du coton au BFA

La production cotonnière est la résultante des conditions agropédoclimatiques et des pratiques culturelles mais aussi des politiques nationales en raison du caractère stratégique de cette culture. En effet, depuis l'avènement du Programme d'Ajustement Structurel en 1991, la filière coton au BFA a connu une restructuration progressive, marquée par le désengagement de l'état au profit du secteur privé et des organisations paysannes. Cet élan de libéralisation de la filière a abouti en 2003 à la création de trois zones cotonnières (Fig. 1.4), permettant ainsi un élargissement des zones de production et l'adhésion de nouveaux producteurs. Cette dernière décennie a été marquée par l'expérience de la culture du coton transgénique *Bt* dont la part de superficies était de 2% (8503 ha) en 2007/08, 66% (247033 ha) en 2010/11 et 57% (284629 ha) en 2012/13, avant la décision d'un retour au coton conventionnel dès la saison 2016/17.

La production du coton est strictement pluviale comme partout en Afrique de l'Ouest et du Centre où elle se caractérise aussi par son caractère familial et la récolte manuelle (Berti *et al.*, 2006). La production conventionnelle du coton est basée sur le travail intensif du sol (labour mécanisé) couplé à une fertilisation essentiellement minérale, un désherbage mécanique et chimique et une protection chimique des cultures contre les ravageurs.

La production nationale en coton-graine est étroitement liée à l'extension des superficies ($R = 0,97$; Fig. 1.1), qui ont dépassé le pic de 700 000 ha en 2006/07, avant un repli significatif (- 42%) en 2007/08 suite à la hausse brutale des coûts des intrants chimiques. De nos jours, la superficie en coton représente 11% des surfaces cultivées à l'échelle nationale (Fig. 1.5), 17% dans les zones traditionnelles de culture comme la région de la Boucle du

Mouhoun (INSD, 2014), et 27 à 41% dans les exploitations cotonnières de cette région (Kestemont, 2009).

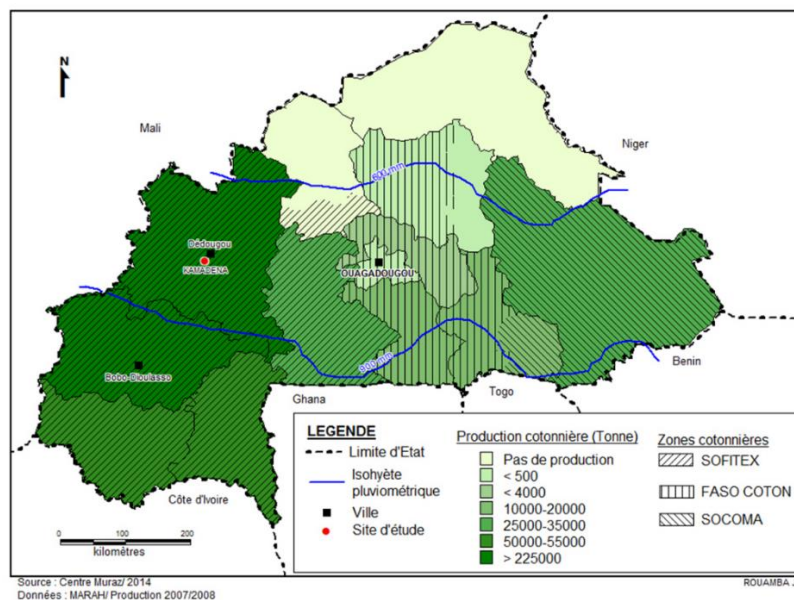
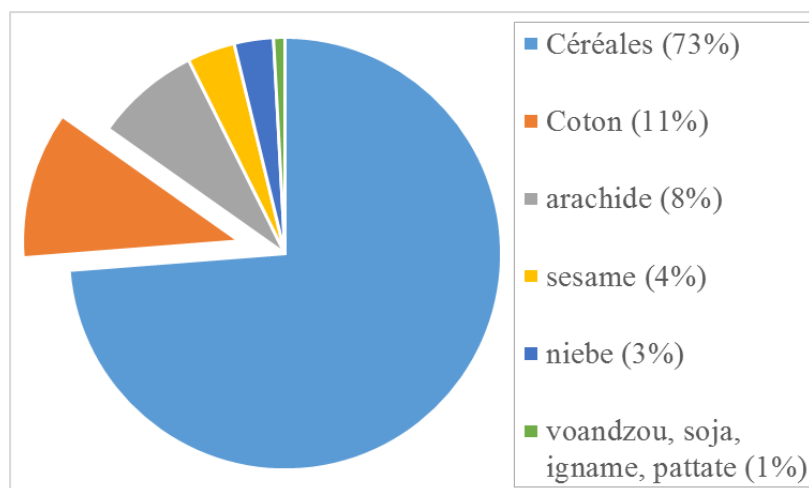


Figure 1.4 : Carte de la production cotonnière au Burkina Faso (2007-2008)



Source des données: DGESS / MASSA/INSD

Figure 1.5: Occupation des terres agricoles par les différentes cultures au Burkina Faso en 2013

1.4 La culture du coton au Burkina Faso

Cependant, les rendements suivent une tendance stagnante, voire baissière, depuis trois décennies (1986/1987), à l'image de la région semi-aride africaine (Constable & Bange, 2015 ; Laris *et al.*, 2015 ; Fig. 1.1). Il y a par ailleurs un potentiel de croissance à valoriser au regard du déficit de rendement ('yield gap') estimé à 760 kg ha⁻¹ de fibres (Hengsdijk & Langeveld, 2009)

1.4.3 Evolution des pratiques culturelles et de gestion de la fertilité des terres

Les pratiques culturelles ont évolué au gré des contraintes locales soit par adaptation endogène, soit à l'initiative de la recherche. En effet, le mode traditionnel de gestion de la fertilité des terres reposait sur les systèmes de culture avec jachères. Mais de nos jours, ces derniers ont fait place à des systèmes de cultures permanents sous l'influence de la démographie, du développement des cultures commerciales (dont le coton) et de la mécanisation du travail du sol (Tersiguel, 1995 ; Serpantié, 2003 ; Hauchart, 2007 ; Jouve, 2007). Le travail mécanisé du sol est d'ailleurs un des principaux facteurs de différenciation entre les systèmes cotonniers et céréaliers, ces derniers reposant largement sur l'utilisation de la houe manuelle.

La mécanisation du travail du sol à l'aide de la traction animale ou du tracteur, qui ont été introduits respectivement dans les années 1950 et 1970, a permis de coloniser des terres lourdes et de réaliser un labour profond du sol (Tersiguel, 1992). L'incidence positive du labour – à plat ou en billons - sur le contrôle de l'enherbement, l'amélioration de l'enracinement et de la nutrition hydrominérale, et in fine les rendements (Charreau & Nicou, 1971 ; Nicou & Poulain, 1972), a fortement motivé sa vulgarisation à large échelle. Dans la même logique productiviste, l'utilisation des engrais minéraux a

toujours été associée à la culture cotonnière. Les céréales, et le maïs en particulier, qui succèdent au cotonnier dans la rotation, profitent des arrière-effets du travail du sol et de la fertilisation. Cependant, on assiste, depuis quelques décennies, à une désintensification de la culture du coton au profit du maïs (Laris *et al.*, 2015). Cette pratique consiste à détourner une partie des engrais fournis pour le cotonnier vers le maïs, afin d'accroître les rendements du maïs en réponse à la demande croissante de la consommation urbaine.

Afin de maintenir la fertilité des sols et les rendements, les restitutions organiques sont vite apparues comme une nécessité (Berger *et al.*, 1987, Sedogo, 1993 ; Bado *et al.*, 1997). D'où la promotion de l'intégration agriculture-élevage et de la production de la fumure organique (parcs d'hivernage, fosses compostières). Mais la disponibilité des fumures organiques reste largement insuffisante (2,5-3 t pour 7 à 10 ha emblavées ; Kestemont, 2009) par rapport à la dose recommandée de 6 t ha⁻¹ tous les 3 ans (Berger *et al.*, 1987).

En outre, les semis précoces sont devenus un gage de bon rendement pour le cotonnier (Dakou *et al.*, 1995). Or les délais de semis ne peuvent souvent plus être respectés avec le LC (en traction animale) à cause des contraintes pédoclimatiques et énergétiques évoquées plus haut (Charreau & Fauck, 1970 ; Nicou & Poulain, 1972 ; Morin, 1993 ; Somé & Sivakumar, 1994 ; Gardner *et al.*, 1999). Ce contexte a donc favorisé l'expansion des techniques culturales simplifiées (TCS) en champ paysan (Kambiré, 2006 ; Kestemont, 2009), qui profite par ailleurs de la disponibilité des herbicides pour le contrôle des adventices. Bien que ces TCS soient des composantes de l'agriculture de conservation, elles ne s'inscrivent pas systématiquement, selon la logique paysanne, dans la perspective de la gestion durable des sols.

1.4.4 Effet des pratiques culturales sur la fertilité des sols

1.4.4.1 Effet du travail mécanisé du sol sur l'érosion des sols

La mécanisation du travail du sol a une double action néfaste sur les pertes en terre par érosion hydrique des sols. D'une part, elle favorise l'extension des emblavures et la réduction du couvert végétal (Tersiguel, 1995 ; Ki-Zerbo, 1999), et donc accroît la surface de ruissellement. D'autre part, elle fragilise la stabilité structurale des horizons humifères en favorisant la suppression du réseau racinaire et en brisant les liaisons intra-agrégats (Charrière, 1984 ; Peltre-Wurtz, 1984 ; Roose, 1985). Cela entraîne une nette augmentation des pertes de terres et de nutriments. De la culture manuelle à la culture mécanisée, ces pertes varient respectivement de 1,0-6,5 à 2,5-10 t ha⁻¹ en zone soudano-sahélienne (Roose, 1978), de 5,5 à 10 t ha⁻¹ en savane humide (Boli *et al.*, 1993) et 8,7 à 14,1 t ha⁻¹ en zone soudano-guinéenne (Charreau et Fauck, 1970). C'est ainsi que dans les cas extrêmes, les sols évoluent vers une masse minérale résiduelle dégradée et stérile, localement appelée « zipellé » et reconnue par sa surface encroûtée et compacte, en témoignent les observations faites sur des glacis dans la province du Mouhoun (Hauchart, 2005).

1.4.4.2 Effet du travail du sol sur la qualité des sols

Le COS est un indicateur essentiel de la qualité des sols tropicaux (Manu *et al.*, 1991 ; Feller, 1995 ; Barthès *et al.*, 1998). Cependant, il est très largement admis que la teneur en COS de l'horizon superficiel du sol décroît plus ou moins significativement avec l'intensité du travail du sol en allant des TCS au LC (Barthès *et al.*, 1998 ; Ouattara *et al.*, 2007a ; Wright *et al.*, 2008 ; Thierfelder *et al.*, 2013, Kuhn *et al.*, 2016). En effet, en Aveyron, Barthès *et*

al. (1998) ont observé que la teneur en COS à la profondeur 0-10 cm du sol est de 14,2 g kg⁻¹ en labour à plat, 18,2 g kg⁻¹ en travail superficiel du sol et atteint le seuil de 20,1 g kg⁻¹ en semis direct. En réalité, le LC favorise une distribution plus homogène du COS dans le profil (Curtin *et al.*, 2010). Par ailleurs, les travaux de Balesdent *et al.* (2000) et de Lal (1999) renseignent que la différence de teneur en COS entre TCS et LC devient inexistante après 15 cm de profondeur du sol ou lorsqu'on considère l'ensemble du profil 0-20 cm (LC : 5,49 kg/m², TCS : 6,68 – 6,97 kg/m²). Dans un essai de longue durée au Nigéria (25 ans), Lal (1999) a constaté que la teneur en COS de l'horizon 10-20 cm labouré est significativement plus élevée qu'avec les TCS, l'inverse ayant été observé dans l'horizon de surface. En plus de l'effet néfaste de l'intensité du travail du sol, Ouattara *et al.* (2007a) ont observé une décroissance significative de la teneur en COS de 30 à 70% (par rapport à une jachère) en passant d'un labour biannuel à un labour annuel.

L'effet bénéfique des TCS sur le maintien du COS de l'horizon cultural résulte de la moindre perturbation du sol, limitant ainsi la déprotection physique du COS et sa minéralisation (Taveres-Filho & Tessier, 1998, Balesdent *et al.*, 2000 ; Six *et al.*, 2002, Feller & Chenu, 2012). Comme corollaire, les TCS sont reconnus comme étant plus favorables au maintien de la stabilité des agrégats du sol et à la réduction de l'érosion (Barthès *et al.*, 1998; Barthès & Roose, 2002; Ouattara *et al.*, 2007b). Cela affecte positivement la croissance et l'activité de la population lombricienne et microbienne, en témoigne la corrélation positive qui a été observée, dans les Antilles, entre la densité des vers de terre et la teneur en COS ou le pourcentage d'agrégats stables > à 500 µm (Blanchart *et al.*, 2000).

Il est donc attendu, et surtout sur le long terme, une amélioration de la qualité physico-chimique et biologique de l'horizon cultural des sols sous TCS, et ce dans une diversité de conditions écologiques (Kosutic *et al.*, 2001 ; Barzegar

1.4 La culture du coton au Burkina Faso

et al., 2003 ; Thierfelder *et al.*, 2005 ; Thierfelder *et al.*, 2013 ; Brouder & Gomez-Macpherson, 2014 ; Singh *et al.*, 2014, Hati *et al.*, 2015). En effet, dans les essais respectifs en Colombie (2 ans) et en Zambie (6 ans), Thierfelder *et al.* (2005) et Thierfelder *et al.* (2013) ont constaté que, par rapport au LC, l'infiltration est de 2 à 5 fois plus élevée sous TCS, ce qui améliore la disponibilité en eau pour faire face aux poches de sécheresses. En climat soudano-sahélien, Ouattara *et al.* (2007b) ont conclu que la conductivité hydraulique à saturation (K_s) d'un Lixisol sous TCS est temporellement plus stable, après avoir comparé des parcelles sous LC annuel et LC bisannuel alternant avec TCS. Le K_s de la parcelle sous TCS (+47%) était plus élevé que celui de la parcelle labourée. Mais le résultat s'inverse au profit de la parcelle sous LC annuel (+97%) l'année où toutes les parcelles sont labourées. Une analyse de 168 articles publiés entre 1981 et 2007 et basés sur des recherches réalisées dans divers milieux écologiques (Strudley *et al.*, 2008), indique que les TCS, et plus particulièrement le zéro-labour (ZL), favorisent une continuité verticale des macropores, ce qui tend à augmenter l'infiltration et la conductivité hydraulique à saturation. Les effets des TCS sur la densité apparente et la porosité sont par contre inconstants en comparaison avec le LC.

1.4.4.3 *Effet du travail du sol sur les rendements des cultures*

Sur les rendements, l'effet comparé des TCS et du LC évolue dans le temps, et ce favorablement en faveur des TCS (Thierfelder *et al.*, 2013 ; Brouder & Gomez-Macpherson, 2014). En considérant une durée de 1 à 2 ans, les travaux réalisés en Inde (Jalota *et al.*, 2008) et en Turquie (Ozpinar *et al.*, 2004) renseignent des gains respectifs en coton-graine de 8% et 3% pour le LC par rapport au TCS. En revanche, après au moins trois années de mesures, la

tendance des rendements en coton graine s'inverse en faveur du TCS: +8 à 16% en Inde (Blaise & Ravindran, 2003 ; Blaise, 2006 ; 2011), +55% au Texas (Wright *et al.*, 2007). Dans un essai consacré au maïs pendant 6 ans (2006-2011) en Zambie, Thierfelder *et al.* (2013) ont constaté qu'après les 3 premières années où les différences étaient non significatives, les écarts de rendements en maïs grain entre TCS et LC deviennent significatifs (+75 à 91%). Sur la base d'une revue de littérature allant de 1976 à 2013 et couvrant l'Afrique subsaharienne (Brouder & Gomez-Macpherson, 2014), on constate que le gain de rendement en maïs-grain entre ZL et LC est de $0,16 \pm 1,01 \text{ t ha}^{-1}$ après 1 à 2 années d'essai, et de $0,50 \pm 0,96 \text{ t ha}^{-1}$ à partir de 3 ans. Ceci indique que l'efficacité des TCS s'améliore dans le long terme. Cette tendance est la réponse à l'amélioration des conditions de développement racinaire et d'alimentation hydrominérale de la plante (Wright *et al.*, 2007 ; Thierfelder *et al.*, 2013 ; Blaise, 2011 ; Brouder & Gomez-Macpherson, 2014) ou à un meilleur contrôle des adventices par le paillis ou les herbicides (Blaise, 2006 ; Usman *et al.*, 2013).

1.4.4.4 Effet de la fertilisation organique sur le sol et les rendements

La relation de dépendance entre la productivité des sols tropicaux et la teneur en COS du sol (Feller, 1995 ; Guibert, 1999) suffit pour situer l'importance indéniable des amendements organiques. Ses effets observés dans divers milieux sont fonction de la nature des amendements, de la dose, de la durée ou de la fréquence des applications et de l'état initial de la fertilité du sol. Au Niger, Bationo & Mokwunye (1991) ont observé que l'apport de 5 à 20 t ha^{-1} de fumier en 1984 et 1986 a permis une augmentation de la teneur en matière organique du sol de 34 à 100% par rapport à un témoin absolu ($2,9 \text{ g kg}^{-1}$). Au Nigéria, l'apport de 10 t ha^{-1} de fumier sur un Ultisol pendant deux années s'est

1.4 La culture du coton au Burkina Faso

traduit par un gain de matière organique de +79% par rapport à un sol témoin sans apport ($9,1 \text{ g kg}^{-1}$) (Obi & Ebo, 1995). Sur une longue période (28 ans), Sedogo (1993) a constaté qu'une dose de 40 t ha^{-1} de fumier tous les deux ans permettait de maintenir la teneur en MOS à +67% par rapport à une jachère ($3,7 \text{ g kg}^{-1}$), alors qu'une dose de 5 t ha^{-1} s'est révélée insuffisante pour maintenir la teneur en MOS à un niveau équivalent à celui de la jachère (-29%).

Barthès *et al.* (1998) et Ouattara (2007) tout comme beaucoup d'auteurs, ont observé un lien de cause à effet entre l'augmentation du COS et une amélioration de la stabilité structurale. Dans un essai de trois ans au Burkina, Ouattara *et al.* (2007b) ont constaté qu'un apport bisannuel de 5 t ha^{-1} de compost sur un sol ferrugineux tropical n'a pas permis d'améliorer significativement la conductivité hydraulique par rapport à un témoin sans apport. En revanche, une différence significative de conductivité hydraulique à saturation a été rapportée après un apport de 10 t ha^{-1} de fumier sur deux années au Nigéria (Obi & Ebo, 1995). Cette étude a par ailleurs mis en évidence une augmentation significative de la porosité du sol, de l'infiltration, de la réserve en eau utile, de la teneur en eau du sol et inversement une réduction significative de la résistance du sol et de la densité apparente. Du reste, ces effets positifs des amendements organiques sur la qualité physique des sols sont largement confirmés par de nombreuses études récentes sous divers milieux (Rasool *et al.*, 2007 ; Tejada & Gonzalez, 2008; Celik *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2014).

Par ailleurs, les amendements organiques sont indispensables pour l'équilibre de la balance des nutriments et le maintien des rendements, en témoignent plusieurs essais de longue durée (11 à 45 ans) réalisés au Mali (Ripoche *et al.*, 2015), au Burkina Faso (Sedogo, 1993 ; Bado *et al.*, 1997 ; Koulibaly, 2011) et au Nigéria (Abgenin & Goladi, 1997). Avec un seul apport de 6 t ha^{-1}

¹ de compost combiné à une fumure minérale appliquée pendant deux ans dans une rotation coton-maïs, Koulibaly *et al.* (2009) ont obtenu une balance positive pour N (+15 kg ha⁻¹) et P (+63 kg ha⁻¹) et une réduction du déficit pour le K (-16 kg ha⁻¹) contre respectivement -51, +47 et -62 kg ha⁻¹ pour la fumure minérale uniquement. Une autre étude au Zimbabwe (Zingore *et al.*, 2008) a révélé que l'application annuelle de l'équivalent de 30 kg P ha⁻¹ de fumier pendant trois années permet d'augmenter significativement le pH, le P disponible, la CEC, les bases échangeables et le taux de saturation. Cependant, le taux d'accroissement de ces propriétés est fonction de la nature du sol et de l'état de dégradation du sol. Par exemple en passant d'un sol argileux à un sol sableux, le taux d'accroissement du COS varie du simple au double. Les taux d'accroissement du pH_{eau} et du P disponible sont respectivement de 8% et 213% sur sol sableux, contre 1 et 5% sur sol argileux. Egalement, les taux d'accroissement du COS et P disponible d'un sol sableux dégradé (58% et 354% respectivement) sont plus élevés par rapport à un autre relativement plus fertile (16% et 74% respectivement). Cela indique que l'effet des amendements est plus marqué dans les sols relativement plus dégradés.

Quant aux rendements, Sedogo (1993) renseigne que l'apport bisannuel de 5 t ha⁻¹ de fumier associé à une fumure minérale (100 kg de NPK 37-23-14 + 50 kg d'urée) a permis une forte augmentation de 78% pour le rendement de sorgho grain par rapport à la fumure minérale seule. A Faroko-bâ au Burkina Faso, l'amendement d'un sol limon argileux de type ferrugineux avec 6 t ha⁻¹ de compost a permis une augmentation significative des rendements en coton-graine (+249 kg ha⁻¹) et en maïs grain (+575 kg ha⁻¹) par rapport au témoin sous fumure minérale (Koulibaly *et al.*, 2009). Pour presque la même dose de fumure, des surplus de coton-graine plus élevés (300 à 920 kg ; soit 15 à 46%) ont été enregistrés au Mali (Ripoche *et al.*, 2015).

1.5 Les principaux objectifs de la thèse

Par ailleurs, Ouédraogo *et al.* (2001) renseignent que l'apport de 5 t ha⁻¹ de compost sur du sorgho, en semis tardifs d'un mois, a permis un gain significatif de rendement en grains (+86%) par rapport au semis précoce sans compost sur un Lixisol en région soudanienne. Enfin, dans une perspective économique, on peut retenir que l'apport de la fumure organique peut permettre de réduire de 50% les besoins en NPK par rapport à une fertilisation exclusivement minérale (Khaliq *et al.*, 2006).

Conclusion partielle : La variabilité pluviométrique, la dégradation physico-chimique des sols, la faible fertilité intrinsèque des sols et l'insuffisance des apports minéraux et organiques sont des facteurs limitant la productivité agricole en région soudano-sahélienne. La prise en masse des sols justifie le besoin de travailler le sol afin d'améliorer les conditions de développement racinaire et d'alimentation hydrominérale. Cependant, la fenêtre temporelle pour réaliser un labour conventionnel est limitée, sachant que l'installation des cultures requiert 4 à 5 hj/ha avec le labour (Bassala, 2010). En plus, cette pratique est de plus en plus remise en cause pour ses effets négatifs sur la dégradation des sols. On peut donc se poser la question de savoir comment les TCS peuvent contribuer à mitiger la dégradation des sols et la baisse des rendements dans le contexte soudano-sahélien.

1.5 Les principaux objectifs de la thèse

De prime abord, il convient de souligner que la dégradation des terres n'est pas seulement un problème agronomique mais aussi le résultat des processus socio-économiques et le produit d'une histoire (Reboul, 1977). Pourtant la problématique de la dégradation des terres a souvent été abordée suivant une approche disciplinaire techniciste dont la limite principale est de ne pas

prendre en compte les logiques et les réalités socio-économiques locales. Cette approche simpliste d'une question multidimensionnelle peut expliquer, en partie, la persistance du hiatus entre d'une part la dégradation continue des terres et d'autre part, l'abondance des technologies de contrôle de l'érosion et de gestion durable des sols. C'est pourquoi la présente étude s'interroge sur des questions de natures diverses ? Les agriculteurs et les scientifiques ont-ils la même perception de la dégradation des terres ? Comment les agriculteurs évaluent-ils l'état de dégradation de leurs terres ? Quels sont les déterminants socio-économiques de l'état de fertilité de leurs terres ? Enfin, comment les pratiques adaptatives paysannes telles que les TCS contribuent-elles à la mitigation de la fertilité des terres ?

Face à ces questions, la présente étude vise à contribuer à une meilleure compréhension des savoirs endogènes et des facteurs socio-économiques qui gouvernent la fertilité des sols, ainsi qu'au développement de pratiques culturales plus efficaces dans une perspective de gestion durable des sols intégrant savoirs endogènes et savoirs scientifiques. Pour cela, l'étude vise trois objectifs spécifiques:

i) **le premier objectif** vise à établir la relation entre les indicateurs locaux et analytiques de fertilité des terres. Cela est d'autant plus nécessaire que le développement d'une agriculture locale plus résiliente impose de valoriser le savoir paysan (Winklerprins, 1999 ; Mikkelsen & Langohr, 2004). Les résultats escomptés devront permettre de mieux cerner la perception locale de la fertilité et d'optimiser la démarche de co-évaluation de l'état de fertilité des terres afin de rendre cette démarche moins coûteuse et moins lourde. Cette démarche sera utile pour aider la communication par les services de vulgarisation qui exercent dans le domaine de la gestion participative des terres.

1.6 Les principales parties de la thèse :

ii) **le deuxième objectif** vise à identifier les déterminants agronomiques et socio-économiques de la teneur en MOS dans les agrosystèmes cotonniers. Autant le premier objectif veut valoriser le savoir paysan, autant ce deuxième objectif veut intégrer les réalités locales dans la compréhension de la problématique de dégradation des terres, ceci étant la base de réflexion et d'élaboration de solutions « sociotechniques » à même d'être appropriées par l'agriculteur.

iii) enfin **le troisième objectif** vise à évaluer les effets du travail réduit du sol, de la dose et de l'épandage en bande de la fumure organique sur les propriétés physico-chimiques du sol et sur la productivité du cotonnier en rotation avec le maïs. A travers un dispositif expérimental, il est question d'identifier les pratiques alternatives (au labour) de travail du sol et de gestion de la fumure organique, qui soient favorables à l'amélioration de la productivité des cultures tout en préservant la qualité physico-chimique des sols.

1.6 Les principales parties de la thèse :

La thèse est structurée en quatre chapitres après le premier chapitre introductif. Les interrelations entre les chapitres sont illustrées à travers la Fig. 1.6.

Le **deuxième chapitre** se focalise sur la mise en relation des indicateurs locaux et analytiques du sol. Ce chapitre veut renforcer le pont de la communication entre agriculteurs et chercheurs en proposant une base d'indicateurs locaux et analytiques compatibles en vue d'harmoniser la compréhension des deux univers sur l'état de fertilité des terres. Ce chapitre contribue à valoriser le savoir local en matière d'évaluation de la qualité des terres. Il propose surtout aux chercheurs et techniciens une approche optimisée, moins coûteuse et moins lourde, pour l'évaluation endogène de la fertilité des terres. Cette approche optimisée repose sur la réduction du nombre

d'évaluateurs et d'indicateurs locaux de fertilité. Les services de vulgarisation opérant dans le domaine de la gestion de la fertilité des terres font partie des principaux bénéficiaires de cette approche qui leur permettra de communiquer plus efficacement avec les agriculteurs. Ce chapitre a déjà fait l'objet d'une publication en anglais dans la revue *Land Degradation and Development* (wileyonlinelibrary.com), c'est pourquoi nous le gardons en anglais.

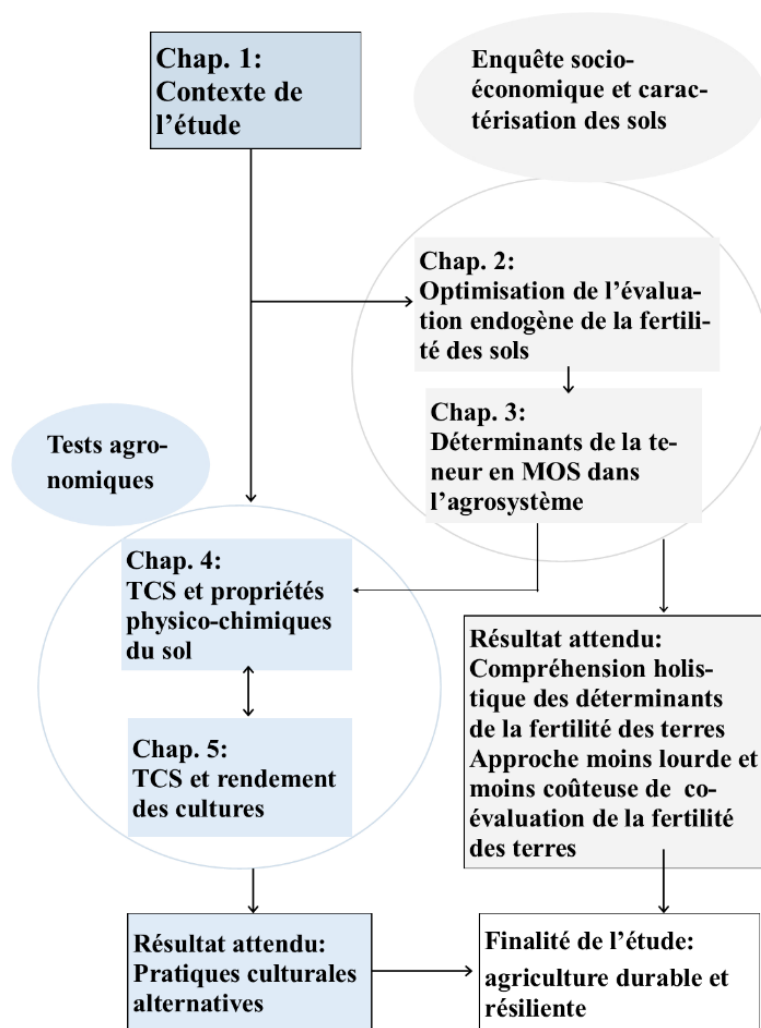


Figure 1.6 : Interrelations entre les principales parties de la thèse

1.6 Les principales parties de la thèse :

Le **deuxième chapitre** se focalise sur la mise en relation des indicateurs locaux et analytiques du sol. Ce chapitre veut renforcer le pont de la communication entre agriculteurs et chercheurs en proposant une base d'indicateurs locaux et analytiques compatibles en vue d'harmoniser la compréhension des deux univers sur l'état de fertilité des terres. Ce chapitre contribue à valoriser le savoir local en matière d'évaluation de la qualité des terres. Il propose surtout aux chercheurs et techniciens une approche optimisée, moins coûteuse et moins lourde, pour l'évaluation endogène de la fertilité des terres. Cette approche optimisée repose sur la réduction du nombre d'évaluateurs et d'indicateurs locaux de fertilité. Les services de vulgarisation opérant dans le domaine de la gestion de la fertilité des terres font partie des principaux bénéficiaires de cette approche qui leur permettra de communiquer plus efficacement avec les agriculteurs. Ce chapitre a déjà fait l'objet d'une publication en anglais dans la revue *Land Degradation and Development* (wileyonlinelibrary.com), c'est pourquoi nous le gardons en anglais.

Dans la mesure où le COS joue un rôle central dans la qualité des sols, le **troisième chapitre** est une suite logique du précédent et porte sur les déterminants agronomiques et socio-économiques de la teneur en MOS des agrosystèmes cotonniers. Ce chapitre est une contribution à la compréhension des interrelations entre les conditions socio-économiques des exploitations et la gestion de la fertilité des sols. Il contribue à une compréhension plus holistique des déterminants de la MOS, incluant le lien entre les conditions socio-économiques et l'état actuel de la MOS au niveau des agrosystèmes cotonniers. Les chapitres 2 et 3 partagent donc le même champ d'étude.

Les **chapitres 4 et 5** se focalisent sur l'évaluation expérimentale des TCS et du mode de gestion de la fumure. Pour rappel, l'ampleur et la persistance des déficits de rendements au cours de ces dernières décennies mettent en lumière les limites des pratiques conventionnelles de labour et d'épandage de la

fumure à la volée. Dès lors, il devient nécessaire de rechercher des pratiques alternatives en phase avec le contexte actuel de variabilité et de risque pluviométriques et d'insuffisance des ressources organiques dans les exploitations familiales. C'est pourquoi, l'étude s'est intéressée aux TCS en s'inspirant des pratiques paysannes d'adaptation au risque climatique. Ces pratiques apparaissent comme une opportunité à valoriser pour le maintien de la qualité des sols en leur associant l'épandage en bande de la fumure organique, qui est susceptible de permettre une réduction des besoins en fumure organique.

De manière spécifique, **le quatrième chapitre** évalue les effets du travail minimum du sol, de la dose de fumure et de l'épandage localisé en bande de la fumure organique sur des paramètres physiques et chimiques du sol. Le **cinquième chapitre** vient en complément du précédent en se focalisant sur la productivité du cotonnier et du maïs. Bien que la recherche expérimentale soit sous contrôle chercheur, elle innove en s'appuyant sur des pratiques inspirées du milieu paysan afin de faciliter l'appropriation future des résultats par les agriculteurs. Cette démarche du genre « bottom-up » est aussi valorisante pour l'agriculteur et se démarque un peu du schéma classique qui consiste à prescrire au monde paysan des technologies « prêtes à appliquer ».

Enfin, **une conclusion générale** résume les principaux résultats obtenus et présente des perspectives de recherches futures.

1.6 Les principales parties de la thèse :

Chapitre 2: Optimizing indigenous soil fertility assessments. A case study in cotton-based systems in Burkina Faso¹

2.1 Introduction

Because of its negative impact on agricultural productivity, loss of soil fertility is a source of food insecurity and poverty for rural households in Africa (Ezeaku & Davidson, 2008; Lal, 2009). It has thus been suggested that the improvement of the livelihoods of rural households should be based on the sustainable improvement of agricultural productivity through the restoration of the soils fertility (Lal, 2006a; b). Meeting the challenge of soil fertility restoration requires a good understanding of the biophysical and socio-economic effects of both land degradation and land management practices (Taonda *et al.*, 1995; Ezeaku & Davidson, 2008; Lal, 2009, 2011). In addition, an increasingly wide scientific opinion suggests the inevitability of taking into account local knowledge of farmers at the various stages of technology development, in view of increasing the adoption rate of the technologies and improving the effectiveness and sustainability of such actions (WinklerPrins, 1999; Barrera-Bassols & Zinck, 2003; WinklerPrins & Sandor, 2003; Barrios *et al.*, 2006).

¹ Basé sur: Kambiré F, Biielders C L, Kestemont M P, 2015, *Optimizing indigenous soil fertility assessment. A case study in cotton-based systems in Burkina Faso*. *Land Degrad. Develop.* Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ldr.2381

2.1 Introduction

The participatory development of sustainable soil management practices involves a series of steps, among which phases of participatory diagnosis, both for characterizing the initial soil state and for assessing the impact of implemented practices. One of the difficulties encountered in such work lies in the different standards used for characterizing soil fertility by farmers on the one hand, and by technicians and scientists on the other hand. For more than a century, soil scientists have developed a number of soil fertility indicators and reference values for physical, chemical and biological properties of the soil, allowing for the assessment of sustainable land management programmes (Doran & Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997). In general, this approach relies on individual analytical (also called technical) indicators such as pH, cation exchange capacity, soil organic matter content and texture. However, these analytical indicators do not readily lend themselves to proper communication with small-holder farmers, who possess no background in soil science and often have little or no formal education at all, yet constitute the majority of African farmers. On the contrary, farmers tend to use more qualitative indicators (e.g., indicator plants, soil colour, workability), as well as more holistic indicators about soil fertility (e.g., crop growth and yield) (Barrera-Bassols & Zinck, 2003; Barrios *et al.*, 2006).

Several issues need to be addressed in the process of documenting and using indigenous soil fertility indicators for plot-scale soil fertility assessments. The first issue regards the agreement by the farmers on a set of indicators of soil fertility. Although some degree of convergence of farmers' classification schemes has been observed across a wide range of ecological conditions (Barrera-Bassols & Zinck, 2003), the establishment of a list of indicators has to be performed locally in order to ensure maximal relevance. Recommendations have been published regarding ways of constructing such a list of indicators in a participatory mode (Barrios *et al.*, 2006), but little is

known as to the level of redundancy amongst local indicators. Strong correlations among indicators could possibly allow for the establishment of a minimum dataset of local indicators with similar predictive power yet less time consuming to collect. Once the list of local indicators has been agreed upon, a second issue relates to the reliability of its use. Because the indicators are qualitative in nature and the perceived scales (from good to bad) may be highly dependent on the interviewed person (Barrera-Bassols & Zinck, 2003), one can expect the results to be quite variable from one person to another. To our knowledge, the extent of this variability has received little attention. A better knowledge of this source of variability could also lead to more efficient data collection schemes.

One last issue regards the degree of convergence between the local and scientific analytical soil fertility indicators. An improvement of a particular analytical parameter will be of no use to a farmer if it does not translate into visible results in his own reference system. Alternatively, it is essential for a technical advisor to be able to translate local knowledge into analytical indicators. In addition, a high level of convergence between local and analytical indicators may allow for the design of optimal soil sampling schemes and hence a reduction in the cost of soil sampling (and related analyses). Previous studies have documented a certain degree of convergence between local and analytical indicators (Barrera-Bassols & Zinck, 2003), but this will inevitably be site-specific because of the qualitative scale used in farmers' evaluations and the vast diversity of soils and associated constraints across the globe.

The objectives of the present study were therefore threefold. The first objective was to determine how soil fertility (or conversely, the state of soil degradation) is assessed by farmers in the context of cotton production in the Mouhoun region of BFA. Because participatory soil fertility evaluation is labour intensive, the second objective aimed at determining whether the

2.2 Materials and methods

indigenous soil evaluation process could be optimized in terms of the number of indicators and evaluators to be considered in the process. Finally, we investigated whether farmers' evaluations were compatible with routine analytical indicators of soil fertility. This study focused on a particular production system, namely cotton farming systems in the North Sudanian zone of BFA, because cotton is central to the country's economy yet its sustainability is increasingly threatened by land degradation. Signs of land degradation, observed for example in the Mouhoun province of BFA, are physical alteration, chemical depletion and acidification (Hauchart, 2005). The same study reports that 82% of the land in this province is disturbed, leached or eroded.

2.2 Materials and methods

2.2.1 *Study site*

The study was conducted in the village of Kamadena (Fig.2.1), located in the Mouhoun region in the main cotton zone of BFA.

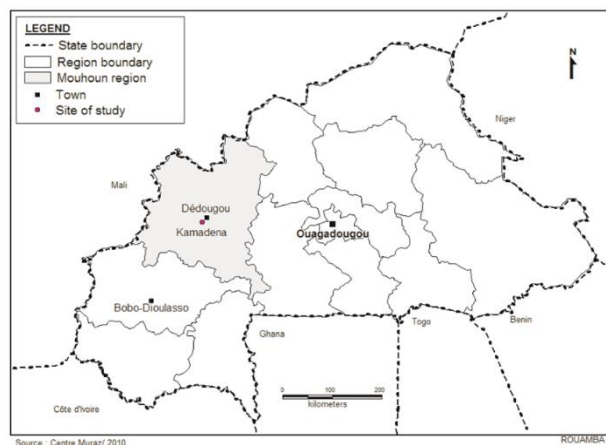


Figure 2.1 : Location of the study site in the north sudanian zone

The Mouhoun region has always been a major cotton-growing area and remains one of the largest cotton producing areas of the country (33% of the national production in 2010-2011). However, the sustainability of the farming systems is increasingly hampered by the strong anthropic pressure on the natural resources, the Mouhoun being the most populated region in BFA.

At Kamadena, farming mainly occurs on ferruginous soils (Boulet, 1976). The village is subject to relatively high rainfall hazards because of its north-Sudanian location. Annual rainfall is highly variable (732 ± 128 mm; mean $\pm$ SD).

2.2.2 Selection of cotton plots

Thirteen cotton plots were subjected to both indigenous and physico-chemical characterization (Tab. 2.1).

Table 2.1 : Some characteristics of the plots that were evaluated by farmers : location, origin of the owner, fertility level as reported by the owner, and descriptive statistics of the local fertility index calculated using 10 indicators (LFI₁₀; Eq. 1 and Table 2.2). Plots are ranked by increasing values of the LFI₁₀. Origin legend: N = native; A = allochton

Plot	Coordinates		Origin	Fertility level	LFI ₁₀				
	North latitude	West longitude			mean	median	SD	min	max
4	12°22.365'	03°33.255'	N	Medium	0.45	0.25	0.50	0.00	1.00
7	12°23.837'	03°31.251'	A	Rich	1.00	1.00	0.47	0.00	2.00
13	12°22.210'	03°33.337'	N	Rich	1.05	1.00	0.16	1.00	1.50
2	12°21.990'	03°33.205'	N	Rich	1.15	1.00	0.82	0.00	2.50
1	12°22.207'	03°32.559'	N	Medium	1.20	1.50	0.92	0.00	2.00
5	12°23.724'	03°30.997'	A	Rich	1.35	1.00	1.08	0.00	4.00
6	12°23.586'	03°31.138'	A	Degraded	2.65	2.75	1.25	1.00	5.00
10	12°21.912'	03°32.107'	A	Degraded	2.80	3.00	0.63	2.00	4.00
9	12°22.477'	03°31.974'	A	Degraded	3.20	3.00	1.09	2.00	4.50
3	12°22.147'	03°33.485'	A	Degraded	3.40	3.50	0.84	2.00	5.00
11	12°21.855'	03°32.166'	A	Degraded	3.50	3.50	1.18	1.00	5.00
8	12°21.749'	03°31.536'	A	Degraded	3.75	3.50	0.72	3.00	5.00
12	12°22.074'	03°31.352'	A	Degraded	4.20	4.00	0.63	3.00	5.00

SD: standard deviation

Plots are ranked by increasing values of the LFI₁₀

2.2.3 *Physico-chemical characterization of the plots and soil fertility index*

In each plot, 9 samples (0-15 cm depth) were taken on residual ridges from the previous crop to form one composite sample. Soils were sampled in May 2011, before soil preparation and application of fertilizers. To facilitate future adoption of the methodology proposed in this paper, only routine soil analyses on the fine earth (< 2 mm) were considered. Particle size distribution was determined through wet sieving (sand) and the Robinson pipette method (silt and clay). pH_{water} was determined for a 1:2.5 soil:water ratio. Total organic carbon (SOC) was obtained by the colorimetric assay of Graham (1948). Total nitrogen was determined by the modified Kjeldahl method. Total potassium and P Bray I were respectively determined by flame photometry and spectrophotometry. More details can be found in Okalebo *et al.* (2002). The analyses were selected so as to encompass both physical (texture and SOC, as proxies for water holding capacity and bulk density) and chemical (N_{tot}, P Bray I, K_{tot}, pH_{water} , texture and SOC, as proxies for CEC; pH_{water} as a proxy for base saturation and Al toxicity) indicators.

A simple analytical soil fertility index (AFI) was constructed on the basis of the normalized analytical soil fertility indicators. Because reference values for low and high cotton productivity were not available in the literature for all indicators, indicators were normalized on the basis of the observed minimum and maximum values after excluding plot #2 (see results for an explanation). A soil physical fertility index was calculated as the weighted sum of the normalized texture (clay and silt) and SOC indicators. Clay and silt were each given a weight of 0.25, and SOC a weight of 0.5. A soil chemical fertility index was calculated as the weighted sum of the normalized clay, SOC, pH_{water} , N_{tot}, K_{tot}, and P Bray I indicators. All factors were given the same

weight (1/6). The aggregate analytical soil fertility index (AFI) was then calculated as the mean of the physical and chemical fertility indexes.

2.2.4 *Indigenous soil fertility evaluation*

Drawing on the methodology proposed by Barrios *et al.* (2001), 15 participants were first pooled in groups of five farmers, under the supervision of a literate member, to list elements they saw as indicators of soil fertility. Second, all elements were jointly merged into a single list, making sure that all the participating farmers had the same understanding regarding each element. Lastly, the 13 cotton plots were rated *in situ* on a scale from 0 (fertile) to 5 (degraded) for each indicator separately by 13 to 16 participants taken individually to each plot. At the time of evaluation, cotton was at the fruit formation stage.

For each plot, an aggregate local index of fertility, the local fertility index (LFI_n), was calculated as follows:

$$LFI_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ind_{i,j} \quad (Eq.2.1)$$

where Ind_i is the median of the ratings assigned by the farmers to indicator i of a given plot j, and n is number of local indicators used.

2.2.5 *Data analysis*

The reliability of the farmer's ratings was assessed using the interquartile range (IQR) of scores for every indicator in each plot. Indeed, a high IQR reflects large disagreement among farmers. For each plot, farmers corresponding to statistical outliers were removed for a given indicator when the IQR was ≥ 2.75 . After cleaning, 11 to 16 evaluators were kept, depending on the indicator and plot.

2.2 Materials and methods

Three indicators, Erosion Signs (ES), Need for Hoeing (NH) and Need for crop Rotation (NR) (Tab. 2.2), presented a high IQR in numerous plots. This may have resulted from the highly subjective nature of the indicator or from insufficient harmonization of farmers' understanding of these indicators. Consequently, these three indicators were not further considered in the analysis.

Since most local indicators had a skewed distribution, the median rather than the mean was used throughout this study. The data was first analysed by calculating Spearman's rank correlation coefficient among local indicators, among analytical parameters, and between local indicators and analytical parameters. Linear regressions were further used to assess the quality of the relationships between local indicators and analytical parameters.

In order to determine whether the number of indicators included in the LFI could be reduced without significant loss of information compared to LFI_{10} ($n=10$), LFI_n (Eq. 2.1) was also calculated with $n = 1, 2, \dots, 9$ indicators, considering all possible combinations of indicators. For each value of n , we identified the best combination of indicators based on the smallest RMSE (root mean square error) value:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p (LFI_{n,j} - LFI_{10,j})^2} \quad (Eq.2.2)$$

where j refers to the plot number and p is the number of plots ($p=13$). Besides the RMSE, the coefficient of determination R^2 between LFI_{10} and LFI_n , and the slope of the linear regression equation (passing through the origin) between the two variables were also calculated.

In order to determine the optimal number of farmer evaluators needed to estimate with a fixed level of accuracy the median value of any given indicator, we determined through bootstrapping the standard deviation of $Ind_{i,j}$. This was achieved using the data from 9 evaluators that were common

to all plots and indicators. The optimal number of farmer evaluators needed to estimate with a fixed level of accuracy the LFI_n was estimated using the same approach. Assuming that the median and the LFI are normally distributed, the number (n_e) of evaluators needed to estimate the mean value of $Ind_{i,j}$ or LFI_n with a desired margin of error (MOE) and a 95% confidence interval was estimated as follows:

$$n_e = \left(\frac{z \cdot \sigma}{MOE} \right)^2 \quad (Eq.2.3)$$

where σ is the standard deviation of the distribution, and $z = 1.96$ for a 95% probability. It was checked that the number of draws was sufficient to obtain stable results (absolute accuracy < 0.01 on σ). For $n < 10$, the standard deviation of LFI_n was determined for the optimal combinations of n local indicators.

Using a “backward” stepwise multiple regression, the minimum set of analytical variables that could explain the LFI_{10} values was identified. Analytical variables were eliminated one by one based on the smallest F-statistic, until the p-value of all the remaining predictive variables fell below the threshold of 0.05. All statistical analyses (correlations, regressions) were done using the R 2.12.1 software.

2.3 Results

2.3.1 *Local indicators of soil fertility*

Thirteen local indicators of soil fertility were identified during the participatory process. They could be classed into four groups (Tab. 2.2). “Pedo-indicators” refer to the soil’s physical state and its functioning. The soil’s nature (SN) referred to the textural class, which was identified visually or by touch. Soil colour (SC) was identified visually, associating preferentially

2.3 Results

black colour to clays, and reddish or whitish colours to sand and gravel. For shallow soils, soil thickness (ST) was the depth to any hard layer not permeable to roots. For deeper soils, farmers sometimes referred to the thickness of the soil's A horizon, identified by its darker colour, assuming that underlying horizons contribute little to the overall fertility. By inference, gravelly soils were associated with shallow soils. Compared to sandy soils, clay soils were known to have a better water holding capacity (WH). The evaluation of ES was based on surface sealing and signs of sheet and rill erosion.

The second group is composed of two indicators of biological quality, termed 'bio-indicators': presence of termites and worms (TW) and indicator plant species (IS). The more marked the biological activity, the more fertile the soil. Indicator plants were diverse. *Striga* sp, *Dactyloctenium aegyptium*, and *Corchorus* sp were viewed as witnesses of decline in soil fertility, whereas *Setaria Pallide* - *Fusca* colonized relatively fertile lands.

The third group of indicators comprises "phyto-indicators" (Tab. 2.2). They reflect the status of the vegetation. VG relates to the status of the crop. Lush vegetation, thick stems, dark green leaves were seen as signs of fertile land. VC is a composite indicator which takes into account both the crops and other vegetation in the plot. For instance, the presence of woody species and their density were signs of fertile soil, confirmed by the crops' growth. LY refers to the level of expected yield based on the status of the crop at the time of fruit formation. Note that the scoring of VG, VC and LY may reflect the soil's fertility but also the impact of environmental factors such as rainfall distribution or pests and diseases, as well as management factors (date of sowing, timeliness of weeding, previous fertilization...).

Table 2.2: Mean values of the median and interquartile range (IQR) ratings of local indicators of soil fertility identified by participating farmers.

Type	Indicator	Mean IQR	Mean median
Pedo-indicators	Soil Nature (SN)	1.54	2.28
	Soil Colour (SC)	1.54	2.16
	Soil Thickness (ST)	1.21	2.10
	Water Holding capacity (WH)	1.52	2.17
	Erosion Signs (ES)	1.85*	2.02
Bio-Indicators	Presence of Termites and Worms (TW)	1.52	2.69
	Indicator Species (IS)	1.33	2.56
Phyto-indicators	Vegetative Growth, plant vigor (VG)	1.15	1.82
	Condition of Vegetation Cover (VC)	1.35	1.97
	Low Yields (LY)	1.35	1.86
Management indicators	Need for organic Manure (NM)	1.17	3.25
	Need for crop Rotation (NR)	1.77*	2.51
	Need for Hoeing (NH)	1.73*	2.55

* Indicators not retained in final evaluation.

The last group of indicators pertains to the estimated level of investment in labour (hoeing, NH) or inputs (manure, NM; rotation, NR) that would be required given the plot's fertility status (Tab. 2.2). Though not expressed in monetary terms, these indicators were termed 'management' indicators. They were assessed by inference. Farmers considered that degraded soils required more inputs (manure) as well as more labour (greater frequency of hoeing) to break surface crusts. Crop rotation was perceived as a necessity on infertile plots or in order to break the cycles of parasitic plants such as *Striga*.

According to Tab. 2.2, the indicator with the highest mean value was NM (3.25) whereas the lowest value pertained to VG (1.82). Hence, it appears that certain indicators were systematically ranked higher or lower than others.

2.3 Results

Except for ES, NH and NR, all indicators had similar interquartile ranges (Tab. 2.2). In addition, the results indicate that the farmer evaluations were quite variable from one farmer to another. Accordingly, it is essential to rely on multiple opinions to reliably assess soil fertility indicators.

Almost all local indicators were significantly correlated with each other, with the exception of ST which was not correlated to VC, LY, or IS (Tab. 2.3). All the pedo-indicators were auto-correlated, as were the phyto-indicators.

Chapitre 2: Optimizing indigenous soil fertility assessments

Table 2.3: Correlations between local indicators and soil analytical indicators. Spearman's rank correlation coefficients (R) are given above the diagonal. The significant correlation coefficients ($p < 0.05$) are written in bold. Below the diagonal, the level of statistical significance of the correlation is indicated as follows: ns: non-significant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.001$. LFI and AFI correspond to the local and analytical fertility indexes, respectively. A list of local fertility indicators is provided in Table 2.2.**

	SN	SC	ST	WH	TW	VG	VC	LY	IS	NM	LFI	Clay	Silt	SOC	N	P Bray	K	pHw	AFI
SN		0.99	0.79	0.80	0.85	0.83	0.70	0.78	0.85	0.88	0.92	-0.55	-0.57	-0.63	-0.48	-0.48	-0.50	-0.48	-0.67
SC	***		0.77	0.77	0.85	0.81	0.70	0.75	0.87	0.85	0.92	-0.54	-0.56	-0.64	-0.49	-0.46	-0.53	-0.47	-0.65
ST	**	**		0.66	0.70	0.58	0.52	0.46	0.56	0.70	0.65	-0.43	-0.42	-0.30	-0.04	-0.34	-0.21	-0.40	-0.49
WH	**	**	*		0.88	0.76	0.82	0.82	0.85	0.78	0.89	-0.49	-0.55	-0.42	-0.25	-0.29	-0.39	-0.26	-0.61
TW	*	***	*	***		0.85	0.87	0.80	0.95	0.78	0.92	-0.55	-0.54	-0.44	-0.27	-0.41	-0.35	-0.40	-0.59
VG	***	**	*	**	***		0.87	0.92	0.89	0.79	0.90	-0.74	-0.72	-0.63	-0.47	-0.65	-0.54	-0.71	-0.82
VC	*	*	ns	**	***	***		0.91	0.86	0.59	0.83	-0.60	-0.67	-0.30	-0.17	-0.51	-0.44	-0.42	-0.60
LY	**	**	ns	**	**	***	***		0.84	0.71	0.88	-0.54	-0.64	-0.43	-0.35	-0.62	-0.48	-0.46	-0.64
IS	***	***	ns	***	***	***	***	***		0.78	0.96	-0.66	-0.66	-0.60	-0.47	-0.39	-0.57	-0.46	-0.72
NM	***	***	*	**	**	**	*	**	**		0.85	-0.43	-0.44	-0.66	-0.41	-0.59	-0.26	-0.49	-0.66
LFI	***	***	*	***	***	***	***	***	***	***		-0.59	-0.64	-0.62	-0.47	-0.42	-0.56	-0.43	-0.71
Clay	ns	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	*	ns	*		0.84	0.65	0.56	0.21	0.76	0.78	0.93
Silt	ns	ns	ns	ns	ns	**	*	*	*	ns	*	***		0.41	0.30	0.20	0.81	0.47	0.79
SOC	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns		0.89	0.27	0.57	0.69	0.81
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***		0.09	0.63	0.58	0.66
P Bray	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns		-0.04	0.59	0.34
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	*	ns		0.41	0.72
pHw	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	*	*	ns		0.80
AFI	*	*	ns	*	*	**	*	*	**	*	*	***	**	**	*	ns	**	*	

2.3.2 *Fertility status of plots as assessed by farmers*

After splitting the LFI_{10} into three equally-sized classes, the study plots included 6 fertile ($0 < LFI_{10} < 1.7$), 3 medium fertile ($1.7 < LFI_{10} < 3.3$) and 4 degraded ($3.3 < LFI_{10} < 5$) plots (Tab. 2.1). The plot's LFI_{10} did not always agree with the original assessment of the owners. The plots originally classified by their owner as moderately fertile were in fact fertile in the eyes of the majority, whereas the three medium fertility plots were originally classified as degraded. The difference between the LFI_{10} based on all farmers' evaluations (Tab. 2.1) and the LFI_{10} calculated using only the owner's evaluation exceeded $\frac{1}{2}$ point in five plots, and even exceeded 1 point in two plots (not shown). These discrepancies between the owner's evaluation and the average evaluation of all farmers may reflect the fact that each farmer uses a somewhat different relative scale rather than an absolute scale to evaluate the plots. Relying on the sole opinion of the owner to evaluate the fertility of a given plot may thus induce a serious bias in the evaluation of a plot's fertility.

2.3.3 *Fertility status based on analytical indicators*

Soil texture ranged from loamy sand to clay loam (Tab. 2.4). SOC content was (very) low ($< 1\%$) in all cases, and soils were neutral to acidic. P Bray values varied by a factor 6 from very low values (plot 11) to medium values (plots 1, 2 and 5). Ktot varied by a factor 3 between the lowest and highest values. Plot 2 had much higher clay content than all other plots. It was discarded from further analyses because it strongly influenced (high leverage) any correlation or regression analysis involving the analytical parameters. Based on the analytical fertility index, plot 4 was the most fertile due to its high clay and

SOC contents as well as neutral pH. Plot 11 was least fertile, due to its low clay and SOC contents, acidic pH and very low available P.

All plots classified as degraded based on the LFI₁₀ had a sandy loam texture or coarser (Tab. 2.4). They had a higher sand content (71%±6.5) and lower silt (20%±4.0) and clay (9%±2.5) content than the rich soils (sand: 53%±10.5; silt: 35%±8.5; clay: 13%±3.0). They also tended to be more acidic (pH_{water}: 5.7±0.3) than fertile soils (pH_{water}: 6.2±0.4). Degraded soils tended to have lower SOC (0.46%±0.09), P Bray (3.2±1.2 mg/kg) and K_{tot} (626±121 mg/kg) than fertile soils (SOC: 0.62%±0.16; P Bray: 6.7±3.0; K_{tot}: 943±301). The plots that were ranked as medium fertility by farmers were more closely related to the degraded plots than to the fertile plots in terms of their analytical parameters (Tab. 2.4).

Table 2.4: Physico-chemical characteristics and analytical fertility index (AFI) of the studied plots, ranked by increasing LFI₁₀ value (Table 2.1). Legend of textural class: L = loam; SL = Sandy loam; CL = Clay loam; LS = Loamy sand

Plot	Clay	Silt	Sand	Textural class	SOC	N	pH water	P Bray I	K	AFI
	%	%	%		g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹		mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	
4	17.7	37.3	45.1	L	8.93	0.65	6.8	4.58	1264	0.92
7	11.8	41.2	47.1	L	5.86	0.43	5.8	3.95	1279	0.54
13	9.8	19.6	70.6	SL	6.26	0.47	5.9	5.46	702	0.39
2	33.3	27.5	39.2	CL	8.35	0.62	5.8	8.78	653	/
1	11.8	35.3	52.9	L	5.39	0.37	6.3	10.88	719	0.50
5	13.7	39.2	47.1	L	4.64	0.36	6.2	8.61	750	0.48
6	9.8	29.4	60.8	SL	4.12	0.42	5.4	2.73	983	0.27
10	7.8	21.6	70.6	SL	4.23	0.30	5.4	4.91	567	0.16
9	9.8	21.6	68.6	SL	5.74	0.46	6.1	6.34	763	0.39
3	9.8	19.6	70.6	SL	5.34	0.37	5.8	3.7	714	0.29
11	7.8	19.6	72.6	SL	3.65	0.26	5.3	1.85	573	0.06
8	5.9	15.7	78.4	LS	4.06	0.33	5.5	4.66	481	0.08
12	11.8	25.5	62.8	SL	5.57	0.45	6.0	2.69	738	0.39

2.3 Results

Just like the indigenous indicators, there was some degree of redundancy among the analytical indicators. Unsurprisingly, significant correlations were observed between clay content on the one hand, and SOC, pH_{water} and K_{tot} content on the other hand (Tab. 2.3). As expected, total nitrogen content was strongly and positively correlated to SOC. SOC was also positively and significantly correlated to clay content, K content, and pH_{water} .

2.3.4 *Reducing the number of local indicators*

Asking numerous farmers to individually evaluate 13 plots using 13 indicators is a tedious, time-consuming process both for the farmers and the scientists. Furthermore, the strong auto-correlations between indicators of the same type (Tab. 2.3) seem to indicate that the local indicators often reflect the same reality and hence are partly redundant. We therefore investigated whether the LFI_{10} could be estimated using a smaller set of local indicators (LFI_n , with $n < 10$) without major loss in accuracy.

For the best combinations of indicators, the RMSE calculated between LFI_{10} and LFI_n decreased strongly from $n = 1$ to $n = 4$ local indicators, after which there was little additional gain in accuracy from a further increase in the number of local indicators (Tab. 2.5). The best single predictor of LFI_{10} was SN. Considering the slope of the linear regression, this predictor induced little bias in the estimation of LFI_{10} , but the quality of the prediction was moderate. For 3 indicators, combining SN, TW and VG resulted in the lowest RMSE (Tab. 2.5), but replacing VG by LY lead to equally good results ($\text{RMSE} = 0.18$, $R^2 = 0.98$, slope = 1.002). These combinations of 3 indicators offer the advantage that they draw on 3 different groups of indicators (i.e., pedo-, bio-, phyto-indicators) and may constitute a minimum local indicator dataset.

Table 2.5: Optimal combinations of local indicators used for estimating LFI₁₀. Root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R²) and slope of the linear regression passing through 0 of LFI_n vs. LFI₁₀.

Number of indicators	Indicators	RMSE	R ²	Regression slope
1	SN	0.45	0.863	0.991
2	SC, WH	0.28	0.956	0.944
3	SN, TW, VG	0.18	0.979	0.997
4	SN, WH, TW, VG	0.08	0.996	0.983
5	SN, SC, WH, TW, VG	0.12	0.993	0.975
6	SC, ST, IS, LY, VC, NM	0.06	0.998	1.011
7	SC, ST, WH, IS, LY, VC, NM	0.08	0.996	1.002
8	SN, ST, TW, IS, LY, VC, VG, NM	0.07	0.998	1.010
9	SC, ST, WH, TW, IS, LY, VC, VG, NM	0.05	0.998	1.001
6*	SN, SC, TW, IS, LY, VG	0.19	0.978	0.989

* Suggested combination

Although the combination of SN, TW and VG (or LY) appears to be a very good proxy for LFI₁₀, some degree in redundancy amongst indicators may be desirable in practice during plot fertility evaluation, as this would allow for cross checking of data coherence. Using a combination of 6 local indicators has the potential advantage that each indicator type can be duplicated. However, the optimal combination of 6 indicators (SC, ST, VC, LY, IS, NM) does not allow for cross-checking of the bio-indicators (TW is excluded), and it integrates NM whose assessment may also be problematic as it is entirely based on inference. As an alternative, we suggest the following combination of 6 factors: SN and SC as pedo-indicators, TW and IS as bio-indicators, and VG and LY as phyto-indicators (Tab. 2.5). This combination of paired

2.3 Results

indicators is suggested based on the factors that are best correlated within each class of indicators (Tab. 2.3). The resulting RMSE, R^2 and slope of the linear regression are of the same order as those obtained with 3 indicators. Further justification of this choice is provided in the general discussion.

2.3.5 Reducing the number of evaluators

The standard deviation values for the individual local indicators were largest for intermediate median values and decreased for high and low median values (not shown). The standard deviation was highest for a mean median value of 3 ($\sigma = 0.72$). Using Eq. 2.3, we can thus estimate that there is a 95% probability that the median value of 3 can be estimated within ± 0.39 units by 13 evaluators. Alternatively, 8 evaluators would be sufficient to estimate the median values with an accuracy of ± 0.5 , but 32 evaluators would be needed to improve the accuracy to ± 0.25 .

Because it relies on several indicators that are strongly auto-correlated, estimating the LFI with an accuracy of ± 0.25 requires fewer evaluators than estimating individual indicators with the same level of accuracy (Fig. 2.2).

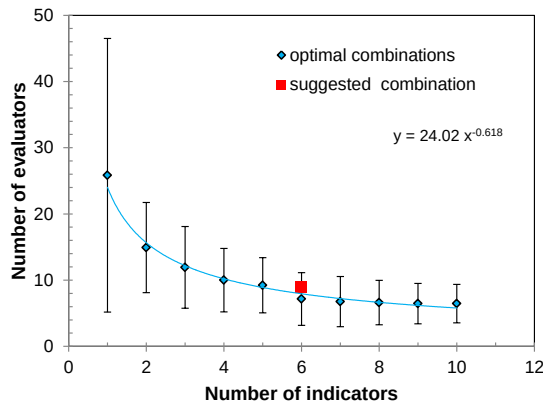


Figure 2.2: Number of evaluators needed to estimate the local fertility index (LFI) with an accuracy of 0.25 (at 95% probability) as a function of the number of indicators used for the calculation of the LFI_n (Eq. 2.1).

For 10 indicators, depending on the plot, 7 ± 3 evaluators are required to achieve the desired level of accuracy with a 95% probability. As the number of indicators used for calculating the LFI decreases, the required number of evaluators increases while keeping the same level of accuracy. This indicates the existence of a trade-off between the number of indicators and the number of evaluators when evaluating the LFI.

Relationship between individual indicators or parameters

Among the analytical parameters, SOC was significantly correlated to 5 out of 10 local indicators. Particle size classes were significantly correlated to all phyto-indicators (Tab. 2.3). Three local indicators (ST, WH, TW) were correlated with none of the analytical parameters. Local indicators were negatively correlated with all analytical parameters (Tab. 2.3). Since a rating of 5 indicated very degraded soil, all analytical variables are indicators of fertility rather than infertility. The AFI was significantly and positively correlated to all indicators except ST.

Fig. 2.3 shows the results of the regression analysis between the local and analytical indicators which were significantly correlated (Tab. 2.3) and had a coefficient of determination $R^2 > 0.50$. VG appears determined by soil texture and pH. Soil texture, especially the contents of silt, also explained 53% and 51% of the variability of IS and VC, respectively. SOC alone explained 50% and 51% of the variability for SN and SC, respectively.

2.3 Results

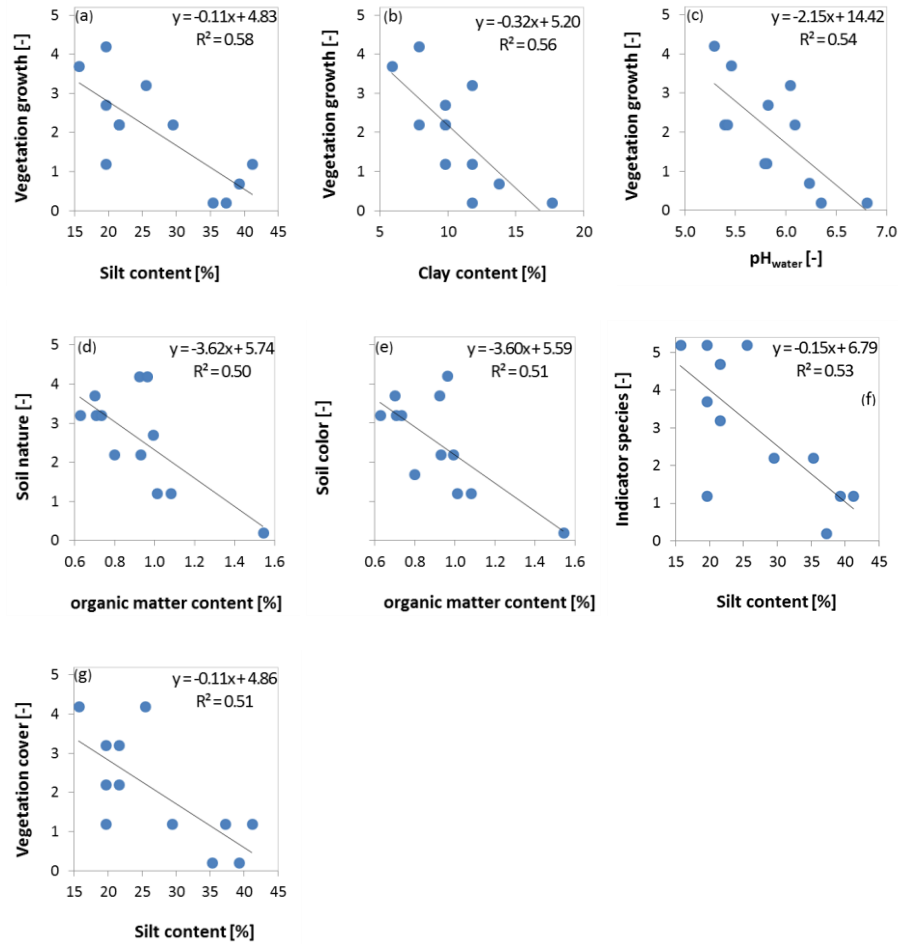


Figure 2.3: Linear regression (regression line, regression equation and coefficient of determination) between local indicators and analytical soil parameters. Only those parameters which were significantly correlated (Table 2.3) and had a coefficient of determination $R^2 > 0.50$ are shown.

Relationship between the LFI and the soil analytical parameters

LFI₁₀ was significantly correlated with the particle size fractions and SOC (Tab. 2.3). Based on linear regressions, the best single predictive variables of LFI₁₀ are the particle size classes, especially clay and silt (Fig. 2.4). However,

the slope of the regressions, which is a measure of the sensitivity of the farmer's evaluations to changes in the soil texture, indicates a greater sensitivity to clay content than to silt (Fig. 2.4).

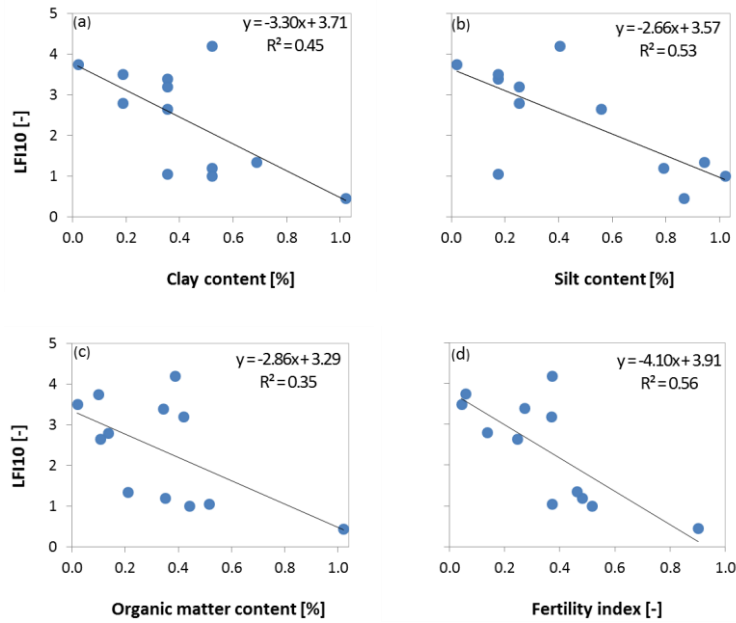


Figure 2.4: Linear regression (regression line, regression equation and coefficient of determination) between LFI10 and normalized soil analytical parameters (a to c) or soil analytical fertility index AFI (d).

Since LFI_{10} is a holistic indicator of soil fertility, it seems logical that it should be well correlated with more holistic analytical properties. This is the case for soil texture, which is directly or indirectly related to many soil functions, including supply of water or nutrients which are central to the soils' physical and chemical fertility in the semi-arid tropics. The LFI_{10} and AFI were significantly correlated (Tab. 2.3). The AFI could explain 56% of the variability in LFI_{10} .

2.4 General discussion

Based on the stepwise multiple regressions, the soil analytical parameters allowing best explaining the LFI₁₀ were clay and SOC content, pH_{water} and P Bray. These parameters allowed explain 79% of the variance ($p < 0.001$).

2.4 General discussion

Farmers used a wide range of indicators: pedo-, bio-, phyto- and management indicators. Many of the local indicators that were identified in the present study were also observed elsewhere, despite the diversity of geographic areas and social and linguistic situations (Barrios *et al.*, 2001; Barrera-Bassols & Zinck, 2003). In a review of indicators used by 62 ethnic groups for soil classification, it was reported that soil colour (100%) and soil nature (98%) are the most used soil indicators, as opposed to soil moisture (55%), SOM content (48%), soil productivity (26%) and soil depth (8%) (Barrera-Bassols & Zinck, 2003). What sets this study apart from previous studies is the inclusion of the 3 management indicators. This indicates that farmers' assessment of fertility does not solely rest on factual information (e.g., soil nature, plant growth status) but also on an estimation of the investments (labour, amendments) needed to increase a plot's productivity.

The local indicators were in general strongly correlated (Tab. 2.3). Hence, farmers used a variety of indicators to assess the same reality. The redundancy of indicators is probably used to confirm a judgment when a majority of indicators converge. Based on several mathematical indices (RMSE, R^2 , slope of regression), it was shown that the number of indicators used for calculating the local fertility index could be reduced to 3 without significant loss of information or bias (Tab. 2.5). Such information is useful for future studies as it would reduce the time needed to evaluate the fertility status of a given plot. However, achieving an accuracy of 0.25 on LFI₃ would still require 12

evaluators on average (Fig. 2.2). As shown in Fig. 2.2, a trade-off exists between the number of evaluators and the number of indicators needed to evaluate the LFI with a given level of accuracy. Increasing the number of indicators allows decreasing the number of evaluators. Hence, depending on whether the main constraint is farmer's time or the effort required to mobilize farmers, indigenous soil fertility assessments can be optimized in terms of number of indicators or number of participating farmers, respectively.

Tab. 2.5 lists the local indicators that should best be used for estimating the LFI. However, the selection of indicators should take into account additional criteria. Criteria for selecting indicators have been summarized by Van Cauwenbergh *et al.* (2007) (Tab. 2.6). Six of those criteria are applicable to the present study: (1) 'Discriminating power in time' refers to the ability of an indicator to reflect temporal changes in the fertility of a given plot. (2) Likewise, 'discriminating power in space' refers to the ability of an indicator to differentiate between different plots in space. Both criteria should be assessed in terms of their ability to discriminate between short and long term effects of management. For criterion (2), indicators should also be able to discriminate between differences in intrinsic fertility. (3) 'Analytical soundness' refers to the method used for deriving the indicator, including the robustness and repeatability of the procedure. (4) 'Measurability' refers to the ease with which the indicator can be derived, in terms of cost or time. In the present case, this criterion is not relevant since all indicators are obtained by on-site observations and none require substantially more time than others. (5) 'Transparency' refers to the ease with which the indicator can be understood. (6) 'Transferability' refers to the ability to use the same indicator for fertility evaluations in differing contexts.

2.4 General discussion

Table 2.6: Evaluation of the 13 local indicators according to 6 main criteria. A ‘+’ indicates that a given indicator responds favourably to the criterion and a ‘-’ indicates the opposite. A ‘?’ indicates an uncertain effect on the indicator.

		Indicator												
		SN	SC	ST	WH	ES	TW	IS	VG	VC	LY	NM	NR	NH
Discriminating power in time (same plot, different years)	STM*	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	?	?	?
	LTM*	-	+/-	-	+/-	+/-	+	+	+	+	+	+	?	?
Discriminating power in space (different plots, same year)	IF*	+	+	+	+	+/-	+	+	+	+	+	+	+/-	+/-
	STM*	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+	?	?
	LTM*	+/-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	?	?
Analytical soundness		+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Measurable		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Transparent		+	+	+/-	+	-	+	+	+	+	+	+/-	-	-
Transferable		+	+	+	+	+	+/-	+/-	+	+	+	?	?	?

* STM : short-term management effects; LTM : long-term management effects; IF : intrinsic fertility

Based on these criteria (Tab. 2.6), some indicators appear as less relevant for future studies. The use of ST in future studies may best be avoided for reasons discussed earlier. In addition, ST was the only indicator not to be correlated to VC and LY. Lack of transparency and analytical soundness, which are expected to translate into a high interquartile range (Tab. 2.2), were used implicitly to eliminate ES, NH and NR from the list of local indicators. In addition, though being very explicit, ES is much dependent on the occurrence of extreme climatic events and their timing, which may not occur every year or may occur early in the season and then be erased by hoeing operations. Farmers appeared to reliably evaluate the third management indicator (NM) in the present study. However, because it is also based entirely on inference, it seems preferable to avoid such an indicator in future studies.

Within each of the 3 remaining indicator classes (pedo-, bio-, phyto-), the above selection criteria do not allow for a clear-cut differentiation. Retaining at least one indicator from each class seems desirable, however. Indeed, the pedo-indicators, which are mostly based on the appearance and feel of the soil, can most likely not be used to assess short term management effects on soil fertility, and their sensitivity to long term management is uncertain as well. As opposed to the pedo-indicators, the bio- and phyto-indicators are likely to be much more responsive to management, yet they are also affected by external factors such as climate or pests whose effects can be highly spatially and temporally variable. Hence interpreting these indicators in terms of fertility may require some caution when dealing with large study areas.

The optimal combination of 3 indicators was found to be SN + TW + VG (Tab. 2.5). This corresponds to one indicator from each of the three main categories and is therefore consistent with the above analysis. Its only drawback is the absence of redundancy within the same indicator class, thereby effectively preventing data cross-checking. If some degree of cross-

2.4 General discussion

checking is desired, we therefore recommended ‘duplicating’ each type of indicator (Tab. 2.5). The suggested combination (SN, SC, TW, IS, LY, VG) has an RMSE of 0.18, which is equivalent to the 3-indicator case, though less good than the optimal combinations of 4, 5 or 6 indicators. However, it meets all the above requirements in terms of indicator selection criteria, including redundancy. In addition, it allows working with as little as 9 evaluators to achieve an accuracy of 0.25. Because in our case mobilizing additional farmers and taking them to the field individually proved more difficult and time consuming than asking a few more questions, the recommended combination of 6 local indicators seems the most appropriate.

Despite the diversity of types of indicators, the correlation and regression analyses indicate an overall consistency between local indicators of soil fertility and the soil analytical parameters. This finding confirms earlier studies in different localities of Burkina Faso (Gray & Morant, 2003; Traoré *et al.*, 2012) and elsewhere (Barrera-Bassols & Zinck, 2003; Saito *et al.*, 2006; Dawoe *et al.*, 2012). All these studies are consistent in saying that soils globally identified as rich by farmers using morphological indicators, also have better chemical parameters. Nevertheless, despite the overall consistency of local indicators and analytical parameters, the coefficients of determination R^2 between local indicators and analytical parameters never exceeded 0.58 (Fig. 2.3). In the case of the LFI_{10} , the AFI explained 56% of the total variance in LFI but the best linear combination of analytical parameters explained 79% of the total variance. This good yet still imperfect relationship between LFI_{10} and the analytical parameters may be due to the holistic nature of LFI_{10} but also to the fact LFI may integrate effects not directly related to fertility, such as differences in plant growth or in biological activity due to rainfall variability or spatial variability in pests and diseases. In addition, both the LFI and analytical parameters are subject to errors. Finally, Eq. 2.1 assumes that

all indicators contributed equally to the LFI. In the future, different weights may be attributed to the indicators, which will have to be determined with the farmers themselves in a participatory process. In addition, farmers could be asked to provide an overall rating of each plot. Future studies should also investigate the temporal stability of the indigenous evaluations.

This study highlights the fact that farmers' perception appears rather more based on the effects and consequences of soil fertility than on the soil's fertility status per se. Rather than helping communication between scientists and farmers, the discourse on the "farmer soil scientist" may have to be revised. On the contrary, analytical indicators should be translated into variables similar to local indicators (e.g., crop yield, economic investment) in order to facilitate communication between farmers and scientists.

2.5 Conclusion

In the Mouhoun region of Burkina Faso, farmers were found to use four categories of indicators of soil fertility, related to the soil, the crop, biological activity and cropping practices needed to bring productivity to an acceptable level. Despite this variety of indicator types, indicator evaluations were mostly consistent as reflected in the strong correlations among local indicators. There was also a general consistency between local indicators and analytical parameters. However, scientific and indigenous indicators were intrinsically different, local indicators reflecting the effects or consequences of soil fertility whereas analytical parameters reflect the status of the soil. This difference in nature of the indicator makes for an imperfect relationship between the two. An analysis of farmers' fertility indicators revealed that certain indicators may best be avoided in future studies because they strongly rely on inference or profound knowledge of the subsoil rather than on easily observable factors.

2.5 Conclusion

This was the case for the management indicators as well as soil depth. There was a trade-off between the number of evaluators and the number of indicators needed to evaluate the local soil fertility index with a given level of accuracy. A combination of six indicators was proposed that encompasses pedo-, bio- and phyto-indicators. This combination provides opportunity for data quality cross-checking, and satisfies the general requirements of good indicators. Future work should aim at testing the proposed scheme on a wider variety of agro-pedological conditions. In addition, it implies that proper communication between farmers and scientists will require soil scientists to convert their analytical parameters into crop growth or yield-related indicators or into practical management recommendations. For that the latter, the social and economic conditions of farmers need to be taken into account for a better understanding of local constraints in soil management in order to face them with appropriate solutions. Since improvements in soil fertility must, at least partly, rely on the use of organic amendments, it is of special interest to understand the socio-economic factors that drive the SOC content in soils. This is why the next chapter will deal with the determinants of SOC content in cotton cropping systems.

Chapitre 3 : Déterminants de la teneur en matière organique du sol dans les agrosystèmes cotonniers en zone nord soudanienne du Burkina Faso.

3.1 Introduction

La perception endogène de la fertilité des sols est basée sur une diversité d'indicateurs biophysiques mais aussi économiques (Chap. 2 ; Tab.2.2). Malgré la nature différente de ces indicateurs, ils sont de part et d'autre corrélés à la teneur en matière organique du sol (Chap. 2 ; Tab.2.3), qui représente un critère essentiel de la qualité des sols tropicaux. En effet, les matières organiques jouent un rôle bénéfique dans la formation et la stabilisation des agrégats (Albrecht *et al.*, 1992, Barthès *et al.*, 1998), la mitigation de l'érosion (Lal, 1981 ; Barthès & Roose, 2002), l'activité biologique (Haynes & Tregurtha, 1999) et les propriétés chimiques du sol (Bationo *et al.*, 2006). Par exemple, Manu *et al.* (1991) ont constaté sur des sols en Afrique de l'Ouest que la capacité d'échange cationique (CEC) dépend plus de la teneur en carbone organique du sol (COS) ($R = 0,86$) que de la teneur en argile ($R = 0,46$). De plus, la teneur en COS détermine les rendements agricoles (Guibert, 1999) ainsi que la réponse des cultures à la fertilisation minérale (Berger *et al.*, 1987 ; Bationo *et al.*, 2006). C'est pourquoi il a été établi que la durabilité de la production végétale sur les sols tropicaux dépend d'un seuil minimal de COS (Feller, 1995).

Ceci étant, il est rapidement apparu comme primordial de comprendre les processus biologiques, physiques et chimiques qui régissent l'évolution des matières organiques dans les sols et les taux actuels de matière organique

3.1 Introduction

(Taonda *et al.*, 1995 ; Feller & Beare, 1997). Ainsi, une littérature abondante a été produite sur la relation entre la teneur en COS et les facteurs tels que le climat, la texture et la position topographique du sol ainsi que les pratiques culturales (Feller *et al.*, 1991 ; Serpantié *et al.*, 2004 ; Lal, 2007). Mais les déterminants socio-économiques sont actuellement peu ou non pris en compte alors que dans la réalité, les pratiques culturales mises en œuvre par les producteurs sont largement influencées par le contexte socio-économique dans lequel ils œuvrent. Il convient de rappeler que l'étude sur la perception endogène de la fertilité des sols a par ailleurs mis en évidence l'importance des facteurs socio-économiques au travers d'une relation significative entre la teneur en COS et le besoin en amendements organiques (Chap. 2, Tab. 2.3). De plus, Reboul (1977) souligne que les causes et les conséquences de la fertilité des sols sont sociales et économiques. D'où la question de savoir s'il y a une variabilité des teneurs en COS entre exploitations agricoles et, si oui, cette variabilité peut-elle être expliquée sur la base des caractéristiques des exploitations ?

La zone d'intérêt de cette étude est la principale région agricole et cotonnière du BFA parce que celle-ci est confrontée depuis plusieurs décennies à la dégradation des sols (Guillobez *et al.*, 2000 ; Hauchart, 2005). Cette dégradation est une source d'insécurité alimentaire et de pauvreté (Bationo *et al.*, 2006 ; Ezeaku & Davidson, 2008 ; Lal, 2009 ; 2011), surtout quand on considère la contribution importante de la culture du coton aux revenus des ménages (50 à 90% ; Belem *et al.*, 1999) et ses retombées positives sur la modernisation des systèmes de culture et l'amélioration des rendements céréaliers (Hauchart, 2005 ; Zagbaï *et al.*, 2006 ; Renaudin, 2007).

Bien que cette culture soit si importante, certains producteurs perçoivent que le coton est une culture dégradante pour le sol, et cela à cause du travail

mécanisé du sol (Kestemont *et al.*, 2009 ; Ouédraogo, 2012). En effet, la mécanisation du travail du sol est souvent précédée d'une élimination totale de la couverture végétale et de la destruction de la charpente racinaire qui contribuait au maintien de la stabilité du sol (Peltre-Wurtz, 1984 ; Roose, 1985 ; Tersiguel, 1995). En outre, d'autres études indiquent que le travail du sol au tracteur accélère l'épuisement du sol en carbone et en bases échangeables (Boyer, 1977 ; Kimble, 2007 ; Koulibaly, 2011). Par ailleurs, Tersiguel (1995) rapporte que la culture attelée et motorisée a favorisé la stabilisation des champs sans toutefois donner les moyens d'assurer le maintien de la fertilité et en particulier les stocks de COS.

Dans ce contexte, la présente étude vise à identifier les déterminants agronomiques et socio-économiques de la teneur en COS à l'échelle de l'unité de production agricole (UPA). Ceci pourrait permettre d'identifier les facteurs à promouvoir (ou à décourager), avec l'avantage que ces facteurs seraient directement issus de pratiques existantes.

3.2 Méthodologie

3.2.1 *Présentation du site d'étude*

L'étude a été réalisée à Kamadena dans la Région de la Boucle du Mouhoun (Chap. 2, § 2.2.1 ; Fig. 2.1). Le village de Kamadena abrite une population mixte d'autochtones (Bwaba) et d'allochtones (migrants agricoles mossi très anciennement installés).

Les cultures occupent essentiellement des sols tropicaux ferrugineux : remaniés, indurés sur matériau gravillonnaire, ou peu lessivés sur sables éoliens, ou lessivés à taches et à concrétions sur matériau argileux. On y

3.2 Méthodologie

associe des sols hydromorphes minéraux sur matériau alluvionnaire de texture limono-argileuse à argileux sur les abords du fleuve Mouhoun (Boulet, 1976).

3.2.2 Collecte des données

Des données socio-économiques, agronomiques et analytiques du sol ont été collectées en 2011 sur 28 UPA (Fig. 3.1). En 2010, une enquête préalable auprès de 61 UPA avait permis de collecter des données sur la production de fumures organiques ainsi que les contraintes de production de la fumure. Les 28 UPA ont été sélectionnées parmi les 61 en tenant compte de certains critères de diversité constatés sur place. Il s'agit du groupe social (39% d'autochtones et 61% d'allochtones), de la localisation du champ (71% en brousse et 29% près de la case) et du précédent cultural (sorgho : 35%, maïs : 25%, coton : 25%, mil et sésame : 14%).

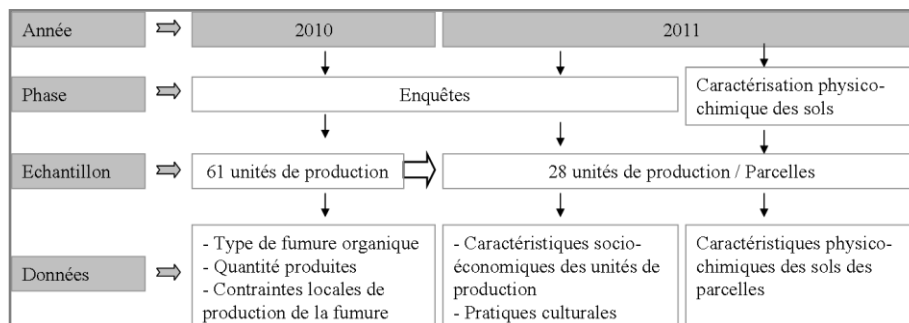


Figure 3.1: Démarche globale de collecte des données de terrain.

Toutes les parcelles sélectionnées étaient destinées à la culture du coton en 2011. La majorité était en brousse (71%) puisque c'est le lieu préféré pour la culture du coton afin d'éviter les dégâts par les animaux domestiques.

3.2.3 Enquêtes

A l'aide d'un questionnaire (annexe 3.1), des entretiens individuels avec les chefs des UPA ont été réalisés entre mai et juin 2011. Ainsi, les données sur le statut socio-économique de l'UPA (terres, cultures, cheptel, main d'œuvre et équipement agricole) et l'historique culturelle de la parcelle (durée de mise en culture, rotation, travail du sol, fertilisation) ont été renseignées.

3.2.4 Caractérisation physico-chimique des parcelles

L'échantillonnage du sol a été réalisé dans une placette de 30 x 30 m sur deux profondeurs (0-15 cm, 15-25 cm) comme décrit au chapitre 2 (§ 2.2.3). Les prélèvements ont été faits en mai 2011 avant la préparation du sol et l'apport des fertilisants organiques et minéraux. La granulométrie, le carbone organique total et l'azote total du sol, le potassium total, le P Bray I ainsi que le pH_{eau} (2.5 :1) et le pH_{KCl} (1 M) ont été mesurés comme décrits au chapitre 2 (§ 2.2.3).

3.2.5 Echantillonnage et analyses des fumures organiques

Un échantillon moyen a été prélevé à différents endroits et profondeurs des tas de fumure juste avant leur épandage sur la parcelle. Les analyses (C, N, P total et K total) ont utilisé les mêmes méthodes que sur le sol.

3.2.6 Analyse des données.

Les relations entre certaines variables ont été testées par analyse de la variance (Anova), suivi d'une comparaison de moyennes mais aussi des corrélations. Ensuite, une Analyse Factorielle Multiple (AFM) a été utilisée pour identifier

3.2 Méthodologie

les associations entre les variables socio-économiques de l'UPA et les variables analytiques du sol dont la teneur en COS. L'AFM a été faite avec cinq groupes de variables quantitatives. Le premier groupe comprend le COS et les fractions granulométriques du sol. Les variables du deuxième groupe déterminent le statut socio-économique de l'agriculteur : le nombre d'actifs par ha, le nombre d'Unité de Bétail Tropical (UBT) par ha et la superficie en coton. L'UBT donne une indication double : l'énergie de travail disponible et le potentiel de production de la fumure organique. Le troisième groupe renferme les pratiques culturales (dose d'engrais minéral, fréquences de la culture du coton, du labour et du labour du sol au tracteur) appliquées à la parcelle au cours des cinq dernières années. Les fréquences culturales ont été calculées en divisant par 5 le nombre de fois (années) où l'opération a été réalisée sur la parcelle. La période de 5 ans est choisie pour éviter de trop faire appel à la mémoire du producteur. Le quatrième groupe concerne la distance entre la parcelle et l'habitat de l'exploitant. La distance peut impacter le choix de la culture et in fine les techniques culturales, la fertilisation organique nécessitant des moyens de transport pour évacuer les fumures vers les champs. Enfin, le cinquième groupe est relatif à la durée de mise en culture de la parcelle. Cette durée manque de précision car la plupart des parcelles sont défrichées depuis plus de 20 ans et parfois par une personne autre que l'exploitant actuel. La durée a donc été approximée en référence à un évènement historique ou à la naissance d'un membre de l'UPA. Toutefois, il convient de noter que cette approximation est sans incidence majeure puisque l'on sait qu'au-delà de 20 ans le COS atteint un pseudo-équilibre (Serpantié *et al.*, 2004). Ceci étant, la durée a été considérée comme une variable supplémentaire. Il en est de même pour les variables qualitatives (groupe

social et précédent cultural) qui ont été ajoutés pour éventuellement faciliter l'interprétation des résultats de l'AFM.

Enfin, pour expliquer la teneur en COS dans l'agrosystème, un modèle de régression multiple Stepwise (pas à pas) a été utilisé pour la sélection automatique des variables prédictives parmi toutes les variables quantitatives utilisées dans l'AFM. L'ensemble des analyses a été faite à l'aide des packages FactomineR et Rcmdr.3.2.3 (R Development Core Team, 2012).

3.3 Résultats

3.3.1 Caractéristiques des unités de production

Les caractéristiques des unités de production sont résumées en rapport avec le groupe social (Tab. 3.1). Les caractéristiques structurelles telles que la superficie, le nombre de personnes à charge et d'actifs indiquent que les UPA allochtones sont plus grandes. Elles disposent de plus de main d'œuvre (nombre d'actifs/ha), limitant ainsi leur charge de travail.

Du point de vue fonctionnel, les deux groupes se différencient par la part de superficie affectée au coton, la dose d'engrais et la fréquence d'utilisation du tracteur. Ces paramètres sont plus élevés chez les autochtones. Par ailleurs, les parcelles de ces derniers sont en moyenne plus éloignées de l'habitat, avec cependant une durée de mise en culture plus courte.

3.3 Résultats

Tableau 3.1: Moyennes ($\pm$ erreur standard) des caractéristiques des unités de production selon le groupe social du producteur.

Paramètres	Echantillon (n = 28)	Autochtone (n = 11)	Allochtone (n = 17)	p-valeur
Superficie totale cultivée (ha)	8,7 $\pm$ 0,68	6,9 $\pm$ 0,71	9,8 $\pm$ 0,58	0,047*
Nombre de bœufs de trait	2,5 $\pm$ 0,28	2,1 $\pm$ 0,35	2,7 $\pm$ 0,22	0,303
Nombre d'actifs familiaux	5,9 $\pm$ 0,70	4,0 $\pm$ 0,58	7,1 $\pm$ 0,69	0,036*
Nombre de personnes à charge	12,7 $\pm$ 1,38	8,6 $\pm$ 0,82	15,5 $\pm$ 1,45	0,017*
Nombre d'UBT	8,5 $\pm$ 0,94	6,2 $\pm$ 0,85	10,1 $\pm$ 0,91	0,056
Nombre d'UBT/ha	1 $\pm$ 0,12	0,9 $\pm$ 0,12	1,1 $\pm$ 0,12	0,445
Nb d'actifs / ha	064 $\pm$ 0,04	0,53 $\pm$ 0,06	0,71 $\pm$ 0,05	0,034*
Sup. en coton (ha)	3 $\pm$ 0,25	2,8 $\pm$ 0,31	3,1 $\pm$ 0,20	0,574
Sup. en coton / sup. totale cultivée (%)	35 $\pm$ 1,83	40 $\pm$ 1,93	32 $\pm$ 1,57	0,049*
engrais (kg ha ⁻¹)	88 $\pm$ 16,26	120 $\pm$ 17,91	66 $\pm$ 13,74	0,025*
icoton (-)	0,32 $\pm$ 0,06	0,44 $\pm$ 0,08	0,25 $\pm$ 0,06	0,056
ilabour (-)	0,51 $\pm$ 0,09	0,58 $\pm$ 0,10	0,47 $\pm$ 0,08	0,409
itracteur (-)	0,19 $\pm$ 0,035	0,34 $\pm$ 0,08	0,10 $\pm$ 0,06	0,026*
distance (km)	2,04 $\pm$ 0,38	2,93	1,52	0,009**
durée (année)	41 $\pm$ 8	33 $\pm$ 4	46 $\pm$ 3	0,027*

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

Sup : superficie ; engrais : dose moyenne d'engrais minéraux appliquée sur la parcelle au cours des 5 dernières années ; icoton : fréquence de la culture du coton sur la parcelle au cours des 5 dernières années ; ilabour : fréquence du labour de la parcelle au cours des 5 dernières années ; itracteur : fréquence de labour de la parcelle au tracteur au cours des 5 dernières années. distance : distance entre l'habitat du producteur et le champ. durée : nombre d'années de mise en culture de la parcelle.

3.3.2 Caractéristiques de la fumure organique produite par les agriculteurs

La qualité des fumures organiques produites

La fumure organique provient principalement des fosses compostières et accessoirement de la litière des étables et des dépôts d'ordures ménagères (Fig. 3.2). L'analyse indique que le compost est plus riche en matière organique (MO) que la litière (Tab. 3.2). Cependant les deux fumures présentent une teneur moyenne en MO satisfaisante au regard des normes de la FAO (10-30% ; Compaoré *et al.*, 2010).



Figure 3.2 : Sources de fumure organique utilisées dans la région: ordures ménagères (a), litière des étables (b), compost (c,d). Les fosses compostières sont remplies progressivement avec divers substrats, dont les ordures ménagères. Elles ne sont pas couvertes et les parois latérales ne sont pas toujours étanches. Source: Auteur

3.3 Résultats

Tableau 3.2 Quelques caractéristiques analytiques des fumures organiques produites par les agriculteurs de Kamadama, mai 2011 (n= 23 agriculteurs)

Origine de fumure	Paramètres	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Min	max
Etable (n=12)	Carbone (g.kg ⁻¹)	81,5	35,5	64,7	37,6	152,8
	MO (%)	14,05	6,12	11,15	6,48	26,35
	N (g.kg ⁻¹)	4,5	2,0	3,6	2,6	9,0
	C/N	19	4	17	14	25
	P total (mg.kg ⁻¹)	719	374	631	340	1859
	K total (mg.kg ⁻¹)	5924	3392	5006	1683	13652
Fosse compostière (n = 11)	Carbone (g.kg ⁻¹)	124,0	5,7	12,0	3,8	26,8
	MO (%)	21,4	9,9	20,8	6,5	46,3
	N (g.kg ⁻¹)	5,5	2,2	5,7	2,6	9,6
	C/N	22	5	22	14	32
	P total (mg.kg ⁻¹)	760	244	683	340	1198
	K total (mg.kg ⁻¹)	5858	2863	5468	1683	11724

Seuls deux échantillons de litières extrêmement décomposés présentent des teneurs insuffisantes en MO (6 à 8%). A l’opposé, la plus forte teneur en MO (46%) est issue d’un compost immature. La moyenne du rapport C/N (21±5) des composts est très légèrement supérieure au seuil de maturité (20) de la FAO. En somme, la qualité des fumures des agriculteurs apparaît satisfaisante en général, malgré des pratiques paysannes de production a priori sub-optimales. De ces pratiques, on peut noter une absence de tri de matériaux fermentescibles et une quasi-absence de retournement et d’arrosage lors du compostage. Les parois des fosses compostières ne sont pas toujours étanches alors que les fosses elles-mêmes ne sont pas couvertes (Fig. 3.2), ce qui peut entraîner des pertes de nutriments par volatilisation et par percolation. Certains utilisent directement les ordures ménagères et la litière des étables comme amendement.

Les quantités de fumures organiques

Les résultats des enquêtes réalisées en 2010 sur 61 unités de production indiquent que la quantité de fumure organique utilisée par les producteurs est composée de compost (82%), de litière des étables (16%) et d'ordures ménagères (2%). La quantité moyenne de fumure organique produite par exploitation était de 1878 kg en 2010 (Fig. 3.3a). Cette quantité apparaît insuffisante pour une superficie moyenne exploitée de 8,7 ha (Tab. 3.1), vu que la dose recommandée est de 6 t ha⁻¹ tous les trois ans.

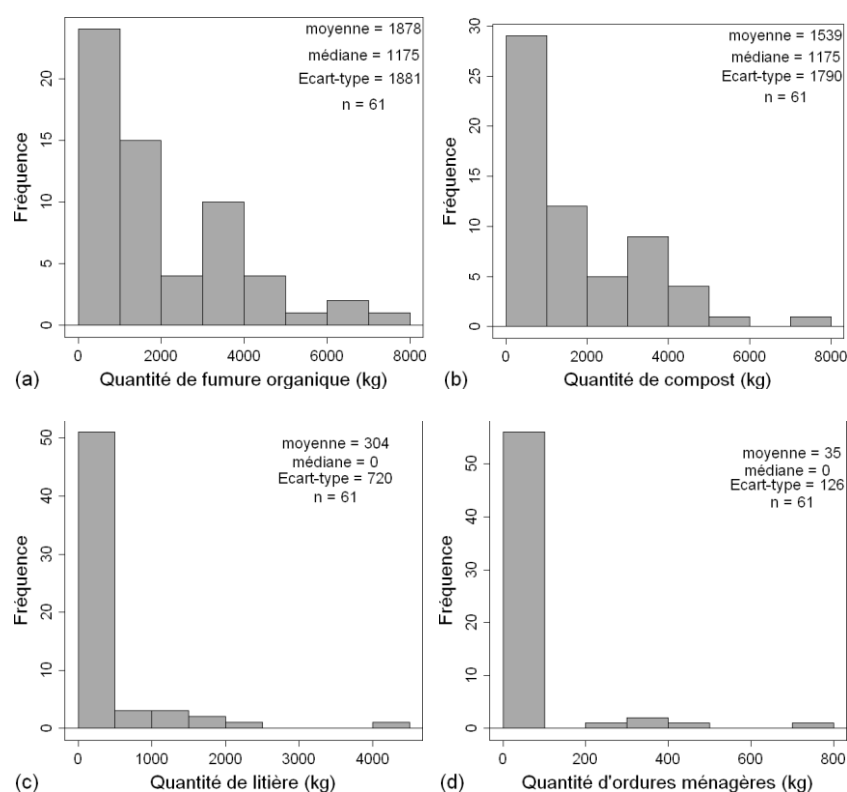


Figure 3.3: Quantités annuelles de fumures organiques produites par les agriculteurs enquêtés à Kamadena: (a) quantité totale de fumure organique, (b) quantité de compost, (c) quantité de litière, (d) quantités d'ordures ménagères. La quantité de la fumure organique (a) est la somme de (b) + (c) + (d).

3.3 Résultats

Cette faiblesse de la production de fumure organique peut s'expliquer par diverses contraintes citées par les producteurs (Fig. 3.4) ainsi que par les modes de gestion des résidus culturaux (résultats non présentés). La principale cause est d'ordre économique. Il s'agit pour 66% des agriculteurs enquêtés de l'absence de matériaux pour la construction et la stabilisation des fosses compostières et pour 40% d'entre eux de l'absence de moyens de transport pour l'évacuation de la fumure organique vers les champs.

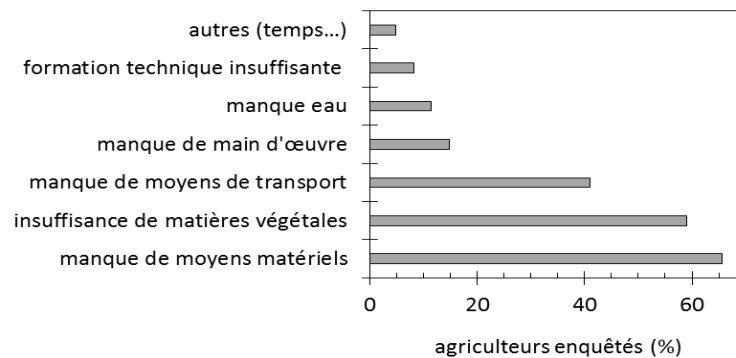


Figure 3.4: Opinions des agriculteurs sur les contraintes de production de la fumure organique à Kamadena en 2010

La deuxième cause est l'insuffisance de matériaux végétaux à composter (59%, Fig. 3.4). En effet, les résultats de l'enquête (non présentés) indiquent que moins de 5% des producteurs valorisent les résidus de culture dans la production du compost. Ceci s'explique par les usages diversifiés des résidus, dont l'alimentation animale. Cela concerne surtout les résidus de légumineuses (90% des producteurs), de maïs et de sorgho (40% des producteurs) qui sont exportés vers les étables. D'autres producteurs (25 à 50%) abandonnent les résidus des céréales au champ pour les animaux tandis qu'une autre partie est brûlée (22 à 51% des producteurs). Cette pratique concerne surtout les résidus du cotonnier (74% des producteurs) pour des

raisons phytosanitaires (interruption des cycles des ravageurs), mais aussi en raison des difficultés de compostage liées au fait que ces tiges sont lignifiées. Enfin, on constate que les contraintes techniques, d'eau et de main d'œuvre sont moins citées par les producteurs

3.3.3 Caractéristiques physico-chimiques des sols échantillonnés

En fonction du groupe social, on constate que les parcelles présentent des différences texturales, celles des autochtones ayant des teneurs plus élevées en argiles et limons (Tab. 3.3). Par ailleurs, les parcelles des autochtones présentent le plus souvent de meilleures caractéristiques chimiques, avec des différences significatives observées au niveau des teneurs en COS, N et du pH_{KCl} . Ces différences sont moins remarquables dans l'horizon inférieur (15-25 cm), sauf pour le pH_{KCl} .

3.3 Résultats

Tableau 3.3: Valeurs moyennes ($\pm$ erreur standard) des paramètres physico-chimiques des sols des parcelles échantillonnées des deux groupes sociaux.

Horion du sol	Paramètres	Echantillon (n = 28)	Groupe social		p-valeur
			Autochtone (n = 11)	Allochtone (n = 17)	
0-15 cm	argiles (%)	10,0 $\pm$ 0,5	11,8 $\pm$ 0,5	9,1 $\pm$ 0,4	0,007**
	limons (%)	25,4 $\pm$ 1,6	29,0 $\pm$ 2,6	23,3 $\pm$ 2,0	0,097
	sables (%)	64,6 $\pm$ 2,3	59,2 $\pm$ 2,1	67,7 $\pm$ 1,8	0,043*
	refus (%)	6,0 $\pm$ 2,4	2,4 $\pm$ 0,5	7,4 $\pm$ 2,7	0,414
	COS (g kg ⁻¹)	5,0 $\pm$ 0,3	5,8 $\pm$ 0,4	4,5 $\pm$ 0,3	0,0158*
	N (g kg ⁻¹)	0,37 $\pm$ 0,02	0,41 $\pm$ 0,02	0,34 $\pm$ 0,02	0,022*
	C/N	13,3 $\pm$ 0,2	13,4 $\pm$ 0,3	13,2 $\pm$ 0,2	0,724
	P total (mg kg ⁻¹)	83 $\pm$ 2,8	83 $\pm$ 4,8	84 $\pm$ 3,7	0,827
	P Bray I (mg kg ⁻¹)	6 $\pm$ 0,6	7 $\pm$ 1,0	5 $\pm$ 0,8	0,199
	K total (mg kg ⁻¹)	770 $\pm$ 39	800 $\pm$ 67	759 $\pm$ 51	0,629
	pH _{eau}	5,9 $\pm$ 0,1	6,1 $\pm$ 0,2	5,9 $\pm$ 0,1	0,329
	pH _{KCl}	5,0 $\pm$ 0,1	5,5 $\pm$ 0,2	4,8 $\pm$ 0,1	0,003**
15-25 cm	COS (g kg ⁻¹)	4,5 $\pm$ 0,3	5,0 $\pm$ 0,3	4,1 $\pm$ 0,3	0,053
	N (g kg ⁻¹)	0,32 $\pm$ 0,01	0,35 $\pm$ 0,02	0,29 $\pm$ 0,02	0,061
	C/N	14,3 $\pm$ 0,5	14,3 $\pm$ 0,8	14,05 $\pm$ 0,5	0,819
	P total (mg kg ⁻¹)	78 $\pm$ 3,3	79,50 $\pm$ 4,9	74,7 $\pm$ 3,8	0,447
	P Bray I (mg kg ⁻¹)	2 $\pm$ 0,3	3 $\pm$ 0,4	2 $\pm$ 0,3	0,168
	K total (mg kg ⁻¹)	1020 $\pm$ 48	942 $\pm$ 80	1047 $\pm$ 61	0,307
	pH _{eau}	5,7 $\pm$ 0,1	5,9 $\pm$ 0,1	5,6 $\pm$ 0,1	0,108
	pH _{KCl}	4,8 $\pm$ 0,1	5,2 $\pm$ 0,1	4,7 $\pm$ 0,1	0,001**

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

3.3.4 Les relations entre la MOS et les indicateurs analytiques du sol et socio-économiques de l'exploitation.

Les teneurs en COS varient de $5,0 \pm 0,3 \text{ g kg}^{-1}$ (3,2 à 8,9 g kg^{-1}) dans l'horizon de surface à $4,5 \pm 0,3 \text{ g kg}^{-1}$ (2,9 à 8,8 g kg^{-1}) dans l'horizon inférieur (Tab. 3.3). Cependant, c'est l'horizon de surface qui nous intéressera pour la suite, puisqu'il est le plus affecté par les opérations culturales, l'enracinement et les facteurs érosifs (eau, vent). Les variables quantitatives sélectionnées à cet effet sont résumées dans le Tab. 3.1. En plus de celles-ci, il faut rappeler les variables qualitatives supplémentaires (groupe social et précédent cultural).

Les corrélations de rang (Spearman) entre les variables quantitatives relatives au sol et à l'UPA sont présentées dans le Tab. 3.4. Ces résultats indiquent le COS est positivement corrélée et de façon très significative à la teneur en éléments fins (argiles + limons). Aussi, le COS apparaît très significativement et positivement corrélé à la distance séparant le champ de l'habitat. En effet, si l'on considère la localisation du champ (résultat non présenté), on remarque que la teneur moyenne du COS est relativement plus élevée dans les champs de brousse (5,1 kg^{-1}) que près des habitats (4,3 kg^{-1}).

3.3 Résultats

Tableau 3.4: Corrélations entre les variables: coefficients de corrélations de rangs (de Spearman) au-dessus de la diagonale. Les p-valeurs sont en dessous de la diagonale. Les p-valeurs en gras sont significatives à 5% (*), 1% () et 0,1% (***).**

	COS	argiles_limons	coton.ha	actif.ha	ubt.ha	engrais	icoton	ilabour	itracteur	distance	durée
COS		0,51**	0,41*	0,21	-0,13	0,16	-0,04	0,18	0,07	0,64***	-0,25
argiles_limons	0,006		0,15	-0,10	-0,11	0,34	0,24	0,38*	0,50**	0,28	-0,27
coton.ha	0,028	0,448		0,50	0,07	0,04	-0,11	0,15	-0,09	0,14	-0,14
actif.ha	0,276	0,609	0,006		0,09	-0,40	-0,51	-0,24	-0,50**	0,03	0,11
ubt.ha	0,516	0,593	0,742	0,647		0,05	-0,09	0,13	-0,29	-0,29	-0,22
engrais	0,411	0,078	0,849	0,033	0,817		0,76	0,54**	0,68***	0,11	-0,16
icoton	0,835	0,215	0,579	0,006	0,639	< 0,001		0,47*	0,64***	0,08	-0,26
ilabour	0,359	0,046	0,442	0,216	0,502	0,003	0,012		0,39*	-0,06	-0,04
itracteur	0,709	0,006	0,661	0,007	0,142	< 0,001	< 0,001	0,040		0,23	-0,06
distance	< 0,001	0,152	0,4824	0,872	0,129	0,576	0,699	0,751	0,239		-0,12
durée	0,204	0,165	0,470	0,586	0,264	0,403	0,183	0,840	0,750	0,544	

COS : Carbone organique du sol ; **argiles_limons** : somme des teneurs en argiles et limons ; **coton.ha** : superficie de coton en hectare; **actifs.ha** : nombre d'actifs agricoles par hectare ; **ubt.ha** : nombre d'unité de bétail tropical par hectare ; **engrais** : dose moyenne d'engrais minéraux appliquée sur la parcelle au cours des 5 dernières années ; **icoton** : fréquence de la culture du coton sur la parcelle au cours des 5 dernières années ; **ilabour** : fréquence du labour de la parcelle au cours des 5 dernières années ; **itracteur** : fréquence de labour de la parcelle au tracteur au cours des 5 dernières années . **distance** : distance entre l'habitat du producteur et le champ. **durée** : nombre d'années de mise en culture de la parcelle.

Quant aux pratiques culturales, elles ne sont pas significativement corrélées au COS. Toutefois, il convient de remarquer que la fréquence d'utilisation du tracteur est très significativement corrélée et de façon positive avec le taux d'argiles et de limons. En outre, le tracteur semble moins sollicité lorsque le nombre d'actifs par hectare augmente.

Enfin, il faut signaler que le COS n'est pas corrélé à la durée de mise en culture de la parcelle, ni à la dose d'engrais minérale ainsi qu'au nombre d'UBT/ha.

Les composantes principales

L'analyse des résultats est basée sur les trois premières composantes qui restituent 74% de l'inertie totale. La relation entre les groupes de variables (Fig. 3.5) et celle entre les variables prises individuellement (Fig. 3.6) sont illustrées dans les plans factoriels (1, 2) et (2,3). En outre, les variables qui sont significativement corrélées à chacune des trois composantes sont présentées dans le Tab. 3.5. Les détails sont en annexe 3.2.

Dans le plan factoriel (1, 2), les groupes « sol » et « distance » sont associés à la première dimension (Fig. 3.5a). Les variables individuelles de ces deux groupes suivent la même tendance (Fig. 3.6a). Par ailleurs, les coefficients de corrélation attestent que la distance, le COS puis les fractions granulométriques sont les mieux corrélés à la première composante (Tab. 3.5). Cette première composante peut-être nommée « Sol » au regard de son association avec les variables liées au sol, bien que les autres variables (statut socio-économique, pratiques culturales) y soient aussi associées. Par ailleurs, on constate que la catégorie « autochtone » est positivement associée à cette première composante « sol », contrairement à la catégorie « allochtone » ainsi qu'au précédent cultural « sorgho » (Tab. 3.5).

3.3 Résultats

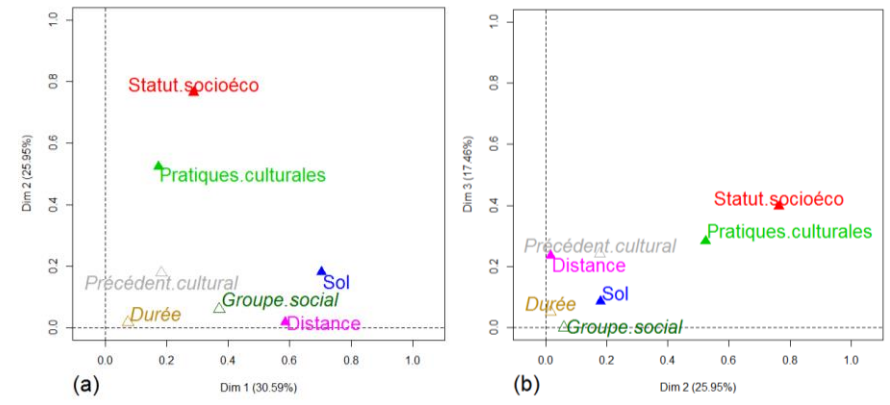


Figure 3.5: Représentation des groupes de variables dans les plans factoriels (1, 2; (a)) et (2, 3; (b)).

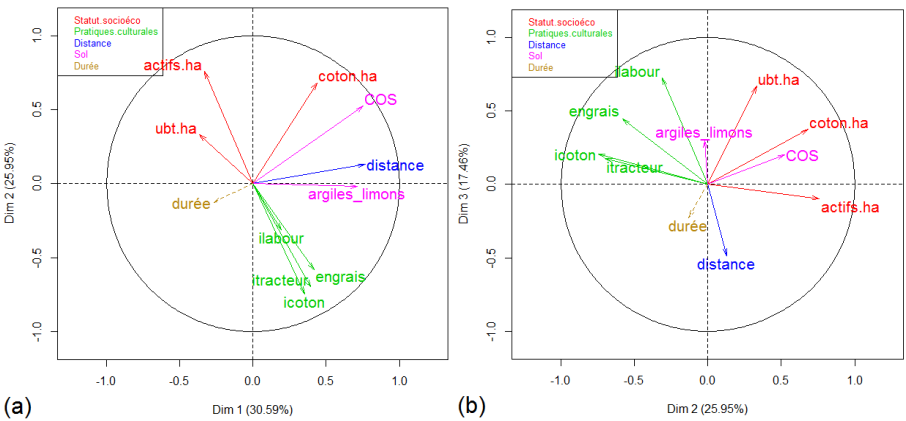


Figure 3.6: Cercle de corrélation des variables dans les plans factoriels (1, 2; (a)) et (2, 3; (b)).

Tableau 3.5: Variables significativement corrélées aux composantes 1, 2 et 3.

Variables	Coefficient de corrélation	p-value
<i>Dimension 1</i>		
distance	0,76	< 0,001***
COS	0,75	< 0,001***
argiles_limons	0,71	< 0,001***
coton.ha	0,43	< 0,023*
engrais	0,41	0,031*
itracteur	0,39	0,042*
autochtone	0,83	< 0,001***
allochtone	-0,83	< 0,001***
sorgho (précédent cultural)	-0,82	0,041*
<i>Dimension 2</i>		
actif.ha	0,76	< 0,001***
coton.ha	0,68	< 0,001***
COS	0,52	0,005**
engrais	-0,58	0,001**
itracteur	-0,70	< 0,001**
icoton	-0,74	< 0,001***
coton (précédent cultural)	-0,88	0,046*
<i>Dimension 3</i>		
ilabour	0,72	< 0,001***
ubt.ha	0,67	< 0,001***
ingrais	0,44	0,020*
distance	-0,49	0,010**
maïs (précédent cultural)	0,86	0,013*

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

La deuxième composante du plan (1, 2) est influencée par le groupe « statut socio-économique » à travers les variables « nombre d'actifs » et « superficie en coton » (Fig. 3.5 ; 3.6 ; Tab. 3.5). De ce fait, elle peut être nommée « statut socio-économique de l'UPA ». Cependant, il convient de souligner que le

3.3 Résultats

COS est aussi associé à cette composante et ce de manière positive. A l'opposé de cette tendance, on trouve les pratiques culturales telles que la fréquence de la culture du coton et d'utilisation du tracteur ainsi que la dose d'engrais (Tab. 3.5). Aussi, on note que la variable catégorielle «coton en tant que précédent cultural » est négativement associée à cette composante.

Dans les plans (2, 3), on constate que le « groupe sol » contribue peu aux axes (Fig. 3.5b). Cela se confirme pour les fractions granulométriques dans le cercle de corrélation (Fig. 3.6b). En revanche, ce plan met davantage en relief l'association positive entre le COS, la superficie en coton et les actifs sur la dimension 2, et l'association négative avec la fréquence de la culture du coton et d'emploi du tracteur ainsi que la dose d'engrais.

En somme, on peut retenir que le COS est associé aussi bien à la composante « sol » qu'au « statut socio-économique de l'UPA ».

3.3.5 Les déterminants de la teneur en matière organique du sol sélectionnés par le modèle de régression

La teneur en COS peut être expliquée par trois variables de l'agrosystème (Tab. 3.6). En effet, la teneur en COS au sein de l'agrosystème est positivement affecté par la superficie en coton, la distance entre le champ et l'habitat et enfin la fraction fine du sol (argile + limon). Ces résultats s'accordent avec les résultats des corrélations bivariées (Tab. 3.4) et celles de l'AFM.

Tableau 3.6: modèle de régression sur le carbone organique du sol : coefficients des variables sélectionnées par la procédure stepwise.

Termes	Coefficient	Std. Error	t value	Pr (> t)
Intercept	0,179	0,045	3,96	< 0,001***
argiles_limons	0,003	0,001	2,67	0,013*
coton.ha	0,041	0,008	5,15	< 0,001***
distance	0,029	0,010	2,97	0,007**
Erreur standard résiduelle			0,069	
R ²			0,77	
R ² ajusté			0,74	
F-statistique			26,32	
p-value			< 0,001***	

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

On peut donc retenir que la teneur en COS dépend des caractéristiques texturales du sol, mais qu'elle est aussi fortement affectée par les facteurs socio-économiques tels que la superficie de coton. La superficie en coton et la distance possèdent une valeur explicative du COS plus élevée que la texture (Tab. 3.6).

3.3.6 La teneur du COS en fonction des pratiques culturales

Les pratiques culturales testées n'ont pas été retenues par le modèle de régression. En effet, il n'y a pas de relation significative entre la teneur en COS et l'intensité des pratiques culturales (Fig. 3.7). Cependant, il est nécessaire de vérifier un éventuel biais lié à la diversité texturale des parcelles échantillonnées quand on sait que le COS est lié à la texture. La teneur en COS en fonction des pratiques culturales en interaction avec les fractions granulométriques du sol est illustrée par la Fig. 3.8.

3.3 Résultats

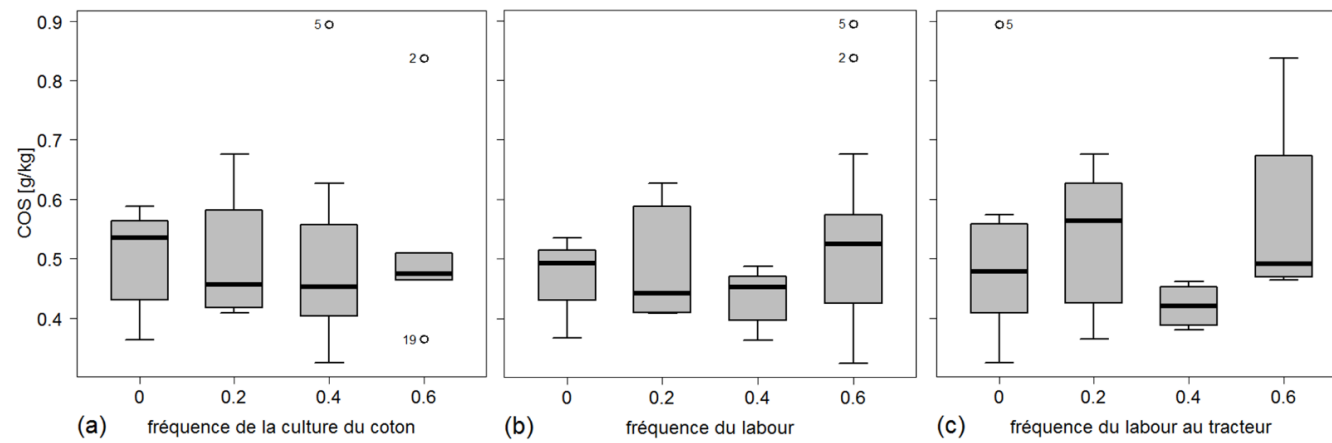


Figure 3.7: Teneur en carbone organique du sol en fonction des pratiques culturales: (a) la fréquence de la culture du coton, (b) la fréquence du labour et (c) la fréquence du labour au tracteur.

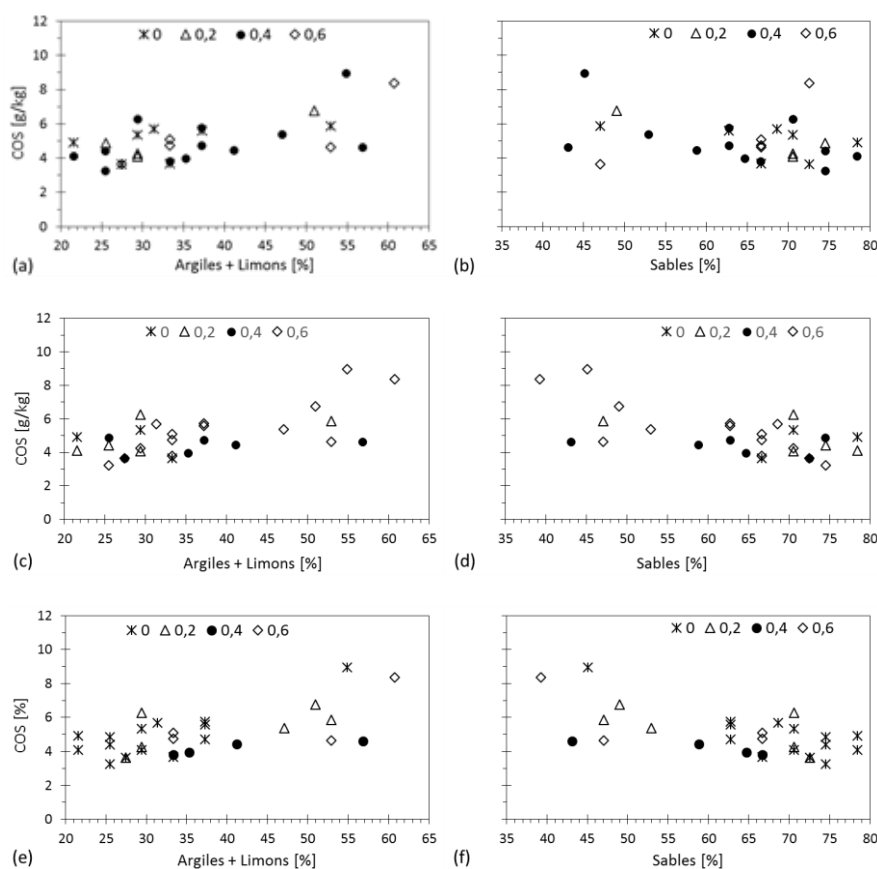


Figure 3.8: Teneur en carbone organique du sol en fonction de la texture: interactions avec les fréquences de la culture du coton (a, b), du labour (c, d) et du labour au tracteur (e, f)

Quelle que soit la fraction granulométrique, il n'y a pas de relation significative entre la teneur en COS et l'intensité de la culture du coton (Fig. 3.8a, b) ou celle du labour (Fig. 3.8c, d). Néanmoins on peut noter que la plupart des parcelles ne sont pas labourées au tracteur au-delà de 60% de teneurs en sables (Fig. 3.8 e, f).

3.4 Discussion générale

Les facteurs socio-économiques contribuent au contrôle du statut du COS

La fraction fine du sol ($< 50 \mu\text{m}$) est le principal réservoir (3/4) du COS en zone soudanienne du BFA (Pallo *et al.*, 2008). Cela s'explique par l'action protectrice de cette fraction contre la minéralisation du COS (Feller & Beare, 1997) par le biais des mécanismes de microaggrégation et d'association entre COS et particules argilo-limoneuses (Six *et al.*, 2002). D'où la corrélation positive ($r = 0,51$) observée entre la teneur en COS et la somme des argiles et des limons, ce coefficient étant plus élevé en considérant uniquement l'argile ($r = 0,57$). Ces coefficients sont dans l'intervalle des valeurs observées dans la région écologique de l'Afrique soudano-sahélienne, entre l'argile et le COS, soit 0,46 à 0,90 (Manu *et al.*, 1991 ; Feller & Beare, 1997).

Ce qui précède permet d'expliquer en partie la variation des teneurs en COS entre les parcelles des deux groupes sociaux, les autochtones ayant des sols plus argileux que les allochtones (Tab. 3.3). Cependant, les résultats de la régression multiple indiquent que la superficie en coton, tout comme la distance, affecte positivement la teneur en COS, avec même une valeur explicative plus élevée que la texture du sol (Tab. 3.6). La superficie en coton étant un indicateur socio-économique de l'UPA, cela veut dire que les UPA ayant plus de ressources sont aussi celles dont les parcelles sont plus riches en COS. Un rapprochement peut être fait avec les constats réalisés en Afrique de l'Est par Tiftonell *et al.* (2010). Ces auteurs ont constaté que les UPA possédant de superficies relativement plus larges et produisant des cultures de rente (café, thé, coton, arachide, canne à sucre), ont des parcelles dont les teneurs en COS, N, P et K sont 2 à 3 fois plus élevées que celles des UPA orientées vers une agriculture de subsistance. Par ailleurs, Zingore *et al.*

(2011) ont aussi montré l'existence d'une relation positive entre la taille de l'exploitation (et donc sa richesse) et le niveau de fertilité des sols. C'est pourquoi Reboul (1977) soutient que la catégorie sociale de l'agriculteur oriente le choix des pratiques culturales, qui contrôlent la fertilité du sol. Suivant donc cette logique, on pourrait associer à la bonne qualité des terres des autochtones leur préférence pour la culture du coton (Tab. 3.1), qui leur donne par ailleurs accès à l'engrais minéral. Il faut rappeler que le groupe autochtone utilise des doses d'engrais qui sont presque deux fois supérieures à celles du groupe allochtone (Tab. 3.1). Ces engrais permettent de produire plus de biomasse (souterraine, les parties aériennes étant brûlées), et donc pourraient aider à maintenir un niveau de COS plus élevé. A l'inverse, la faible utilisation des engrais par les allochtones est liée à leur préférence pour le sorgho (Tab. 3.5) en vue de faire face à des besoins familiaux plus importants (Tab. 3.1). En plus, les superficies totales des allochtones sont plus larges, ce pourrait renforcer le déséquilibre pour le maintien du COS en dépit du fait qu'ils possèdent plus d'actifs agricoles.

Quant au gradient de variation positive du COS avec la distance, il est plutôt étonnant parce qu'il contredit l'idée générale selon laquelle les champs à proximité des habitats sont les plus fertiles (Samaké *et al.*, 2005 ; Tittonell *et al.*, 2005 ; Rusinamhodzi, 2015). Cette idée est fondée sur le fait que ces champs de case bénéficient des déchets ménagers et animaux mais aussi à cause des difficultés de transport des fertilisants organo-minéraux vers les champs de brousse. Par ailleurs, la dégradation des champs de brousse en lien avec l'insuffisance des fertilisants et des restitutions organiques est renseignée dans plusieurs travaux (Zingore *et al.*, 2008 ; Rusinamhodzi, 2015). Cependant, la situation inverse que nous avons observée peut s'expliquer par le fait que l'échantillonnage avait concerné uniquement des parcelles destinées au cotonnier. Pour raison de rentabilité, on peut s'attendre à ce que les

3.5 Conclusion

agriculteurs choisissent donc des parcelles de brousse qui sont au moins aussi fertiles que les parcelles de case. En outre, ce gradient inversé semble avoir été accentué par un biais supplémentaire lié au fait que les parcelles les plus proches de l'habitat appartiennent majoritairement à des allochtones dont on sait déjà que leurs parcelles sont relativement plus pauvres. Pour mieux appréhender cet effet de la distance sur le COS des agrosystèmes cotonniers, les prochaines investigations devront veiller à équilibrer l'échantillonnage des parcelles de case et de brousse entre les deux groupes sociaux.

Enfin, les pratiques culturales testées n'interagissent pas significativement avec le COS, vraisemblablement à cause de la durée élevée de mise en culture des parcelles ($41 \pm 7,8$ ans ; Tab 3.1). En effet, la teneur en COS atteint un pseudo-équilibre après environ 20 ans (Serpantié *et al.*, 2004). Il devient alors difficile de relever significativement le niveau du COS (Charreau & Fauck, 1970), surtout avec de faibles apports organiques (Fig. 3.3).

3.5 Conclusion

Notre étude avait pour but d'identifier les déterminants agronomiques et socio-économiques de la teneur en matière organique du sol des agrosystèmes cotonniers. L'analyse des corrélations bivariées a permis de confirmer l'influence positive de la teneur en argiles et limons sur le taux de la matière organique du sol. Par contre, cette influence devient relativement moins importante dans l'analyse multivariée reflétant mieux la complexité de l'agrosystème, ce qui souligne la pertinence d'une approche systémique dans la gestion de la fertilité du sol. En effet, l'analyse multivariée a plutôt permis de mettre en avant le rôle déterminant du statut socio-économique de l'exploitant à travers la superficie en coton. Ainsi, les exploitations qui

allouent plus de superficies au coton ont aussi des parcelles plus riches en matière organique que celles des unités orientées vers la production du sorgho. Ces résultats indiquent que la gestion de la fertilité du sol est influencée par les choix de productions économiques et alimentaires des exploitations. En réalité ces choix déterminent la disponibilité des intrants comme les engrais qui contribuent à la production de la biomasse. Par contre, les données recueillies n'ont pas permis de mettre en évidence une relation significative entre les pratiques culturales et les taux actuels de la matière organique du sol. Cette relation doit être approfondie dans les investigations futures en se basant sur un plus grand nombre de parcelles (paysannes) stratifié suivant le groupe social, la distance et la texture du sol. Cette investigation en champ paysan permettra alors de mieux cerner les pratiques locales susceptibles d'améliorer l'efficacité des intrants comme la fumure organique sur la qualité des sols. C'est cette perspective qui justifie déjà les chapitres suivants (4 et 5) qui testent l'effet de pratiques comme les TCS sur les propriétés physico-chimiques et la productivité des sols, en vue d'une valorisation efficace des faibles ressources organiques mobilisées par les agriculteurs.

3.5 Conclusion

Chapitre 4: Effet combiné du travail réduit du sol et de l'épandage en ligne de la fumure organique sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

4.1 Introduction

La mécanisation du travail du sol a favorisé la croissance des superficies agricoles à l'image de celle du coton au BFA. En effet, les exploitations équipées en traction animale et en motorisation ont pu augmenter leurs superficies de 50% à 160% respectivement par rapport aux unités non équipées (Tersiguel, 1995). En outre, le labour a été largement vulgarisé pour ses avantages en rapport avec l'enfouissement des amendements et des adventices et surtout avec l'ameublissement de l'horizon racinaire, améliorant ainsi les conditions de développement racinaire et d'alimentation hydrominérale et in fine les rendements agricoles (Charreau & Nicou, 1971).

Cependant, le labour conventionnel mécanisé (LC) est de plus en plus mis en cause dans la dégradation des sols, tant par le milieu de la recherche que par les producteurs eux-mêmes (Kestemont, 2009 ; Ouédraogo, 2012). En effet, pour faciliter le travail mécanisé du sol, la parcelle est totalement dessouchée, perdant ainsi le réseau racinaire qui est pourtant une source importante de matière organique indispensable au maintien de la stabilité des horizons humifères (Peltre-Wurtz, 1984 ; Roose, 1985). Par ailleurs, il est largement admis que le labour accélère les pertes en COS (Boli *et al.*, 1993 ; Barthes *et al.*, 1998 ; Balesdent *et al.*, 2000; Ouattara *et al.*, 2007a). Il en résulte une accentuation de l'érodibilité des sols (Charrière, 1984 ; Barthès & Roose, 2002), avec un ruissellement plus élevé de 75% et des pertes en sédiments accrues de 98% par rapport au ZL (Kimble, 2007). D'autres études ont

4.1 Introduction

également conclu que le labour au tracteur induit un appauvrissement plus rapide des sols ferrugineux tropicaux en bases (Ca, Mg, K ; Koulibaly, 2011), dont la perte est estimée à 50-60% au bout de 15 ans, soit le même taux que pour 80 années de culture manuelle à jachère (Boyer, 1977).

En plus de ses effets négatifs sur la qualité des sols, la réalisation du LC est de plus en plus contrariée par des contraintes pluviométriques (d'humidité) et énergétiques (Nicou & Poulain, 1972 ; Kambiré, 2000). En effet, l'arrivée tardive et irrégulière des pluies a entraîné une réduction de la fenêtre temporelle disponible pour la préparation du sol et le semis (Somé & Sivakumar, 1994 ; Mugishawimana, 2000). Par ailleurs, les animaux de trait utilisés par la grande majorité des agriculteurs sont physiquement faibles au début de la saison des pluies, au moment de réaliser le labour à la charrue à soc. En réponse à ces contraintes temporelles et énergétiques, on observe actuellement une expansion des techniques culturales simplifiées (TCS) dans les systèmes cotonniers (Traoré, 2001 ; Brévault *et al.*, 2007 ; Kambiré, 2006 ; Naudin *et al.*, 2010). Selon des travaux réalisés sur le scarifiage du sol par exemple (Son, 2004 ; Barro *et al.*, 2009), cette pratique peut être une réponse efficace aux risques pluviométriques en permettant d'anticiper la préparation du sol en condition sèche ou pré-humide. Ceci peut permettre de semer dans les délais et ainsi de sécuriser la production.

En plus des avantages cités ci-dessus, les TCS bénéficient actuellement d'une opinion favorable, partagée par des structures spécialisées comme le WASWC¹, en raison de leurs bénéfices environnementaux. En effet, des études en zone semi-aride (Barthès & Roose, 2002 ; Gwensi *et al.*, 2009, Thierfelder *et al.*, 2013 ; Brouder & Gomez-Macpherson, 2014) attribuent aux TCS une meilleure stabilisation du sol en relation avec une nette augmentation de la teneur en COS dans l'horizon de surface (Alvarez, 2005), ce qui affecte

¹ World Association for Soil and Water Conservation

positivement l'activité biologique (Blanchart *et al.*, 2000), elle-même responsable d'une meilleure continuité verticale des macropores (Strudley *et al.*, 2008). Ceci a pour corollaire une augmentation de l'infiltration (Thierfelder *et al.*, 2013) et inversement une mitigation de l'érosion (Barthès & Roose, 2002). Dans des systèmes proches de ceux observés au Burkina, les TCS, et plus spécialement le zéro-labour (ZL) avec ou sans mulch, ont été comparées au LC dans la zone cotonnière au Nord du Cameroun sous climat soudanien (Dugué & Guyotte, 1996 ; Brévault *et al.*, 2007 ; Naudin *et al.*, 2010). Il ressort par exemple que le zéro-labour avec du mulch permet à la fois une plus grande diversité et abondance de la macrofaune. La biomasse du sorgho et du maïs est doublée. Les rendements en coton-graine sont plus bas avec le LC (-12%) et le ZL sans mulch (-24%) comparés au ZL avec mulch.

L'ensemble des constats précédents suggère que les TCS pourraient donc constituer une réponse adéquate à la dégradation des sols observée dans les systèmes cotonniers avec labour. Les TCS offrent par ailleurs une autre opportunité, à savoir l'épandage localisé de la fumure organique à l'image du zaï pratiqué en zone sahélienne (Sawadogo *et al.*, 2008). L'épandage localisé de la fumure organique pourrait permettre non seulement de réduire les besoins en fumure mais surtout d'améliorer la qualité des sols, en particulier au niveau des zones d'application de la fumure (les lignes de semis). Dans cette première partie, l'étude vise à évaluer l'effet de cette combinaison sur les propriétés physico-chimiques du sol dans une rotation coton-maïs. Les effets de ces pratiques sur les rendements des cultures seront évalués dans le chapitre suivant.

4.2 Matériels et méthodes

4.2.1 Description du site expérimental

Les essais ont été réalisés à la station expérimentale de l'INERA / Farako-Bâ (11°06' N, 4°20' O, 405 m d'altitude) (Fig. 4.1). Avec un climat sud-soudanien, le site reçoit 900 à 1000 mm de pluies entre mai et octobre.

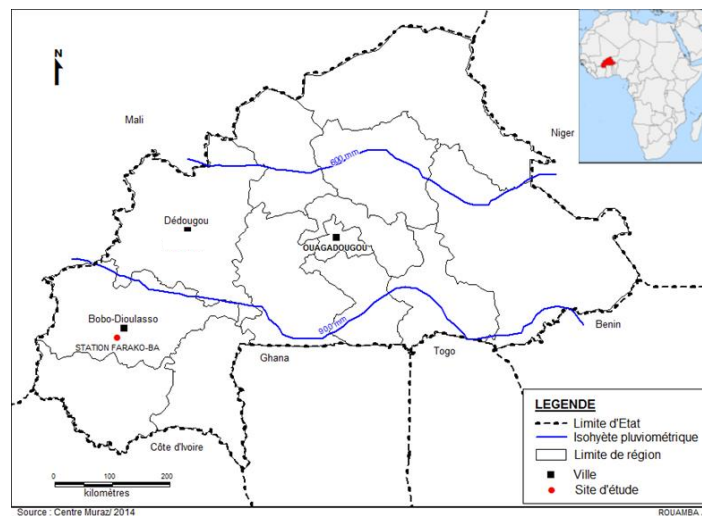


Figure 4.1 : Localisation de la station de Farako-Bâ

Le sol est ferrugineux tropical lessivé avec taches et concrétions ferrugineuses (Lixisol) (INERA, 2003). Les taches sont brun jaunâtre (10YR), rougeâtre (10YR) et brunâtre (10YR). La texture est de type limon sableux sur la profondeur 0-40 cm (Tab. 4.1). Au-delà de 50 cm de profondeur, on note plus de concrétions dans la matrice argileuse. La structure est polyédrique subangulaire, souvent massive et faiblement développée en éléments de taille moyenne, fine et grossière. L'activité biologique est assez bien développée. Le sol est pauvre avec de faibles teneurs en COS ($< 5 \text{ g kg}^{-1}$) et en N ($< 0,432 \text{ g kg}^{-1}$), un rapport C/N compris entre 10 et 14, et des pH acides (Tab. 4.2).

Tableau 4.1: Granulométrie du sol des deux parcelles expérimentales

Paramètre	Profondeur du sol [cm]		
	0-10	10-20	20-40
Argile [%]	11,39 ± 1,47	14,83 ± 1,60	19,98 ± 2,17
Limon [%]	25,25 ± 2,13	25,00 ± 1,68	23,78 ± 2,25
Sable [%]	63,36 ± 1,71	60,17 ± 1,56	56,25 ± 2,34
Texture	Limon sableux	Limon sableux	Limon sableux

Tableau 4.2 : Etat initial des paramètres chimiques du sol de la parcelle 1 (mai 2010, coton-maïs-coton) et 2 (mai 2011, coton-maïs)

Paramètre	Profondeur du sol [cm]		
	0-10	10-20	20-40
Parcelle 1			
COS [g kg ⁻¹]	4,66 ± 0,46	4,34 ± 0,56	3,98 ± 0,37
N [g kg ⁻¹]	0,343 ± 0,072	0,320 ± 0,006	0,271 ± 0,003
C/N	14 ± 2	14 ± 1	15 ± 1
P Bray I [mg kg ⁻¹]	8,65 ± 2,05	6,45 ± 2,05	3,52 ± 1,40
pH _{eau}	5,4 ± 0,50	5,4 ± 0,42	5,3 ± 0,22
Parcelle 2			
COS [g kg ⁻¹]	4,26 ± 0,39	3,63 ± 0,43	3,27 ± 0,42
N [g kg ⁻¹]	0,432 ± 0,067	0,381 ± 0,058	0,317 ± 0,045
C/N	10 ± 1	10 ± 1	10 ± 2
P Bray I [mg kg ⁻¹]	5,81 ± 1,40	3,61 ± 1,60	1,30 ± 0,33
pH _{eau}	5,1 ± 0,22	4,9 ± 0,27	4,9 ± 0,20

La CEC de ces sols est très faible (4,50 à 6,45 cmol₊ kg⁻¹) comme les teneurs en bases échangeables (2,48 et 4,34 cmol₊ kg⁻¹). Le complexe argilo-humique est moyennement désaturé (50 à 70%) (Kambiré, 2000 ; Koulibaly, 2011).

4.2 Matériels et méthodes

4.2.2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (strip-plot) compare trois doses de compost (facteur bloc) et quatre techniques de travail du sol (facteur sous-bloc) dans quatre répétitions (Fig. 4.2). Pour les besoins de la rotation, le dispositif a été dupliqué dans deux parcelles adjacentes occupées respectivement par un cycle coton-maïs-coton (2010, 2011 et 2012) et un cycle coton-maïs (2011 et 2012).

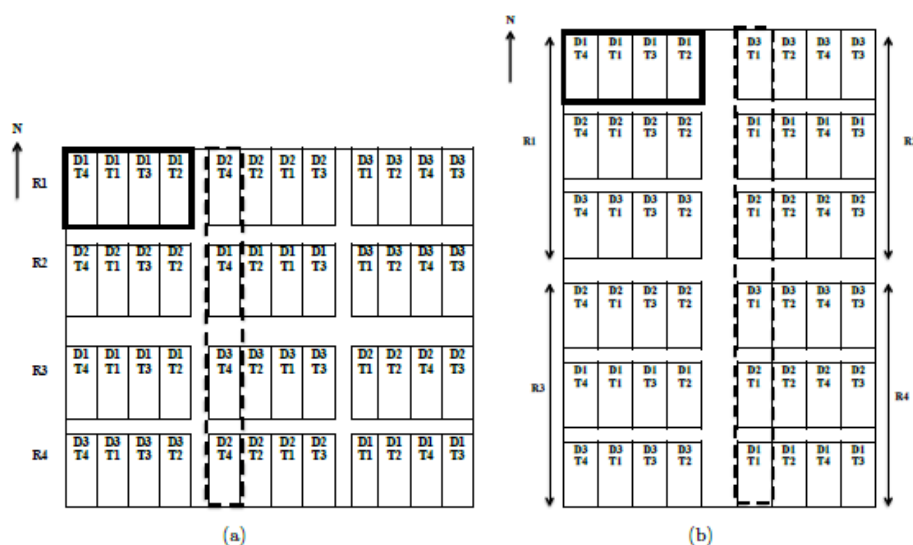


Figure 4.2 : Plan du dispositif expérimental bifactoriel strip-plot : (a) : parcelle 1 sous rotation coton-maïs-coton de 2010 à 2012 ; (b) : parcelle 2 sous rotation coton-maïs de 2011 à 2012.

R : répétition, D : dose de compost en bloc ou main plot (-), T : technique de préparation du sol définie en sous-bloc ou subplot (--) et disposée en bande.

Cette disposition en strip-plot facilite la réalisation du travail du sol à traction animale, en évitant le piétinement des parcelles utiles par les animaux au bout des parcours. Chacune des deux parcelles expérimentales est composée de 48 parcelles élémentaires de 60 m² et 40 m² respectivement. Chaque parcelle couvre cinq lignes de semis inter-distances de 0,80 m. Les parcelles utiles sont de 33,12 m² et 20,16 m².

4.2.3 Les traitements mis en comparaison

4.2.3.1 La dose de fumure organique

La fumure organique est un compost classique produit en tas avec des résidus végétaux et des déjections animales collectés à la station. La fumure est appliquée sur le coton aux doses de 1, 2 et 4 t ha⁻¹ tous les deux ans. Les quantités en éléments fertilisants correspondant à ces trois doses sont renseignées dans le Tab. 4.3.

Tableau 4.3: Caractéristiques du compost utilisé en 2010, 2011 et 2012, et quantité moyenne d'éléments nutritifs selon les doses de compost appliquées.

Année	Dose de compost	C [%]	MO* [%]	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	pH _e au [-]	C/N [-]
2010		16	28	0,997	0,522	0,918	8,29	16
Quantités appliquées [kg / ha]	1000	164	282	10	5	9		
	2000	328	565	20	10	18		
	4000	655	1129	40	21	37		
2011		21	36	1,297	0,569	2,385	8,42	17
Quantités appliquées [kg / ha]	1000	214	370	13	6	24		
	2000	429	739	26	11	48		
	4000	857	1478	52	23	95		
2012		15	26	1,07	0,228	1,640	8,72	15
Quantités appliquées [kg / ha]	1000	155	267	11	2	16		
	2000	310	534	21	5	33		
	4000	620	1068	43	9	66		

*MO (matière organique) = C x 1,72

La dose n°3 correspond à celle recommandée aux producteurs par les services techniques (6 t ha⁻¹ tous les 3 ans) mais est difficile à satisfaire à cause de la disponibilité limitée du compost en milieu paysan. Les apports ont été faits avant le semis du cotonnier, en 2010 et 2012 sur la parcelle n°1 et en 2011 sur la parcelle n°2. Tous les composts sont murs (C/N < 20) avec une teneur en MO acceptable (> 10% selon la FAO), et légèrement basiques (pH > 8). On remarque cependant que les doses de 1 et 2 t ha⁻¹ de compost fournissent des

4.2 Matériels et méthodes

quantités de NPK inférieures à celles recommandées en fertilisation minérale du cotonnier (NPK 44-27-27) sauf pour le K en 2011 et 2012. A 4 t ha⁻¹ les quantités de N et K sont satisfaisantes mais le P est toujours insuffisant.

4.2.3.2 *Les techniques de préparation*

Les outils de travail du sol sont ceux utilisés par les producteurs (Fig.4.3 & 4.4). Le triangle sarcler (houe Manga) qui était initialement destiné au sarclage, est de plus en plus utilisé par les producteurs pour scarifier le sol sec ou pré-humide. Le travail du sol a été réalisé avec une paire de bœufs, les semis et le sarclage sont faits à la main. La houe Manga et le butteur ont été réglés à des profondeurs théoriques de travail du sol de 12 cm et 7 cm respectivement.

Les modalités de préparation (Fig. 4.3) ont été définies en tenant compte des pratiques paysannes et des contraintes pluviométriques et énergétiques locales. Ces contraintes sont à l'origine d'une tendance croissante à l'utilisation de la houe Manga en TCS. Dans le traitement T1, des sillons sont ouverts à la houe Manga et la fumure est appliquée dans les sillons. Cette pratique peut être considérée comme une forme mécanisée du zaï traditionnel, pratiqué dans la zone sahélienne, qui consiste à creuser manuellement des poquets pour y déposer de la fumure organique. Cependant, le besoin de recouvrement partiel de la fumure organique a justifié l'application du traitement T2 avec un second passage à la houe Manga entre les sillons creusés précédemment.

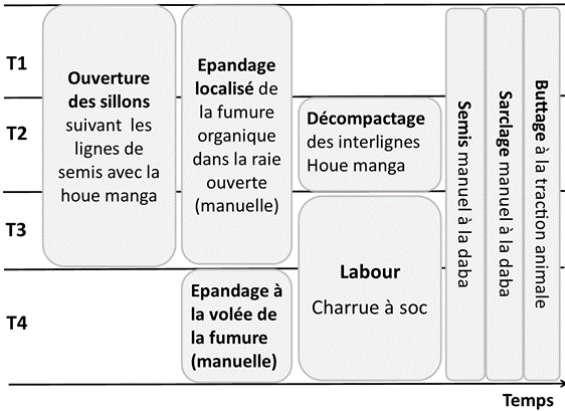


Figure 4.3: Chronoséquence des opérations culturales

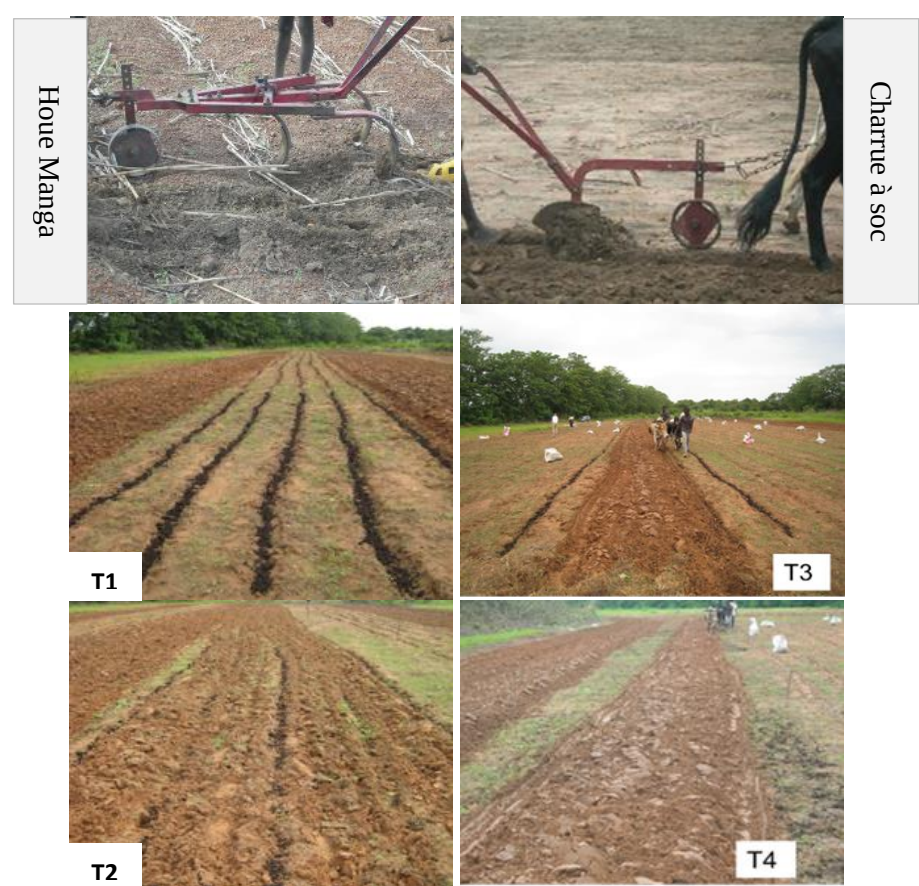


Figure 4.4 : Illustration des outils et des modalités de travail du sol testées

4.2 Matériels et méthodes

L'intérêt immédiat du labour (T4) est d'enfouir les adventices et de retarder les sarclages, voire de réduire leur charge. Dans la pratique, le LC est cependant très exigeant en énergie de traction. En faisant précéder le LC par un travail superficiel (T1), la demande en énergie pour labourer est moindre. Le labour subséquent (T3) peut se faire même après une petite pluie alors que les conditions d'humidité ne permettent pas encore de réaliser un LC (T4). Le labour T3 sera moins lourd car le sol aura déjà été partiellement ouvert et cette ouverture aura permis une meilleure humectation du sol. Les pratiques de travail minimum combinées ou non au LC doivent à terme permettre au producteur, en condition de sol sec ou humide, d'occuper pleinement le temps précédant l'installation définitive des pluies. Le producteur peut réaliser un travail minimum du sol (T1 ou T2) en sol sec, anticiper une reprise au labour (T3) en sol pré-humide ou faire un LC en sol humide (T4).

4.2.4 La conduite culturale

Pour les besoins de comparaison, les traitements (Ti) ont bénéficié des mêmes opérations d'entretien cultural (Tab. 4.4) Cependant, la réalisation des semis à la même date annule un des avantages potentiels des TCS qui auraient pu bénéficier de semis précoces en milieu paysan. L'année 2012 est particulière avec trois resemis du cotonnier à cause de la qualité défectueuse de la semence suite à un mauvais traitement chimique.

Les variétés du cotonnier (*Gossypium hirsutum* FK 37 en 2010 et 2012, STAM59A en 2011) et du maïs (FBC6) ont été fournies par l'INERA. Les détails sur le cotonnier sont en annexe 4.1. Les semis sont réalisés à une profondeur de 5 à 8 cm. La dose de 3 à 5 graines par poquet pour le cotonnier et de 2 à 3 graines pour le maïs. Pour les deux cultures, les écartements sont identiques, soit 0,80 m entre les lignes et 0,40 m sur les lignes ; ce qui donne une densité théorique de 62500 plants à l'hectare à raison de deux plants par poquet après le démariage (15-20 JAS). Seul le maïs a bénéficié d'un apport d'urée (46% N) de 50 kg ha⁻¹ à 45-50 JAS.

Chapitre 4 : Effet de la fumure et du travail du sol sur les sols

Tableau 4.4 : Calendrier des opérations culturales des essais au cours des années 2010, 2011, 2012

Culture	Année	Scarifiage du sol / ouverture raies	Epandage de la fumure organique	Labour	Semis	Re- semis	Sarclage	Buttage	Récolte
Cotonnier	2010	16/06	24/06	24/06	26/06	06/07	02/08	25/09	22-24/11
	2011	27/06	06/07	07/07	08/07	18/07	20/07 (T1)	27-30/08	12-14/12
							30/07-02/08 (T2, T3, T4)		
	2012	16/06	23/06	23/06	03/07	12/07 ; 20/07 01/08	26/07	20/09	03-06/12
Maïs	2011	27/06	-	07/07	09/07	18/07	30/07-02/08	27-30/08	20/10
	2012	16/06	-	23/06	04/07	12/07	19-20/07	04/09	16/10

4.2 Matériels et méthodes

4.2.5 Collecte des données

4.2.5.1 Distribution pondérale des mottes du lit de semis

L'état structural du lit de semis détermine la qualité du contact sol-graine pour la germination ainsi que la résistance du sol à la levée et à l'implantation de la racine. Il a été caractérisé par le diamètre pondéral moyen (Mean Weight Diameter, MWD [mm] ; Eq. 4.1) et l'indice de finesse (IF ; Eq. 4.2) des agrégats d'échantillons de terre prélevés après la préparation du sol dans les parcelles à dose intermédiaire de fumure (D2Ti). Par parcelle, trois échantillons de terre sont prélevés sans briser les mottes, à l'intérieur d'un carré de 25 cm de côté et sur une profondeur de 5 à 8 cm pour les parcelles labourées. Pour T1, T2, toute la terre remuée est ramassée sur une longueur de 15 cm dans la raie ouverte.

Après séchage au soleil, les échantillons sont séparés à l'aide d'une colonne de tamis de mailles de 2, 5, 10, 20, 40 et 80 mm. Les mottes ainsi séparées sont pesées. Le MWD (Eq. 4.1) ne prend pas en compte les mottes dans le tamis de 80 mm puisqu'il n'y pas de tamis définissant la borne supérieure de cette classe. C'est pourquoi un indice de finesse (IF) est calculé (Eq. 4.2).

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i * w_i \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Avec

- n : le nombre de classes de mottes,
- x_i : la dimension moyenne des mailles de deux classes successives i [mm],
- w_i : la fraction du poids des mottes correspondant à chaque classe i [g/g].

$$IF = \frac{\text{Poids des mottes} < 5 \text{ mm}}{\text{Poids des mottes} > 10 \text{ mm}} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Avec le poids des mottes en g

4.2.5.2 La résistance mécanique du sol à la pénétration

La résistance mécanique du sol est un indicateur des contraintes physiques au développement du système racinaire. Afin d'évaluer l'effet du travail du sol, les mesures ont été faites dans les parcelles à dose intermédiaire de fumure (D2Ti), avant le sarclage (25 à 30 JAS), dans les profondeurs du sol 0-10 cm et 10-20 cm qui couvrent la couche du sol remaniée par les outils. Par parcelle, 5 mesures sont faites dans 4 placettes de 25 cm X 25 cm préhumectées par apport d'une même quantité d'eau : 0,5 litre en 2011 pour raison de pluies, 1,5 litre en surface en 2010 et 1 litre en profondeur, 1,5 litre en 2012. Après les mesures et le décapage de la couche 0-10 cm, la préhumectation de l'horizon 10-20 cm est répétée.

Les mesures sont faites après une durée fixe de ressuyage à l'aide d'un pénétromètre à cône et à lecture directe dans la gamme de 200 à 700 N. La valeur lue est rapportée à la surface du cône pour obtenir la résistance en N/cm². Un cône identique est utilisé pour le même horizon.

4.2.5.3 Stabilité structurale du sol

Afin de caractériser l'influence de la dose de fumure et du type de préparation du sol sur la stabilité structurale, les tests d'humectation rapide (HR), d'humectation lente (HL) et de désagrégation mécanique (DM) décrits par Le Bissonnais (1996) ont permis de déterminer le MWD des agrégats stables en 2011. Pour chacune des 48 parcelles, chaque test a été répété 3 fois avec 5 g (par test) d'agrégats secs calibrés entre 2 et 5 mm. Ils ont été prélevés manuellement à 35 JAS dans la couche superficielle (0-5 cm) à plusieurs endroits sur les lignes de semis. Les agrégats stables issus des tests sont séchés puis séparés dans une colonne de tamis de diamètre 50, 100, 250, 500, 1000 et 2000 µm. Le mode opératoire détaillé est mis en annexe 4.2.

4.2 Matériels et méthodes

4.2.5.4 L'infiltration

Pour apprécier l'effet de la préparation du sol sur la vitesse d'infiltration verticale du sol, un infiltromètre à double anneaux a été utilisé. Trois mesures ont été faites sur les lignes des traitements à dose intermédiaire de fumure, à 10 JAS en 2011, puis à 30 JAS en 2010, 2011, et 2012. Après avoir enfoncé les deux anneaux dans le sol, en prenant les précautions pour éviter une perturbation du sol, l'eau est portée à un niveau initial repéré par la graduation sur la face interne de l'anneau central. Dans l'anneau externe, la hauteur d'eau est au moins égale à celle de l'anneau central. Après chaque lecture du niveau d'eau de l'anneau central aux temps fixés (5, 15, 30, 50, 72, 96, 122, 150 et 180 mn), les niveaux d'eau dans les deux anneaux sont rajustés au niveau initial.

Pour chaque lecture, l'infiltration instantanée (i [mm/s]) est calculée (Eq. 4.3) par le rapport entre la différence de hauteur d'eau observée (ΔH [cm]) et le pas de temps considéré (Δt [min]).

$$i = \frac{10 \cdot \Delta H}{60 \cdot \Delta t} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

Étant donné que la vitesse d'infiltration décroît au cours du temps pour atteindre un plateau d'infiltration constante, seules les deux dernières mesures sont retenues, après vérification graphique.

4.2.5.5 Le bilan chimique du sol

Des paramètres analytiques du sol (COS, N total, P Bray I, pH_{eau}) ont été mesurés avant et après les essais.

Prélèvement des échantillons de sol : Pour la caractérisation initiale, 9 échantillons de sol sont pris par sous-bloc de répétition (R) formé de quatre parcelles (Ti), en mai 2010 (parcelle 1) et mai 2011 (parcelle 2), avant la préparation du sol et l'apport des fumures. Pour la caractérisation finale, 9

échantillons de sol sont prélevés sur les lignes des 48 parcelles (Ti) après les dernières récoltes en décembre 2012. Par profondeur (0-10 cm, 10-20 cm), un échantillon moyen a été constitué par le mélange des 9 échantillons.

Méthodes d'analyses de laboratoire : Les analyses ont concerné le COS, N total, P Bray I et le pH_{eau} sur la fraction fine (< 2 mm) du sol. La granulométrie (3 fractions) a été déterminée par la méthode de Robinson. Le COS et le N total du sol ont été déterminés respectivement par le dosage colorimétrique de Graham (1948) et la méthode modifiée de Kjeldhal décrits par Okalebo *et al.* (2002). La photométrie à flamme a été utilisée pour déterminer le K, alors que le P Bray I a été dosé par la spectrophotométrie. Le pH_{eau} (2.5 :1) a été mesuré. Le compost (C, N, pH_{eau}, K, P) a été analysé selon les mêmes méthodes que sur les sols.

L'évolution des caractéristiques chimiques : La variation des teneurs de ces différents éléments a été calculée par la différence entre la valeur finale après l'essai et la valeur initiale avant l'expérimentation.

4.2.6 Analyse des données

Les données ont été soumises au test de l'ANOVA type II par la procédure GLM (Generalized Linear Model), suivi d'une comparaison des moyennes (test de Tukey). La normalité de la distribution des résidus est analysée par le test de Shapiro puis vérifiée par les graphes. Ces analyses sont faites à l'aide du logiciel R version 3 (R Development Core Team, 2012).

4.3 Résultats

4.3 Résultats

4.3.1 Etat structural des lits de semis

Les traitements T1-T2-T3 sont similaires avant l'épandage de la fumure. C'est pourquoi les T1-T2 sont fusionnés pour l'analyse. Le MWD et l'indice de finesse sont significativement affectés par le travail du sol seulement en 2010 (Tab. 4.5). Le lit de semis apparaît plus grossier en T1-T2 et est plus fin avec le labour T3 (Fig. 4.5a). En outre, le lit de semis est plus fin en 2012 qu'en 2011 et 2010 (Fig. 4.5a, b). Toutefois, la fraction fine (< 2 mm) apparaît toujours plus importante, surtout en 2012 (Fig. 4.6).

Tableau 4.5: Effet de la modalité du travail du sol sur le MWD et l'indice de finesse des agrégats du lit de semis en 2010, 2011 et 2012.

Année	p-value	
	MWD	Indice de finesse
2010	0,015*	< 0,001***
2011	0,424	0,176
2012	0,543	0,223

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

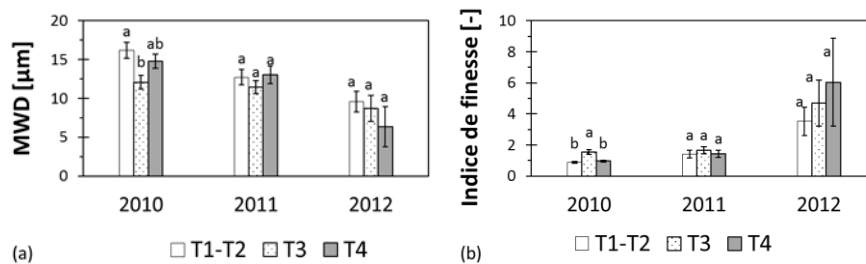


Figure 4.5: Etat structural du lit de semis : MWD moyen (a) et indice de finesse (b) selon les modalités de travail du sol. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

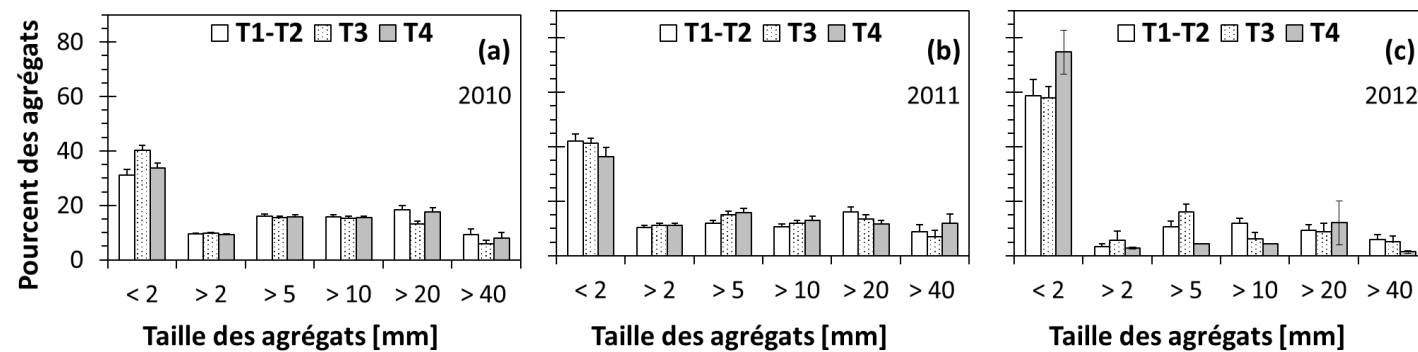


Figure 4.6: Etat structural du lit de semis : proportion des agrégats en fonction de leur taille par modalité de travail du sol : (a) année 2010 ; (b) année 2011 ; (c) année 2012. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

4.3 Résultats

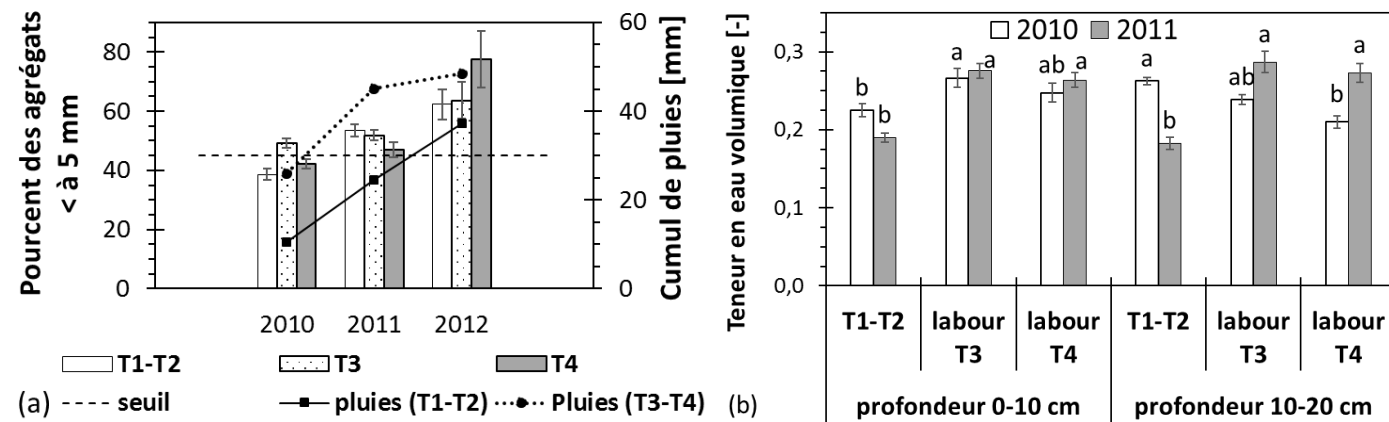


Figure 4.7 : (a) Pourcentage d'agrégats de taille inférieure à 5 mm selon les modalités de travail du sol. La ligne tiretée horizontale correspond au minimum proposé par Lagière (1966). Les pluies (T1-T2) correspondent au cumul de pluies tombées dans les trois jours avant l'opération culturale. Les pluies (T3-T4) correspondent aux pluies (T1-T2) cumulées avec les pluies tombées avant le labour. (b) Teneurs en eau du sol au moment de la préparation du sol. Les traitements sont comparés par horizon et par année. Une même lettre indique des moyennes équivalentes. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

Par ailleurs, on peut retenir que la proportion des agrégats fins tend à augmenter avec la quantité de pluies recueillie avant l'opération culturale (Fig. 4.7a). Du reste, par un effet temporel le labour en 2010 et 2011 a bénéficié d'une meilleure humidité du sol (couche 0-10 cm) que T1-T2 lors du premier passage de la houe manga (Fig. 4.7b).

4.3.2 Infiltration

La vitesse d'infiltration (Fig. 4.8a) est significativement influencée par la modalité de travail du sol à 10 JAS en 2011 (p-value < 0,001 ; HSD = 0,19 mm/s). Les modalités de labour (T3-T4) d'une part, et les TCS (T1-T2) d'autre part, sont comparables entre elles.

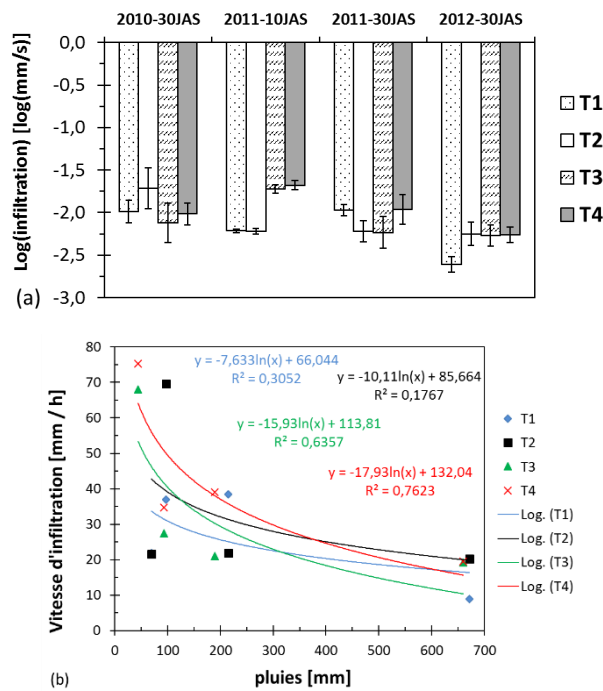


Figure 4.8: Vitesse moyenne d'infiltration selon les modalités de travail du sol : (a) à 10 JAS en 2011 et à 30 JAS en 2010, 2011 et 2012. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard. (b) en fonction de la quantité de pluies cumulée entre la date de préparation du sol et la période de mesure de l'infiltration en 2010, 2011 et 2012.

4.3 Résultats

Le labour favorise donc l'infiltration à 10 JAS. Par contre, à 30 JAS, l'ANOVA ne révèle pas d'effets significatifs en 2011 ($p = 0,473$). Ce constat indique une disparition de l'effet positif du labour T3-T4 à la période de 30 JAS. En effet, la vitesse d'infiltration des parcelles labourées (T3-T4) a significativement diminué ($p = 0,024$, HSD = 0,33 mm/s) entre 10 et 30 JAS en 2011. Parallèlement, la variation n'est pas significative ($p = 0,287$) pour les traitements T1-T2.

Tout comme en 2011, on n'observe pas de différence significative en 2010 entre les traitements à 30 JAS ($p = 0,497$), contrairement à 2012 ($p = 0,0498$; HSD = 0,437 mm/s) où le traitement T1 présente un taux d'infiltration significativement plus faible que les autres traitements.

Globalement, la vitesse d'infiltration évolue à la baisse sous l'action du cumul des pluies tombées après la préparation du sol sur l'ensemble des trois années (Fig. 4.8b). Cette décroissance apparaît plus marquée dans les parcelles labourées (T3-T4) que dans celles sous régime de travail simplifié du sol (T1-T2).

4.3.3 Stabilité structurale du sol

Effet de la dose de compost Di : l'ANOVA indique une influence hautement significative de la dose de compost sur le MWD moyenné des trois tests (Tab. 4.6), entraînant ainsi une augmentation du MWD parallèlement à la dose de compost (Fig. 4.9a). Cependant, les moyennes du MWD à 2 t ha⁻¹ de compost ($538 \pm 23 \mu\text{m}$) et 4 t ha⁻¹ ($564 \pm 31 \mu\text{m}$) sont comparables. En considérant séparément les différents tests, le MWD est aussi influencé de manière significative par la dose de compost pour les tests HR et HL mais non pour le test DM (Tab 4.6). Comme observé sur le MWD moyenné, la tendance est identique pour le test HL dont la moyenne du MWD est de $628 \pm 35 \mu\text{m}$, $752 \pm 45 \mu\text{m}$ et $840 \pm 48 \mu\text{m}$ aux doses respectives de 1, 2 et 4 t ha⁻¹ de compost. La plus faible dose de compost est toujours associée au plus petit MWD pour les autres tests HR et DM.

Tableau 4.6: Effet de la dose de compost et du travail du sol sur le MWD moyen par test de stabilité structurale

Facteurs	p-value			
	HR	HL	DM	Moyenne des trois tests
D	0,036*	< 0,001***	0,133	< 0,001***
TS	< 0,001***	< 0,001***	0,002**	< 0,001***
D*TS	0,013*	0,016*	0,220	0,013*

D= Dose de compost ; TS = Travail du sol

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

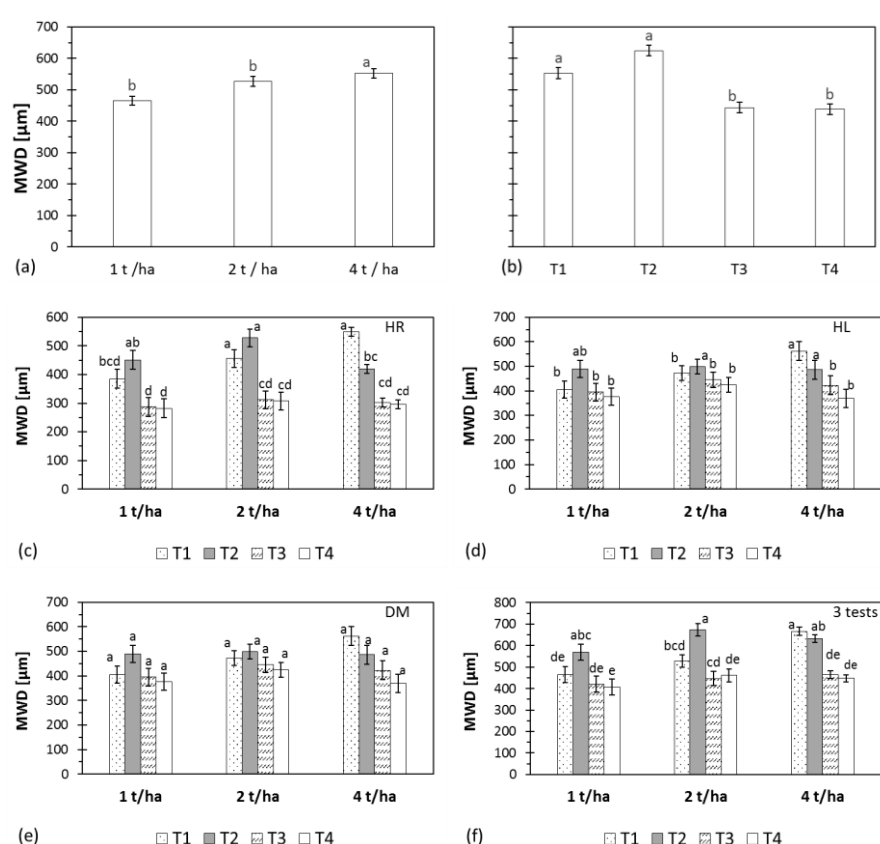


Figure 4.9: MWD moyen par test de stabilité structurale et par traitement ainsi que MWD moyenné pour les trois tests : (a) MWD moyenné des trois tests par Di, (b) MWD moyenné des trois tests par Ti, (c) interaction TiDi entre les modalités de travail du sol (Ti) et les doses de fumure organique (Di), test HR, (d) interaction TiDi, test HL, (e) interaction TiDi, test DM, (f) interaction TiDi, MWD moyenné pour les trois tests. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

4.3 Résultats

Effet du travail du sol Ti. Quel que soit le type de test de stabilité structurale, l'ANOVA indique que le travail du sol affecte de manière hautement significative le MWD des agrégats stables (Tab. 4.6). En effet, les modalités de travail simplifié du sol (T1 et T2) ont un MWD moyen supérieur à celui des labours (T3 et T4) (Fig. 4.9b). Il décroît de $625 \pm 22 \mu\text{m}$ avec le traitement T2 à $439 \pm 15 \mu\text{m}$ sous le labour avec épandage à la volée du compost (T4). Par ailleurs, on constate que l'épandage en bande (T3) ne permet pas une augmentation significative du MWD par rapport à la pratique courante (T4). Ce constat illustre l'effet positif du travail réduit du sol sur la stabilité structurale lorsque la fumure est appliquée en bande.

Effet de l'interaction entre la dose de compost et le travail du sol :

l'interaction entre ces deux facteurs est significative sur le MWD moyenné des trois tests (Tab. 4.6 ; Fig. 4.9f). Il en est de même pour les tests HR et HL et non avec le test DM. Le MWD a globalement tendance à augmenter avec la dose du compost pour les modalités de travail simplifié du sol (T1-T2), avec cependant une baisse étonnante du MWD sous T2 à la dose de 4 t ha^{-1} (Fig. 4.9c). A l'opposé, le labour associé aux deux modes d'épandage de la fumure, ne favorise pas une évolution sensible du MWD, quelle que soit la dose du compost. Ceci veut dire que même la dose de 4 t ha^{-1} de compost est insuffisante pour améliorer la stabilité structurale des parcelles labourées comparativement aux plus faibles doses.

Par ailleurs, on constate que l'épandage en bande du compost suivi d'un enfouissement (T2) se traduit généralement par un plus grand MWD, exception faite de la dose de 4 t ha^{-1} pour le test HR. En plus, on remarque que le MWD moyen de T1 et T2 ne devient identique qu'à la plus forte dose (4 t ha^{-1}) de compost pour le test HL. Cela pourrait signifier que le besoin en fumure est plus important lorsqu'elle n'est pas incorporée au sol.

4.3.4. Effet du travail du sol sur la résistance mécanique du sol

Les résistances mécaniques de la couche superficielle (0-10 cm) sont plus faibles que celles de l'horizon inférieur (Tab. 4. 7 ; Fig. 4.10). Pour la même couche, les valeurs de 2012 sont plus élevées que celles de 2010 et 2011 et sont même plus proches de celles de la profondeur 10-20 cm. Elles varient significativement selon les modalités de travail du sol en 2010 et 2011 mais non en 2012. Dans cette couche remaniée, les plus faibles valeurs de résistance de 2010 et 2011 sont associées au labour combiné à un travail simplifié du sol (T3). Par contre, le labour conventionnel T4 et les TCS (T1- T2) présentent des résistances comparables, sauf en 2011 où le traitement T1 se démarque avec des résistances nettement plus élevées.

Tableau 4.7: Analyse de la variance de la résistance mécanique du sol en fonction de l'année de mesure et de la modalité de préparation du sol

Facteurs	Profondeur	p-value			
		3 années	2010	2011	2012
Année		< 0,001***			
TS	0-10 cm	0,002**	0,002**	< 0,001***	0,071
	10-20 cm	0,071	0,074	0,549	0,247

TS = Travail du sol

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

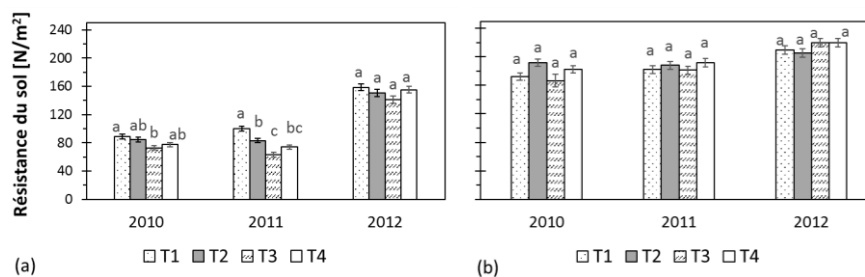


Figure 4.10: Résistance mécanique moyenne du sol en fonction des modalités de préparation du sol : profondeur du sol 0-10 cm (a) et 10-20 cm (b). Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

4.3 Résultats

Pour la profondeur 10-20 cm du sol, les résistances du sol ne diffèrent pas entre les traitements. Du reste, les différences entre les années sont moins perceptibles que celles de l'horizon de surface. Les résistances du sol en 2012 sont cependant légèrement plus élevées que celles des années 2010 et 2011 qui sont très proches entre elles.

4.3.5 Evolution des caractéristiques chimiques du sol

4.3.5.1 Etat chimique du sol à la fin du cycle de culture « cycle coton-maïs-coton »

Selon les analyses statistiques, la dose de compost n'affecte pas significativement les paramètres chimiques des horizons 0-10 cm et 10-20 cm du sol (Tab. 4.8 ; données en annexe 4.3). En revanche, le travail du sol a une influence significative sur la teneur du sol en COS et en N dans l'horizon de surface contrairement aux autres paramètres (pH_{eau}, P Bray I) (Fig. 4.11).

Pour la profondeur 10-20 cm du sol, l'effet du travail du sol est encore plus remarquable qu'en surface. Le COS, le N et le pH_{eau} sont très significativement affectés (Tab. 4.8 ; Fig. 4.11).

Tableau 4.8: Effet de la dose de compost, des modalités de travail du sol et de l'interaction des deux facteurs sur les paramètres chimiques du sol de la parcelle 1 en 2012 après un cycle de culture coton-maïs-coton.

Profondeur du sol	Facteurs	p-value			
		COS	N	pH _{eau}	P Bray I
0-10 cm	D	0,326	0,553	0,705	0,605
	TS	0,038*	0,010*	0,169	0,220
	D*TS	0,881	0,606	0,966	0,991
10-20 cm	D	0,963	0,843	0,815	0,923
	TS	< 0,001***	0,002**	0,003**	0,062
	D*TS	0,622	0,419	0,962	0,404

D= Dose de compost ; TS = Travail du sol

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

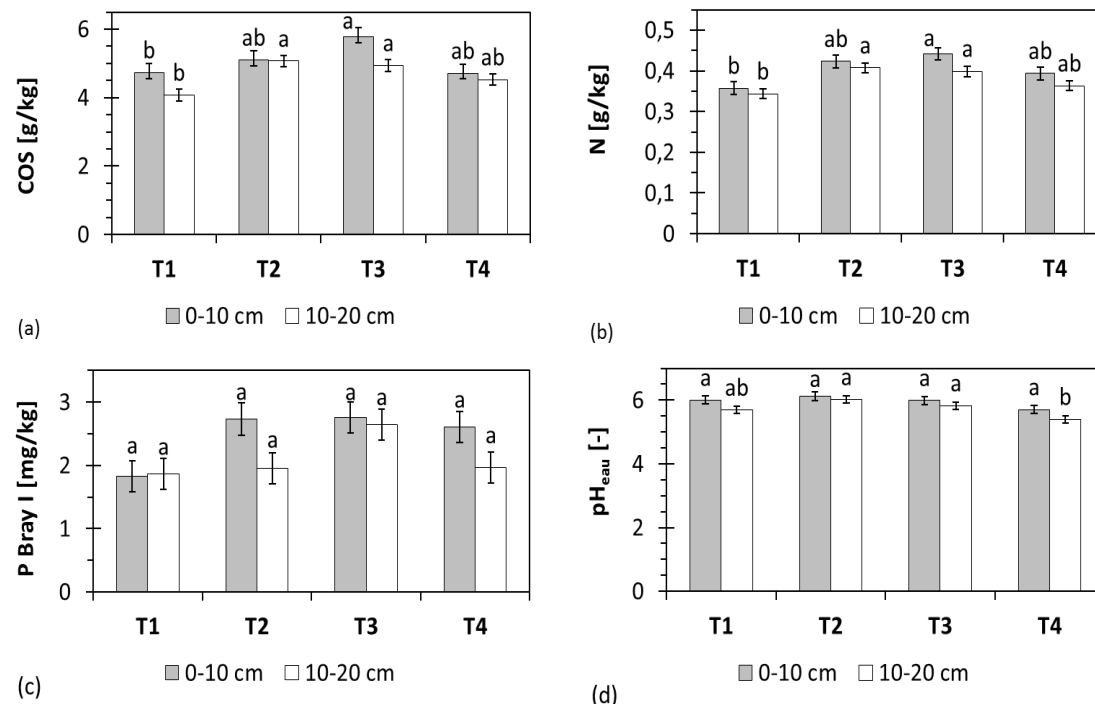


Figure 4.11: Niveau moyen des paramètres chimiques à la profondeur 0-10 et 10-20 cm du sol en fonction de la modalité de travail du sol après un cycle de culture coton-maïs-coton: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH_{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-standard.

4.3 Résultats

La teneur en COS de l'horizon 0-10 cm du sol baisse significativement du labour avec fumure en bande T3 au pseudo-labour T1 (Fig. 4.11a). Le labour avec fumure à la volée T4 présente des teneurs proches de T1. Le classement est similaire pour la teneur en N, qui décroît de T3 à T1 (Fig. 4.11b).

A la profondeur 10-20 cm du sol, les teneurs du sol en COS des modalités T2 et T3 sont significativement supérieures à celle de la modalité T1 (Fig. 4.11a). Toutefois, le labour avec fumure à la volée T4 est comparable à toutes les modalités T1, T2, T3. Les valeurs les plus élevées de N et de pH_{eau} sont aussi associées au pseudo-labour T2 et les plus faibles respectivement au pseudo-labour T1 et au labour avec fumure à la volée T4.

4.3.5.2. Etat chimique du sol à la fin du cycle de culture « coton-maïs »

Les analyses statistiques indiquent que la dose de compost a un effet hautement significatif sur la teneur du sol en COS et en N dans les deux horizons 0-10 cm et 10-20 cm (Tab. 4.9, Fig. 4.12a, b).

Tableau 4.9: Effet de la dose de compost, des modalités de travail du sol et de l'interaction des deux facteurs sur les paramètres chimiques du sol de la parcelle 2 en 2012 après un cycle de culture coton-maïs.

Profondeur du sol	Facteurs	p-value			
		COS	N	pH_{eau}	P Bray I
0-10 cm	D	< 0,001***	< 0,001***	0,205	0,165
	TS	< 0,001***	0,027*	0,019*	0,283
	D* S	0,006**	0,288	0,742	0,002**
10-20 cm	D	< 0,001***	< 0,001***	0,846	0,303
	TS	0,003**	0,435	0,191	0,917
	D * TS	0,074	0,177	0,838	0,370

D= Dose de compost ; TS = Travail du sol

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

Les doses de compost de 1 t ha⁻¹ et 2 t ha⁻¹ présentent des teneurs équivalentes de COS et de N, qui sont par ailleurs inférieures à celles de 4 t ha⁻¹ de compost.

Cette tendance est identique dans les deux horizons. Par contre, le pH_{eau} et le P Bray I ne sont pas affectés significativement par la dose de compost quel que soit l'horizon du sol (Tab. 4.9, Fig. 4.12c, d).

Pour sa part, l'effet du travail du sol est aussi hautement significatif sur le COS dans l'horizon 0-10 cm et dans une moindre mesure dans la couche sous-jacente (10-20 cm) (Tab. 4.9, Fig. 4.13a). Dans les deux horizons, le pseudo-labour T1 se singularise avec une plus faible teneur en COS du sol à l'opposé du labour avec fumure en bande T3 qui présente la teneur la plus élevée. En revanche, le pseudo-labour T2 présente des teneurs en COS du sol comparables à celles des labours avec fumure en bande (T3) et à la volée (T4).

4.3 Résultats

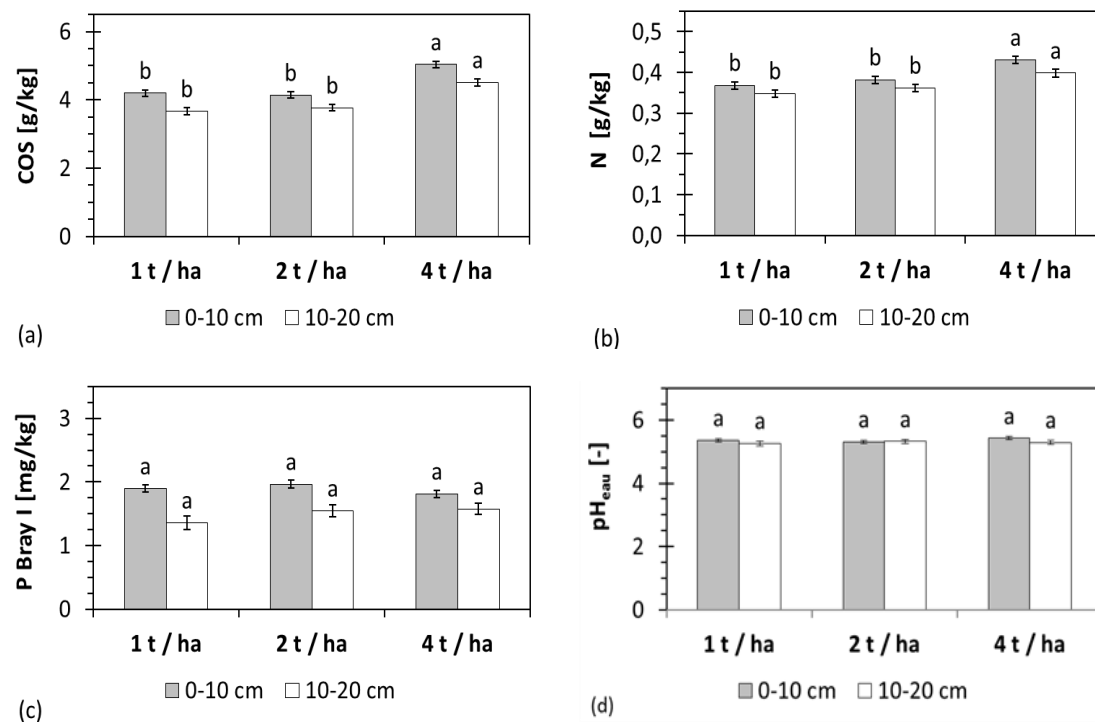


Figure 4.12 : Niveau moyen des paramètres chimiques du sol en fonction de la dose de compost après un cycle de culture coton-maïs: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH_{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

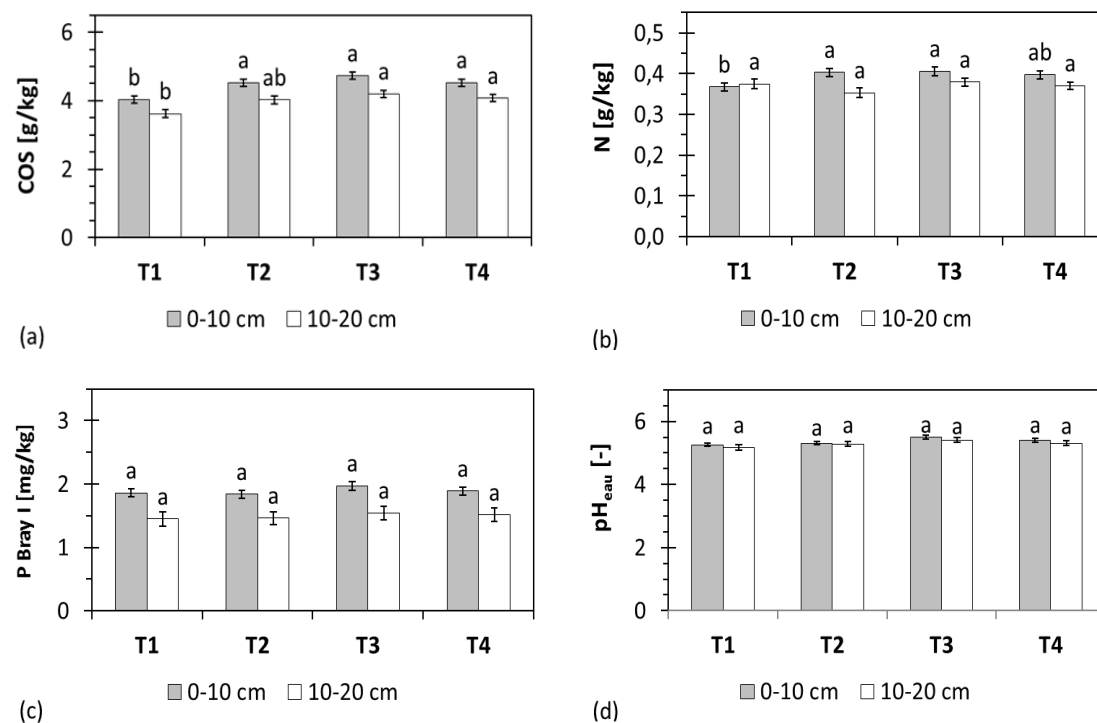


Figure 4.13 : Niveau moyen des paramètres chimiques du sol en fonction de la modalité de travail du sol après un cycle de culture coton-maïs: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH_{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

4.3 Résultats

Pour le N, la modalité T3 est toujours associée à la plus forte teneur et les plus faibles aux T1-T4 dans l'horizon 0-10 cm. Aucun effet n'est observé dans la couche inférieure, tout comme pour le P Bray I et le pH_{eau} dans les deux couches.

En outre, l'interaction de la dose de compost et du travail du sol se manifeste de manière très significative sur la teneur en COS et en P Bray I dans l'horizon de surface (Tab. 4.9 ; Fig. 4.14).

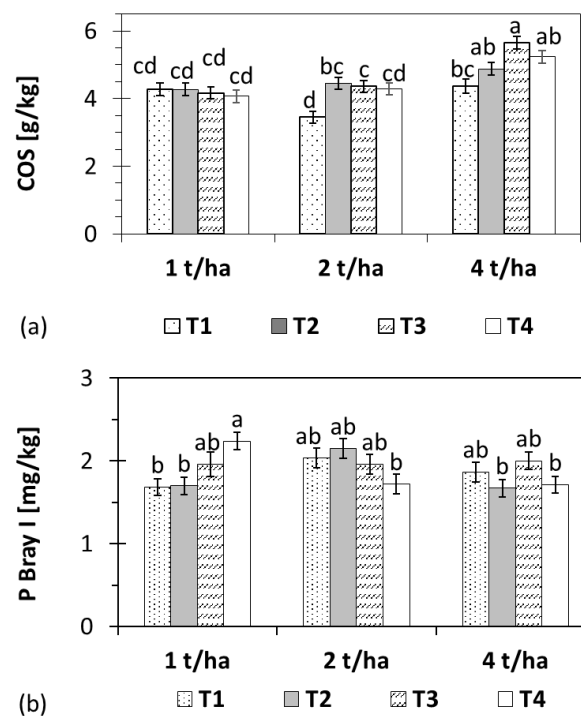


Figure 4.14 : Interaction entre la dose de compost et la modalité de travail du sol sur la teneur en COS (a) et P Bray I (b) à la profondeur 0-10 cm du sol après un cycle de culture coton-maïs. Les barres d'erreur indiquent l'erreur standard.

Pour la dose de 1 t ha⁻¹, la teneur en COS est identique pour toutes les modalités de travail du sol. Pour 2 t ha⁻¹ de fumure, la teneur en COS est significativement plus faible pour T1 que pour T2 et T3. Les traitements T2, T3 et T4 ne se différencient pas. A 4 t ha⁻¹ de fumure, on observe un gradient

croissant de teneur en COS de T1 à T3, avec des valeurs intermédiaires pour T2 et T4.

Enfin, pour le P Bray I, les teneurs sont croissantes de T1 à T4 pour la dose 1 t ha⁻¹, alors qu'il n'y a pas de différences significatives entre les modalités de travail du sol pour les doses de 2 t ha⁻¹ et 4 t ha⁻¹.

4.3.5.3 Evolution de l'état chimique du sol sous le cycle de culture « coton-maïs-coton »

Selon les analyses statistiques (Tab. 4.10), seules les variations du pH_{eau} des deux horizons du sol (0-10 cm, 10-20 cm) sont significativement affectées par la dose de compost après le cycle de culture coton-maïs-coton. La variation du pH_{eau} apparaît presque nulle à la dose de 1 t ha⁻¹ de compost mais le pH_{eau} augmente significativement avec les doses de 2 et 4 t ha⁻¹ (Tab. 4.11). En outre, le pH_{eau} a augmenté plus fortement en surface. Les autres paramètres (COS, N total et P Bray I) n'ont pas varié significativement suite à l'apport de compost (Tab. 4.10 ; 4.11).

Tableau 4.10: Variation des paramètres chimiques avant et après un cycle de culture coton-maïs-coton : analyse de la variance en fonction des facteurs : dose de compost, modalités de travail du sol et interaction entre les facteurs.

Profondeur du sol	Facteurs	p-value			
		COS	N	pH _{eau}	P Bray I
0-10 cm	D	0,237	0,874	0,001**	0,813
	TS	0,019*	0,208	0,345	0,961
	D * TS	0,420	0,964	0,998	0,998
10-20 cm	D	0,869	0,102	0,022*	0,816
	TS	0,095	0,023*	0,049*	0,968
	D * TS	0,199	0,593	0,994	0,849

D= Dose de compost ; TS = Travail du sol

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

4.3 Résultats

Tableau 4.11 : Variations moyennes ($\pm$ erreur standard) des valeurs des paramètres chimiques du sol selon de la dose de compost avant et après un cycle de culture coton-maïs-coton (parcelle 1). Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Paramètres du sol	1 t /ha	2 t /ha	4 t /ha
<i>0 -10 cm</i>			
COS [g kg ⁻¹]	0,25 ^a $\pm$ 0,10	0,16 ^a $\pm$ 0,12	0,01 ^a $\pm$ 0,10
N [g kg ⁻¹]	0,070 ^a $\pm$ 0,022	0,057 ^a $\pm$ 0,022	0,049 ^a $\pm$ 0,028
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-5,17 ^a $\pm$ 0,42	-5,36 ^a $\pm$ 0,36	-5,55 ^a $\pm$ 0,42
pH _{eau} [-]	0,1 ^b $\pm$ 0,15	0,8 ^a $\pm$ 0,15	0,8 ^a $\pm$ 0,17
<i>10 – 20 cm</i>			
COS [g kg ⁻¹]	0,71 ^a $\pm$ 0,22	0,62 ^a $\pm$ 0,17	0,44 ^a $\pm$ 0,18
N [g kg ⁻¹]	0,088 ^a $\pm$ 0,014	0,076 ^a $\pm$ 0,015	0,035 ^a $\pm$ 0,017
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-5,14 ^a $\pm$ 0,35	-4,85 ^a $\pm$ 0,31	-5,08 ^a $\pm$ 0,33
pH _{eau} [-]	0,1 ^a $\pm$ 0,13	0,5 ^a $\pm$ 0,13	0,5 ^{ab} $\pm$ 0,13

En fonction des modalités de travail du sol, on constate des variations significatives pour le COS dans l’horizon 0-10 cm du sol et pour le N et le pH_{eau} dans l’horizon 10-20 cm du sol (Tab. 4.10, Tab. 4.12). La variation de la teneur en COS dans l’horizon 0-10 cm est positive pour toutes les modalités sauf T1 où la teneur en COS a baissé. L’augmentation de la teneur en COS a été la plus forte en T2.

Dans l’horizon 10-20 cm du sol, on observe un gain en N total pour tous les traitements. Ce gain augmente significativement de T1 à T2-T3, traduisant ainsi un effet bénéfique de l’enfouissement du compost en bande. D’un autre côté, le gain en N est comparable pour les traitements T1 et T4.

Tableau 4.12 : Variations moyennes ($\pm$ erreur standard) des valeurs des paramètres chimiques du sol selon la modalité du travail du sol avant et après un cycle de culture coton-maïs-coton (parcelle 1). Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Paramètres du sol	T1	T2	T3	T4
<i>0-10 cm</i>				
COS [g kg ⁻¹]	-0,16 ^b $\pm$ 0,10	0,31 ^a $\pm$ 0,11	0,23 ^{ab} $\pm$ 0,13	0,20 ^{ab} $\pm$ 0,13
N [g kg ⁻¹]	0,012 ^a $\pm$ 0,030	0,080 ^a $\pm$ 0,027	0,091 ^a $\pm$ 0,029	0,051 ^a $\pm$ 0,026
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-5,38 ^a $\pm$ 0,46	-5,16 ^a $\pm$ 0,46	-5,42 ^a $\pm$ 0,46	-5,47 ^a $\pm$ 0,46
pH _{eau} [-]	0,6 ^a $\pm$ 0,18	0,8 ^a $\pm$ 0,18	0,5 ^a $\pm$ 0,18	0,3 ^a $\pm$ 0,18
<i>10-20 cm</i>				
COS [g kg ⁻¹]	0,62 ^a $\pm$ 0,28	0,84 ^a $\pm$ 0,19	0,68 ^a $\pm$ 0,22	0,23 ^a $\pm$ 0,20
N [g kg ⁻¹]	0,024 ^b $\pm$ 0,052	0,087 ^a $\pm$ 0,041	0,088 ^a $\pm$ 0,044	0,043 ^{ab} $\pm$ 0,036
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-4,97 ^a $\pm$ 0,37	-5,18 ^a $\pm$ 0,39	-5,08 ^a $\pm$ 0,39	-4,88 ^a $\pm$ 0,37
pH _{eau} [-]	0,3 ^{ab} $\pm$ 0,15	0,6 ^a $\pm$ 0,15	0,4 ^{ab} $\pm$ 0,15	0,1 ^b $\pm$ 0,15

Pour le même horizon 10-20 cm, on constate que la variation du pH_{eau} est presque nulle pour le labour avec épandage à la volée (T4) tandis que l'épandage en bande du compost associé au labour (T3) et surtout au pseudo-labour (T2) ont conduit à un accroissement notable du pH_{eau} du sol.

4.3.5.4. Evolution des caractéristiques chimiques du sol : cycle de culture coton-maïs

Les variations des teneurs en COS et en N des deux horizons du sol sont significativement influencées par la dose de compost après un cycle de culture coton-maïs (Tab. 4.13). En effet, la variation de la teneur en COS dans la couche 0-10 cm du sol à la dose de 4 t ha⁻¹ est positive et supérieure à celles

4.3 Résultats

correspondant aux doses de 1 et 2 t ha⁻¹ qui sont négatives (Tab. 4.14). Pour le N, les variations sont aussi négatives pour les deux plus faibles doses (1 et 2 t ha⁻¹) de compost et quasi-nulles à la dose de 4 t ha⁻¹.

Comme en surface, les variations du COS dans l'horizon 10-20 cm sont presque nulles aux doses de 1 et 2 t ha⁻¹ et sont aussi inférieures à celle de la dose de 4 t ha⁻¹. A cette dose, on note que la variation du COS est équivalente dans les deux horizons du sol. En outre, tout comme pour l'horizon 0-10 cm, l'horizon 10-20 cm s'est aussi appauvri en N pour les doses de 1 et 2 t ha⁻¹ de compost et est quasi stable pour 4 t ha⁻¹ de fumure (Tab. 4.14).

Enfin, les variations du P Bray I indiquent un important appauvrissement général du sol, surtout dans la couche superficielle du sol. En profondeur, la baisse est d'autant plus forte que la dose de compost est faible.

Tableau 4.13 : Variations des paramètres chimiques avant et après un cycle de culture coton-maïs : analyse de la variance en fonction des facteurs dose de compost, modalités de travail du sol et interaction entre les facteurs.

Profondeur du sol	Facteurs	p-value			
		COS	N	pH _{eau}	P Bray I
0-10 cm	D	< 0,001***	<0,001***	0,827	0,007**
	TS	0,018*	0,404	0,255	0,927
	D * TS	0,096**	0,816	0,970	0,990
10-20 cm	D	< 0,001***	0,004**	0,237	< 0,001***
	TS	< 0,001***	0,561	0,582	0,984
	D * TS	0,504	0,771	0,972	0,842

D = Dose de compost ; TS = Travail du sol

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

Tableau 4.14 : Effet de la dose de compost sur la variation des paramètres chimiques du sol avant et après un cycle de culture coton-maïs : moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Paramètres du sol	1 t /ha	2 t /ha	4 t /ha
<i>0 -10 cm</i>			
COS [g kg ⁻¹]	-0,03 ^b $\pm$ 0,13	-0,35 ^b $\pm$ 0,13	0,94 ^a $\pm$ 0,13
N [g kg ⁻¹]	-0,067 ^b $\pm$ 0,014	-0,076 ^b $\pm$ 0,014	0,004 ^a $\pm$ 0,014
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-3,95 ^{ab} $\pm$ 0,35	-2,97 ^a $\pm$ 0,35	-4,67 ^b $\pm$ 0,35
pH _{eau} [-]	0,4 ^a $\pm$ 0,11	0,5 ^a $\pm$ 0,15	0,4 ^a $\pm$ 0,11
<i>10 – 20 cm</i>			
COS [g kg ⁻¹]	0,02 ^b $\pm$ 0,11	-0,09 ^b $\pm$ 0,10	0,95 ^a $\pm$ 0,12
N [g kg ⁻¹]	-0,037 ^b $\pm$ 0,013	-0,041 ^b $\pm$ 0,011	0,012 ^a $\pm$ 0,013
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-2,34 ^b $\pm$ 0,15	-1,51 ^a $\pm$ 0,14	-1,12 ^a $\pm$ 0,15
pH _{eau} [-]	0,4 ^a $\pm$ 0,10	0,4 ^a $\pm$ 0,08	0,6 ^a $\pm$ 0,08

Sous l'effet du travail du sol, la variation de la teneur en COS est affectée de manière significative dans l'horizon 0-10 cm et de manière hautement significative dans l'horizon 10-20 cm du sol (Tab. 4.13). Dans ces deux horizons, la variation de la teneur en COS est négative pour le pseudo-labour T1 et positive pour les autres traitements, qui par ailleurs présentent une hausse comparable (Tab. 4.15). Dans les deux horizons du sol, la plus forte augmentation en COS est toujours associée au labour avec fumure en bande T3. Les autres paramètres (N, P Bray I et pH_{eau}) ne semblent pas être affectés. Il en est de même pour les interactions entre la dose de compost et le travail du sol qui apparaissent non significatives pour tous les paramètres mesurés.

4.3 Résultats

Tableau 4.15 : Effet de la modalité de travail du sol sur la variation des paramètres chimiques du sol avant et après un cycle de culture coton-maïs : moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Paramètres du sol	T1	T2	T3	T4
<i>0-10 cm</i>				
COS [g kg ⁻¹]	-0,27 ^b $\pm$ 0,16	0,27 ^{ab} $\pm$ 0,15	0,47 ^a $\pm$ 0,15	0,27 ^{ab} $\pm$ 0,15
N [g kg ⁻¹]	-0,069 ^a $\pm$ 0,016	-0,041 ^a $\pm$ 0,016	-0,030 ^a $\pm$ 0,016	-0,046 ^a $\pm$ 0,016
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-3,93 ^a $\pm$ 0,41	-4,04 ^a $\pm$ 0,41	-3,84 ^a $\pm$ 0,41	-3,66 ^a $\pm$ 0,41
pH _{eau} [-]	0,3 ^a $\pm$ 0,13	0,3 ^a $\pm$ 0,13	0,6 ^a $\pm$ 0,13	0,5 ^a $\pm$ 0,13
<i>10-20 cm</i>				
COS [g kg ⁻¹]	-0,23 ^b $\pm$ 0,14	0,42 ^a $\pm$ 0,13	0,55 ^a $\pm$ 0,12	0,44 ^a $\pm$ 0,12
N [g kg ⁻¹]	-0,027 ^a $\pm$ 0,016	-0,036 ^a $\pm$ 0,015	0,008 ^a $\pm$ 0,013	0,017 ^a $\pm$ 0,013
P Bray I [mg kg ⁻¹]	-1,71 ^a $\pm$ 0,18	-1,64 ^a $\pm$ 0,16	-1,62 ^a $\pm$ 0,17	-1,65 ^a $\pm$ 0,17
pH _{eau} [-]	0,4 ^a $\pm$ 0,11	0,4 ^a $\pm$ 0,09	0,6 ^a $\pm$ 0,10	0,5 ^a $\pm$ 0,10

4.4 Discussion générale

Les TCS et les propriétés physiques du sol

Les pseudo-labours (T1-T2) produisent un lit de semences relativement plus grossier que les labours (T3-T4) avec des proportions de terre fine (< 5 mm) comprises entre 40 à 62% et 43 à 77% respectivement (Fig. 4.6a). Son *et al.* (2004) ont également observé une plus faible proportion de terre fine (22%) avec des TCS comparés au labour (36 à 52%). La différence des états structuraux reflète celles du mode opératoire de l'outil et des conditions du sol, qui était toujours plus humide au moment du labour (Fig. 4.7b). Cependant, l'influence de l'humidité apparaît contrastée d'une année à l'autre, en ce sens que le MWD est identique en 2011, la saison où les différences d'humidité entre T1-T2 et T3-T4 ont pourtant été plus accentuées.

Bien que les états structuraux soient comparables en 2011, les différences de résistances sont significatives, tout comme en 2010. Le gradient de variation est toujours le même, c'est-à-dire que les résistances diminuent des TCS (T1-T2) aux labours (T3-T4) (Fig. 4.10a). Cette tendance réductrice de la résistance du sol par le labour, en lien avec l'augmentation de la méso et de la macroporosité, est bien connue (Tamia *et al.*, 1999). Les valeurs élevées des résistances du sol sous TCS sont sans doute en partie dues au fait que leur impact n'est pas homogène sur les lignes de mesure. De plus, la largeur du sol remanié par les TCS est probablement plus réduite que la surface de mesures (25 cm x 25 cm, § 4.2.5.2). Dans tous les cas, les résultats de 2012 renseignent que l'effet de la modalité du travail sol est limité dans le temps, le sol se recompactant sous l'impact des pluies. En effet, les mesures de 2012 ayant été réalisées plus tardivement après la préparation du sol, soit après 685 mm de pluies contre 176 mm en 2010 et 127 mm en 2011, ne montrent aucune différence entre les modalités de travail du sol. De plus, les valeurs de 2012 pour l'horizon de surface sont plus élevées que celles des années antérieures

4.4 Discussion générale

et se rapprochent aussi de celles de l'horizon inférieur non remanié. Le caractère temporaire des effets sur le sol n'est pas étonnant au regard des faibles quantités de compost incorporées (2 t ha^{-1} en une seule fois). Obi & Ebo (1995) ont dû apporter 10 t ha^{-1} de fumure organique pendant trois ans, hissant ainsi le taux de la matière organique du sol à 1,63% (0,91% pour le témoin), afin de permettre au sol, même labouré, de résister à la compaction en gardant des résistances plus faibles.

Sur la stabilité structurale, les mesures faites en 2011 (à 35 JAS) confirment un avantage significatif des TCS (T1-T2) par rapport au labour avec épandage en bande ou à la volée de la fumure (Fig. 4.9). Avec 2 t ha^{-1} , la stabilité structurale atteint le niveau le plus élevé avec la modalité T2. Par contre, le niveau de stabilité ne varie pas sensiblement avec les labours, quelle que soit la dose de compost. Ces résultats corroborent plusieurs études antérieures (Barthès *et al.*, 1998, Dominy & Haynes, 2002 ; Daraghmech *et al.*, 2009 ; Gwensi *et al.*, 2009). L'amélioration de la stabilité structurale par les TCS repose sur celle de la teneur en COS, ces deux variables étant positivement corrélées (Haynes, 2000 ; Annabi, 2005 ; Gwensi *et al.*, 2009). Les TCS permettent une meilleure valorisation du compost dont les composés organiques libérés agissent directement sur la macroagrégation, et indirectement sur la microagrégation en stimulant l'activité microbienne et la production des substances agrégeantes (Six *et al.*, 2000). Par ailleurs, le prélèvement des agrégats sur les lignes de semis a probablement contribué à accentuer l'effet positif des TCS. Par contre, le labour n'a eu aucun effet sur la stabilité du sol même pour la dose élevée de compost et même en cas d'épandage en bande (T3). Cela peut s'expliquer par le fait qu'il est difficile d'augmenter sensiblement la teneur en COS avec un seul apport 1 à 4 t ha^{-1} de fumure, surtout que le compost apporté sous labour T4 est non seulement dispersé par l'épandage à la volée mais aussi dilué dans un volume de terre remaniée plus importante (que pour T1, T2). Dans le cas particulier du labour

T3, le compost en bande a été enfoui trop profondément sachant que les agrégats ont été prélevés dans la couche superficielle 0-5 cm.

Avec une meilleure stabilité structurale, les TCS devraient logiquement produire une infiltration tout au moins égale à celle des labours. Mais les résultats de l'infiltration à 10 JAS contredisent cette attente, à cause probablement de la faible profondeur de travail du sol sous TCS (Arvidsson *et al.*, 2013). Cette faible profondeur de travail laisse un horizon plus compact sous la croûte, surtout que les TCS n'étaient qu'à la première année de mise en œuvre sur la parcelle. Annabi (2005) a aussi remarqué l'absence de relation significative entre le taux d'infiltration et la stabilité structurale d'un sol limoneux amendé avec du compost. Et pourtant, les conclusions antérieures sur l'infiltration sont largement favorables aux TCS (Thierfelder *et al.*, 2005 ; Thierfelder *et al.*, 2013 ; Singh *et al.*, 2014). Ces conclusions s'appuient sur une accumulation du COS, la condition première à l'intensification de l'activité biologique qui crée la connexion des macropores (Strudley, 2008). Nos résultats, qui indiquent une infiltration meilleure en labour, du moins temporairement, s'accordent en revanche avec ceux obtenus par Ouattara *et al.* (2007b). Cela s'explique par l'augmentation de la porosité du sol via l'action mécanique du labour. Cependant, cet effet mécanique n'est pas durable sous l'effet des pluies à cause de la faible stabilité structurale. Ainsi, à 30 JAS les différences entre modalités sont quasi-inexistantes.

Les TCS et les caractéristiques chimiques du sol

Les variations positives de COS, N et pH_{eau} mesurées sur la parcelle 1 (Tab. 4.11) s'expliquent vraisemblablement par le cumul des deux apports et le fait que l'échantillonnage ait été réalisé au terme de la culture du coton, donc dans l'année d'application de la fumure. Bien que les différences ne soient pas significatives, on peut cependant remarquer que la variation de la teneur en COS et N de cette parcelle 1 tend à baisser inversement à l'augmentation de

4.4 Discussion générale

la dose de compost. Selon Ouédraogo *et al.* (2007), qui ont fait des constats similaires en zone soudano-sahélienne, l'augmentation de la dose de compost stimule l'activité biologique, ce qui induit une plus forte minéralisation de la matière organique du sol. A l'exception de la dose de 4 t ha⁻¹, les variations du taux de COS sur la parcelle 2 sont négatives (Tab. 4.14). Cela pourrait résulter du fait qu'une seule application de la fumure y a été faite et que les échantillons de sol ont été prélevés au terme de la culture du maïs, soit un an et demi après l'application de la fumure. Par contre, on ne peut expliquer la variation exceptionnellement élevée et positive de la teneur en COS à la dose de 4 t ha⁻¹ pour la parcelle 2. En tout état de cause, on ne devait pas s'attendre à des variations très nettes du COS en seulement trois années, vu que les doses de compost sont faibles. Les variations négatives du COS et N dans la deuxième parcelle pour les doses de 1 et 2 t ha⁻¹ de compost, indiquent clairement qu'à court terme ces doses sont insuffisantes pour compenser les pertes de COS dans la rotation coton-maïs. C'est aussi le cas du P Bray I, dont le déficit s'accroît avec le cycle coton-maïs-coton. Ceci n'est pas étonnant puisque les fumures étaient déficitaires en P par rapport aux doses habituellement recommandées. Pour avoir un bilan positif en P, Koulibaly *et al.* (2009) ont dû ajouter pendant deux années des engrais minéraux (44 N, 34,5 P₂O₅, 21 K₂O, 9 S et 1,5 B₂O₃) à 6 t ha⁻¹ de compost appliqué en première année.

Les effets des modalités de travail du sol sur les caractéristiques du sol sont perceptibles sur le COS, le N et le pH_{eau}. Cependant, les variations des différentes caractéristiques à la fin des essais sont encore modestes. Ce constat corrobore les résultats de Ouattara (2007) qui n'a observé aucun changement des teneurs en COS et en N sur un Lixisol, bien que les doses de compost (5 t ha⁻¹) fussent plus élevées. Le faible niveau de variation des paramètres chimiques s'explique donc par la courte durée de nos essais et les faibles quantités de fumure organique. Par ailleurs Brouder & Gomez-Macpherson (2014) renseignent que l'amélioration du COS et des nutriments sous TCS ne

deviennent sensibles qu'après trois ans. Dans le même sens, Alvarez (2005) a démontré que l'accumulation du COS sous TCS requiert 10 ans et suit une courbe en S, en fonction du temps, qui atteint un niveau stable après 25 - 30 ans.

Toutefois, il convient de souligner que les tendances des TCS (T1-T2) sont contrastées. Contre toute attente, la teneur en COS du pseudo-labour T1 est non seulement inférieure à celle du labour avec épandage à la volée T4 mais présente une variation négative entre le début et la fin des cycles des cultures. Ce constat ne s'accorde pas avec la tendance généralement observée qui donne une différence significative du COS en faveur des TCS (Salinas-Garcia *et al.*, 1997 ; Barthès *et al.*, 1998 ; Wright *et al.*, 2008 ; Gwensi *et al.*, 2009 ; Busari *et al.*, 2015 ; Hati *et al.*, 2015 ; Prasad *et al.*, 2016). Cette exception pourrait cependant s'expliquer par le non-recouvrement de la fumure organique, ce qui a pu entraîner des pertes de fumure suite à sa mise en suspension par les eaux de pluies lors des fortes averses en début de saison.

En outre, les évolutions positives (COS, N, pH_{eau}) sont encore plus notables dans l'horizon de profondeur (10-20 cm) en raison de l'opération de buttage qui a dû contribuer à redistribuer la fumure dans le profil cultural. En effet, les billons résiduels, où les sols ont été prélevés, sont hauts d'environ 10 cm et formés par l'assemblage (sur les lignes des semis) de la terre issue des interlignes. Cela pourrait avoir contribué à atténuer la dispersion de la fumure à la volée (T4) et conséquemment la différence de teneur avec les TCS. Par contre, pour les modes d'épandage en bande, la zone initiale de dépôt du compost se retrouve encore plus en profondeur suite au buttage.

4.5 Conclusion

Cette étude avait pour objet d'évaluer l'effet de la fertilisation organique et du travail du sol sur des propriétés physico-chimiques du sol. Il ressort que les TCS produisent un lit de semences légèrement plus grossier et une résistance mécanique plus élevée que le labour. En conséquence, le labour favorise l'infiltration à 10 JAS mais seulement de manière temporaire. Sous l'impact des pluies, l'infiltrabilité des sols évolue rapidement pour atteindre des niveaux comparables pour toutes les modalités de travail du sol 30 JAS. L'action des TCS se traduit par une amélioration de la stabilité structurale du sol, qui par contre ne varie pas sensiblement sous labour quels que soient la dose et le mode d'épandage du compost. Le recouvrement de la fumure organique en bande permet d'accroître son effet sur la stabilité structurale du sol. Même à une dose plus réduite de compost, le pseudo-labour T2 est plus efficace pour améliorer la stabilité structurale que le labour avec épandage à la volée d'une plus grande dose de compost. Le recouvrement de la fumure en bande semble aussi contribuer à améliorer l'état chimique du sol (COS, N, pH_{eau}). Par leurs effets positifs, même modérés, sur la stabilité structurale et le statut chimique du sol les TCS peuvent être une alternative pour atténuer l'effet dégradant du labour. Mais ces effets se traduisent-ils en avantage sur la productivité des cultures ? Telle sera la préoccupation du chapitre 5.

Chapitre 5: Effet combiné du travail réduit du sol et de l'épandage en ligne de la fumure organique sur la productivité d'un système de culture coton-maïs

5.1 Introduction

La région semi-aride africaine présente l'un des gaps de rendement les plus élevés, soit 760 kg de fibres /ha contre 230 kg de fibres /ha en Amérique du Nord (Hengsdijk & Langeveld, 2009). Au BFA, le rendement moyen national de coton-graine sur ces trois dernières décennies évolue en dent de scie en dessous d'une tonne par hectare. C'est dire que cette région africaine est confrontée au défi majeur de l'accroissement durable des rendements dans un contexte cependant marqué par la dégradation des sols, la variabilité pluviométrique et la faible disponibilité des ressources.

En effet, la dégradation des sols, sous forme d'altération physique, d'appauvrissement chimique et d'acidification des sols, est encore aggravée par la chute brutale du taux de COS, l'impact des pluies, les pratiques du LC mécanisé et la fertilisation minérale (Roose, 1985 ; Valentin & Casenave, 1989 ; Ludwig, 2000, Hauchart, 2005 ; Lesschen *et al.*, 2007 ; Koulibaly, 2011). Par ailleurs, des études relatives à l'évolution de la fertilité des sols à long terme (32 à 45 ans) indiquent que les amendements organiques sont indispensables pour le maintien des rendements agricoles, même pour les systèmes à forte dose d'engrais minéraux (Sedogo, 1993 ; Agbenin & Goladi, 1997). Cependant, les agriculteurs des régions cotonnières du BFA font face à une insuffisance des quantités de fumures organiques (moins de 2 t / an pour 8,7 ha ; Chap. 3, Fig. 3.3), qui sont très largement inférieures aux doses recommandées de 5 à 10 t ha⁻¹ tous les 3 ans (CILSS, 2012).

5.1 Introduction

En outre, les rendements agricoles en culture pluviale sont négativement affectés par la disponibilité limitée en eau, étant donné le caractère erratique de la pluviométrie de cette région. En effet, des relations étroites ont été établies entre les rendements du cotonnier et la longueur de la saison culturale (Blanc *et al.*, 2008 ; Sultan *et al.*, 2010 ; Ripoché *et al.*, 2015 ; Constable & Bange, 2015). Par exemple, Ripoché *et al.* (2015) ont démontré que lorsque la saison des pluies dure moins de 118 jours, le rendement en coton-graine décroît de $65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$.

Il devient alors impératif pour les agriculteurs de réussir la préparation du sol et les semis dans les délais. Au BFA par exemple, il est conseillé de semer le coton avant le 20 juin (Dakouo *et al.*, 1995). Mais la réalité au cours de ces dernières années est qu'avec les retards de pluies, les techniciens encouragent parfois les agriculteurs à semer jusqu'au 20 juillet en comptant sur une fin tardive de la saison des pluies. Le non-respect des délais de semis résulte de la faiblesse physique des animaux de trait en début de saison culturale, de l'humidité insuffisante du sol en relation avec l'irrégularité des pluies, de la faible infiltrabilité des sols et du fort pouvoir évaporant de l'air. C'est ainsi qu'on constate actuellement une expansion croissante des TCS comme une réaction paysanne à la variabilité pluviométrique en vue de gagner du temps et de semer dans les délais. La pratique des TCS est aussi une alternative à la cherté de la location et/ou à l'indisponibilité des tracteurs pour le LC. Ce remplacement du LC par les TCS semble par ailleurs positif dans la mesure où le LC est de plus en plus remis en cause pour ses effets négatifs sur le maintien des stocks du COS (Lal & Kimble, 1999 ; Resck *et al.*, 1999) et sur l'érosion hydrique du sol (Barthès & Roose, 2002 ; Alliaume *et al.*, 2014).

De plus, les TCS semblent favorables à une amélioration de la productivité selon une analyse sur les publications faites entre 1976 et 2013 et couvrant l'Afrique subsaharienne (Brouder & Gomez-Macpherson, 2014). Il ressort que

Chapitre 5: Effet du travail réduit du sol et de la fumure sur la productivité.

le gain de rendement en maïs-grain entre ZL et LC est de $0,16 \pm 1,01 \text{ t ha}^{-1}$ après 1 à 2 années d'essai, et de $0,50 \pm 0,96 \text{ t ha}^{-1}$ à partir de 3 ans. Dans la savane camerounaise où les systèmes cotonniers sont proches de ceux du BFA, le ZL avec ou sans mulch a été évaluée (Naudin *et al.*, 2010). Il ressort que la biomasse du sorgho et du maïs est doublée. Les rendements en coton-graine sont plus bas avec le LC (-12%) et le zéro-labour sans mulch (-24%) comparés au ZL avec mulch. Au BFA, les effets des pratiques d'agriculture de conservation dans les systèmes cotonniers sont encore peu documentés en dépit des travaux réalisés par Ouattara (2007). Ce dernier a obtenu des rendements en coton-graine équivalents entre le grattage manuel à la houe et le LC associés à une fertilisation organo-minérale identique.

Compte tenu de ce qui précède, les TCS pourraient donc constituer une réponse adéquate non seulement aux contraintes climatiques et énergétiques, mais aussi à la dégradation des sols associée au labour (cf. Chap. 4 ; § 5.1). Les TCS offrent par ailleurs une autre opportunité, à savoir l'épandage localisé de la fumure organique. En effet, l'épandage à la volée de la fumure organique, couramment associée au labour, accentue la dilution des doses de fumures. Ceci est problématique dans la mesure où cette ressource est disponible en quantité largement insuffisante (Kestemont, 2009). La localisation de la fumure organique dans les lignes de semis peut permettre de concentrer les nutriments autour des plants, d'accroître l'efficacité de l'utilisation des nutriments libérés et ainsi de réduire les quantités exigées, à l'instar du zaï pratiqué en zone sahélienne (Sawadogo *et al.*, 2008)

La présente étude repose donc sur l'hypothèse que les TCS combinées à une application localisée de la fumure organique pourraient permettre une réduction de la dose nécessaire de fumure organique tout en améliorant la productivité des sols, et cela sans nuire à leur qualité. En effet, la première partie de cette étude a montré que les TCS permettent une meilleure

valorisation de la fumure en augmentant significativement la stabilité structurale du sol par rapport au LC (cf. Chap 4, § 4.3.3). Cependant, l'amélioration des paramètres chimiques tels que le COS, N et pH_{eau} reste modérée à cause de la durée réduite des essais (Chap. 4 ; § 4.3.5). Dans cette deuxième partie, l'objectif est d'évaluer les effets de travail du sol et du mode de gestion du compost sur les rendements des cultures.

5.2 Matériels et méthodes

5.2.1 Description du site expérimental

Les essais agronomiques ont été conduits de 2010 à 2012 à la station expérimentale de l'INERA / Farako-Bâ (Chap. 4 ; Fig. 4.1). Le climat est soudanien avec deux saisons contrastées, humide (mi-mai à octobre) et sèche. La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1000 mm. La température mensuelle minimale est relevée en décembre (11,8°C) et la maximale en mars (38,3°C). La vitesse du vent décroît de mai (25,8 km/h) à octobre (10,8 km/h). Les caractéristiques pédologiques du site sont présentées au chapitre 4 (Tab. 4.1 ; 4.2).

5.2.2 Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été présenté au chapitre 4 (Fig. 4.2). C'est un dispositif bi-factoriel en strip-plot mettant en comparaison trois doses de compost (facteur bloc) et quatre techniques de travail du sol (facteur sous-bloc) dans quatre répétitions. Pour les besoins de la rotation, le dispositif a été dupliqué dans deux parcelles adjacentes occupées respectivement par un cycle coton-maïs-coton (2010, 2011 et 2012) et un cycle coton-maïs (2011 et 2012).

5.2.3 Les traitements mis en comparaison

5.2.3.1 La dose de fumure organique

Pour rappel, la dose du compost en « facteur bloc » comporte trois niveaux :

- Dose n°1 (D1) = 1000 kg ha⁻¹ tous les 2 ans
- Dose n°2 (D2) = 2000 kg ha⁻¹ tous les 2 ans
- Dose n°3 (D3) = 4000 kg ha⁻¹ tous les 2 ans

L'apport de compost a été fait préalablement au semis du coton, en 2010 et 2012 sur la parcelle n°1, et 2011 sur la parcelle n°2. Le Tab. 4.3 du chapitre 4 détaille les caractéristiques du compost.

5.2.3.2. Les techniques de préparation

Trois techniques de préparation du sol ont été comparées au labour conventionnel (Chap. 4 ; Fig. 4.3 ; Fig. 4.4) :

- **T1**: ouverture des sillons / raies à la houe Manga, suivi de l'épandage du compost dans la raie ouverte qui servira de ligne de semis. Il n'y a pas d'enfouissement de la fumure.
- **T2**: ouverture des sillons / raies, puis épandage du compost dans la raie ouverte et enfin décompactage des interlignes à la houe Manga. Cette deuxième opération permet un enfouissement partiel de la fumure.
- **T3**: ouverture des sillons / raies à la houe Manga suivi de l'épandage localisé du compost dans la raie et d'un labour à la charrue à soc en humide sur l'entièreté de la surface.
- **T4**: technique conventionnelle de labour à la charrue à soc sur l'entièreté de la surface après épandage du compost à la volée.

5.2.4 *La conduite culturale*

Pour les besoins de comparaison, les semis sont réalisés à la même date pour tous les traitements pour une année donnée. Le détail des opérations culturales a été donné au chapitre 4 (Tab. 4.4).

5.2.5 *Collecte des données climatiques*

Les données pluviométriques ont été collectées sur le site expérimental à l'aide d'un pluviomètre enregistreur (Fig. 5.1).

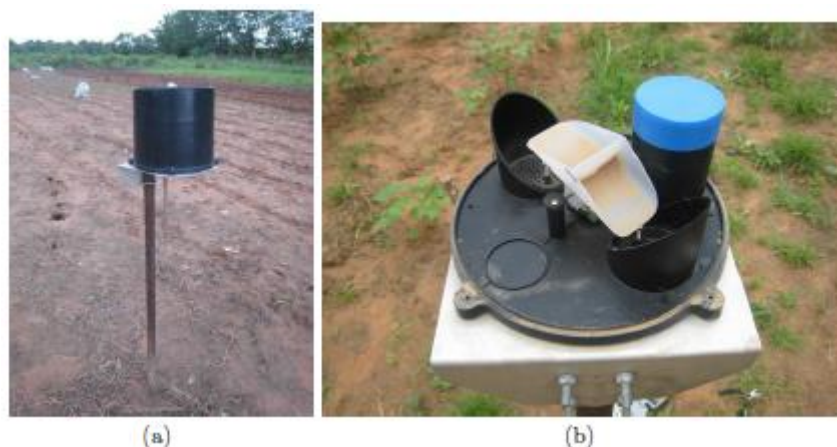


Figure 5.1 : Pluviomètre automatisé de type auget basculeur installé dans la parcelle expérimentale. (a) vision extérieure, (b) vision intérieure. (photos de R. Drion, juillet 2011)

Les autres paramètres climatiques (température, vent) ont été obtenus grâce à la station météorologique existante de la station. Ces paramètres, tout comme la pluviométrie, y sont relevés manuellement au quotidien.

5.2.6 Collecte des données sur le cotonnier

5.2.6.1 Etat hydrique du sol

La réserve en eau utile (REU) de la zone racinaire a été déterminée par la méthode gravimétrique. Les mesures de la REU débutent avec les premiers semis en 2010 et 2011, et après l'installation des cultures (50 jours après le 1^{er} semis) en 2012. La fin des mesures intervient au moment où le sol devient dur, voir trop friable pour le prélèvement.

Tous les 7 à 15 jours, deux kopeckis par profondeur (5 cm, 15 cm, 25 cm) sont prélevés sur les lignes des parcelles labourées à dose intermédiaire de fertilisation (T4D2).

Le poids de l'eau (P_{eau} [g]) correspond à la différence entre le poids frais ($P_{sol\ frais}$ [g]) et le poids sec ($P_{sol\ sec}$ [g]) du sol après un passage à l'étuve à 105 °C pendant au minimum 24 heures. La teneur en eau volumique (θ_v [-]) est alors calculée selon l'équation 5.1 :

$$\theta_v = \frac{P_{sol\ frais} - P_{sol\ sec}}{V_{total} \cdot \rho_w} \cdot 100 \quad (Eq. 5.1)$$

où ρ_w est égale à la densité de l'eau (1 g/cm³)

Le stock d'eau S [mm] du sol (0-25 cm) est obtenu par l'intégration des humidités volumiques en fonction de la profondeur Z_i [mm] par la méthode des trapèzes (Eq. 5.2).

$$S = \theta_1 \cdot z_1 + \sum_{i=2}^n \left(\frac{\theta_{i-1} + \theta_i}{2} \right) \cdot (z_i - z_{i-1}) \quad Z_i = 5, 15, 25\text{ cm}$$
$$REU = \sum_{i=1}^n S_i - ((z_i - z_{i-1}) \cdot \theta_{4.2}) \quad (Eq. 5.2)$$

Où $\theta_{4.2}$ est la teneur en eau volumique à pF 4.2.

5.2 Matériels et méthodes

La réserve en eau utile REU [mm] est déduite en faisant la différence entre le stock d'eau du sol S et le stock d'eau du sol au point de flétrissement (pF 4.2). Au cas où le sol est trop sec et que sa teneur en eau est inférieure à la teneur en eau au point de flétrissement, la REU est bornée à zéro au lieu de prendre des valeurs négatives. La teneur en eau volumique la parcelle à pF 4.2 ($0,06 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$) a été déterminée à l'aide du dispositif des chambres à "hautes pressions" (Drion, 2012).

5.2.6.2 Taux de levée des semis

Le nombre de poquets levés est compté dans chaque parcelle utile à 7 jours après semis (JAS) afin de décider s'il faut ou non faire des resemis. En 2010, seules les parcelles à dose de fumure intermédiaire ont été concernées.

5.2.6.3 Densité des plants

La densité des plants est obtenue par un comptage du nombre de plants de chaque parcelle utile lors de la récolte.

5.2.6.4 Croissance végétative et niveau de floraison

En 2010 et 2011, la hauteur (h) a été mesurée à plusieurs périodes (t) sur 20 plants identifiés dans chacune des 48 parcelles. La moyenne des vingt mesures est calculée par parcelle à chaque période t . Enfin, pour chaque parcelle, la courbe de croissance $h(t)$ est paramétrée selon une fonction logistique décrivant la dynamique sigmoïdale de la croissance végétale (Verhulst, 1838) (Eq. 5.3).

$$h(t) = \frac{h_{\max}}{1 + \exp(-k(tm - t))} \quad (Eq. 5.3)$$

où $h(t)$ [cm] est la hauteur à la période $t = 30, 40, 50, 60, 70, 80$ JAS et à la récolte;

$h_{\max}$ [cm] est la hauteur maximale (asymptote) du cotonnier ;

t_m [JAS] est l'abscisse au point d'inflexion de la courbe de croissance, c'est-à-dire la date moyenne à laquelle la courbe de croissance a atteint la moitié du maximum ($h_{\max}/2$). Une valeur forte de t_m indique un développement tardif du cotonnier. Le paramètre k décrit la pente de la courbe de croissance et traduit la vitesse de croissance de la plante.

En plus, le niveau moyen de floraison (NMF) a été évalué à 70 JAS en s'inspirant de la méthode du diagnostic foliaire standard (DF/IRCT) (Braud, 1987). Les niveaux de la branche fructifère (1 à n) portant une fleur du jour sur le premier nœud sont relevés sur 25 plants par parcelle, puis le NMF est calculé selon l'Eq. 5.4.

$$NMF = \frac{\sum_i i * Nb \text{ fleurs}_i}{Nb \text{ fleurs}_{total}} \quad (Eq. 5.4)$$

Avec :

- $i = 1$ à n : numéro de position de la branche fructifère
- $Nb \text{ fleurs}_i$: nombre de fleurs sur la $i^{ème}$ branche fructifère
- $Nb \text{ fleurs}_{total}$: nombre de fleurs comptées dans la parcelle utile

5.2.6.5 Profils racinaires du cotonnier à la floraison

L'observation du profil racinaire à la floraison (à 80 JAS) a consisté en la mesure de la profondeur de la racine pivotante (du collet à l'extrémité apicale) selon la méthode du profil cultural (Henin, 1969). L'ouverture d'une fosse perpendiculaire aux lignes de semis et large de 40 cm de part et d'autre du

5.2 Matériels et méthodes

collet, a en outre permis d'observer la distribution des racines secondaires avec des mailles de 5 cm x 5 cm (Tardieu, 1988) sur 3 plants dans les 48 parcelles.

Pour chaque profil ainsi décrit, la distribution verticale $D(z)$ et horizontale $D(x)$ des racines, a été paramétrée selon une fonction exponentielle décroissante (Eq. 5.5) utilisée par Drion (2012).

$$D(z) = D_{z0} \cdot \exp(-\alpha_z \cdot z)$$

$$D(x) = D_{x0} \cdot \exp(-\alpha_x \cdot x) \quad (\text{Eq. 5.5})$$

où $D(z)$ ou $D(x)$ est le nombre de racines à la profondeur (z) ou à la distance (x) par rapport au collet. D_{z0} (D_{x0}) est le nombre de racines au pied du collet tandis que α_z (α_x) est le paramètre de courbure de la fonction, indiquant l'intensité de la diminution des racines lorsque l'on s'éloigne du collet.

Etant donné que les deux paramètres α et D_0 sont corrélés, le nombre de racines a été normalisé par rapport à la surface (ou par rapport au niveau du pied). Pour cela, le nombre de racines observées dans la couche 0-5 cm a été fixé comme un maximum de 100 %, et le nombre de racines des autres couches a été traduit en pourcentage par rapport au nombre d'impacts racinaires observés dans cette première couche.

5.2.6.6 Rendement

Le rendement du cotonnier est exprimé en masse de coton-graine et de matière sèche aérienne (MSA) et en production (nombre) de capsules évaluées à l'échelle de la parcelle utile.

5.2.7 Collecte des données sur le maïs

Les paramètres du maïs ayant fait l'objet de suivis sont le taux de levée des semis à 7 JAS, la densité de plants à la récolte et le rendement (grain et MSA). Les données de ces paramètres ont été collectées selon les mêmes méthodes précédemment décrites sur le cotonnier.

5.2.8 Analyse des données

Les données ont été soumises au test de l'ANOVA type II par la procédure GLM (Generalized Linear Model), suivi d'une comparaison des moyennes (test de Tukey). La normalité de la distribution des résidus est analysée par le test de Shapiro puis vérifiée par les graphes. Ces analyses sont faites à l'aide du logiciel R version 3 (R Development Core Team, 2012).

5.3 Résultats

5.3.1 Conditions hydriques lors des essais

Le nombre de jours de pluies utiles, du 1^{er} semis à la récolte, est peu variable entre les trois années (Tab. 5.1). L'année 2010 présente une quantité de pluies utiles plus importantes et réparties sur une période relativement plus longue (Fig. 5.2). Par rapport à 2010, le cumul des pluies utiles en 2011 est réduit de -32%. En réalité, la quantité de pluies en 2012 peut être considérée comme étant la plus faible étant donné le retard de mise en place de la végétation après 3 resemis. A partir donc de la date du quatrième semis, la quantité de pluies utiles en 2012 est de 463 mm (en 41 jours), soit -47% par rapport à celle de 2010.

5.3 Résultats

Par ailleurs, l'année 2010 présente une meilleure répartition des pluies au cours de la phase de culture (Fig. 5.2).

Tableau 5.1: quantité de pluies utiles et nombre de jours de pluies enregistrés sur la parcelle expérimentale.

Pluviométrie	2010	2011	2012
Pluies utiles (mm)	870	594	798
Nombre de jours de pluies utiles	55	53	51

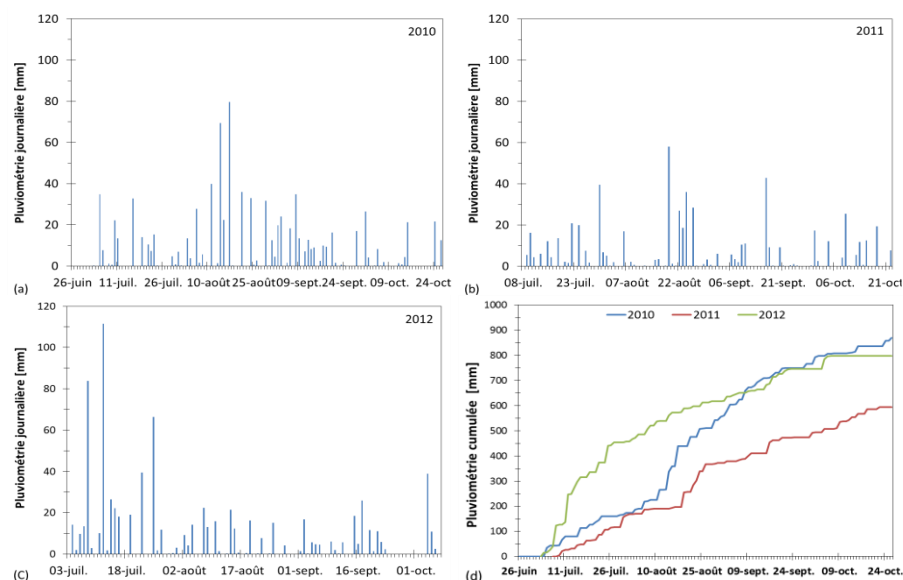


Figure 5.2: Pluviométrie enregistrée à la parcelle expérimentale à partir de la date de semis : pluies journalières de 2010 (a), 2011 (b), 2012 (c) et pluies cumulées des trois années (d).

On note particulièrement en 2012 quatre évènements pluvieux importants (39 à 111 mm) en début de saison au moment où le sol est encore nu. En conséquence, il est possible que les fumures déposées dans les raies non recouvertes (T1) aient été mises en suspension et éventuellement dispersées par les eaux de ruissellement.

L'évolution de la réserve en eau utile (REU) du sol au cours de la phase de culture (Fig. 5.3) est mise en parallèle avec la pluviométrie cumulée entre deux périodes de prise de l'humidité du sol. La REU étant influencée par l'apport des pluies, les prélèvements de la plante et l'évaporation, elle est plus faible en début et en fin de saison des pluies.

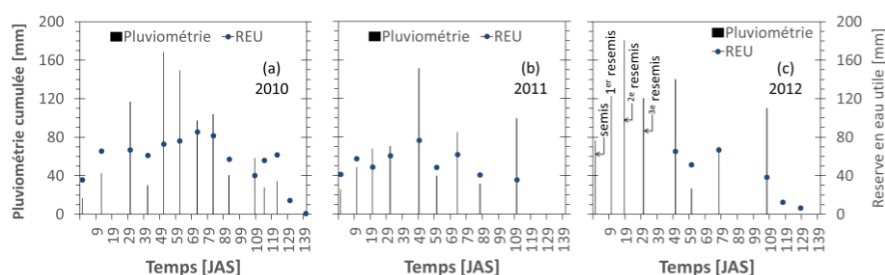


Figure 5.3 : Evolution de la réserve en eau utile (0-25 cm) de la parcelle et pluviométrie cumulée entre deux périodes d'observation : (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012.

La REU maximale sur les premiers 25 cm du sol est de 85 mm, 76 mm et 67 mm en 2010, 2011 et 2012 respectivement. En 2010, elle a été atteinte à 72 JAS, correspondant à la période de floraison optimale du cotonnier alors qu'à cette même phase végétative, la REU a été de 62 mm (à 73 JAS) en 2011 et seulement 38 mm (à 107 JAS) en 2012. Pour 2012, la REU chute à moins de 20 mm à partir de 117 JAS pendant la phase de formation des capsules. A cette même phase, la REU est supérieure à 70 mm pour les années 2010 et 2011. C'est-dire qu'en 2012, les conditions hydriques ont été particulièrement limitantes pour la plante, à cause du décalage de la date de semis.

5.3.2. Effet des traitements sur le cotonnier

5.3.2.1. Levée des semis

Les taux de levée, mesurés avant resemis en 2010 et 2011 et après le troisième resemis en 2012 déterminent l'ampleur des resemis et la suite des opérations culturales. Les moyennes du taux de levée sont renseignées pour 2011 et 2012 (Tab. 5.2a), les observations ayant porté seulement sur les parcelles à dose de fumure intermédiaire (2 t ha^{-1}) en 2010. La dose de compost impacte la levée de semis de manière très significative en 2011 ($p = 0,005$; HSD = 7,57 %) mais pas en 2012 ($p = 0,534$). En 2011, le taux de levée obtenu à la dose de 4 t ha^{-1} est de tendance supérieure à celui des doses inférieures (Tab. 5.2a).

Quant au travail du sol (Tab. 5.2b), l'effet est significatif en 2011 ($p = 0,005$; HSD = 9,6%) contrairement à 2010 ($p = 0,459$) et 2012 ($p = 0,965$).

En 2011, le pseudo-labour T1 présente un taux de levée inférieur à celui des trois autres modalités (T2, T3 et T4) qui sont équivalentes.

Tableau 5.2a: Taux de levée (moyenne et erreur standard) en fonction de la dose de compost en 2011 et 2012. Une lettre identique indique des moyennes équivalentes.

Année	Taux de levée (%)			p valeur
	1 t ha^{-1}	2 t ha^{-1}	4 t ha^{-1}	
2010	Non mesuré	$80,4 \pm 3,47$	Non mesuré	
2011	$76,6^{ab} \pm 2,19$	$71,2^b \pm 2,19$	$79,6^a \pm 2,19$	0,005**
2012	$71,3^a \pm 4,19$	$76,3^a \pm 4,19$	$69,9^a \pm 4,19$	0,534

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

Tableau 5.2b: Taux de levée (moyenne $\pm$ erreur standard) en fonction de la modalité de travail du sol en 2010, 2011 et 2012. Une lettre identique indique des moyennes équivalentes.

Année	T1	T2	T3	T4	Moyenne annuelle	Pluies* (mm)	p valeur
2010 [#]	81,9 ^a $\pm$ 6,8	86,8 ^a $\pm$ 6,8	80,4 ^a $\pm$ 6,8	69,7 ^a $\pm$ 7,8	80	0	0,459
2011	66,5 ^b $\pm$ 2,5	72,6 ^a $\pm$ 2,5	79,3 ^a $\pm$ 2,5	76,7 ^a $\pm$ 2,5	74	44	0,005**
2012	72,8 ^a $\pm$ 4,8	74,1 ^a $\pm$ 4,8	72,6 ^a $\pm$ 4,8	70,6 ^a $\pm$ 4,8	72	83	0,965

* quantités de pluies entre 0 et 7 JAS

[#] moyenne sur la dose de fumure D2 uniquement

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

Pour les autres années où l'effet n'est pas significatif, la moyenne du taux de levée a tendance à augmenter du labour (T4) au pseudo-labour T2.

Enfin, on remarque que la moyenne annuelle du taux de levée a tendance à baisser inversement à l'augmentation de la quantité de pluies tombées au cours des 7 JAS. Il faut noter que les analyses statistiques n'ont pas révélé d'interaction significative entre la dose de compost et le travail du sol.

5.3.2.2. Effet des traitements sur la croissance aérienne

La croissance végétative est analysée à travers la courbure de la croissance (k) au point d'inflexion, la durée du demi-temps de la croissance végétative (tm), la hauteur maximale ($hmax$) des cotonniers à la récolte et le niveau moyen de floraison (NMF) (Tab. 5.3a ; 5.3b). Le paramètre de courbure k est affecté par la dose de compost en 2010 ($p < 0,001$, HSD = 0,0045). A la dose de 2 t ha⁻¹ de compost, on a la plus forte pente, indiquant ainsi une croissance végétative plus rapide qu'avec les autres doses (1 et 4 t ha⁻¹) dont les allures sont identiques. Cependant, cette différence semble être sans conséquence puisque le nombre de jours pour assurer la moitié de leurs hauteurs maximales respectives est comparable entre les doses (Tab. 5.3a). En revanche, en 2011,

5.3 Résultats

ce demi-temps de croissance varie entre les doses ($p < 0,001$; HSD = 2,7 jours). La dose de 4 t ha^{-1} permet une réduction significative de 2 à 5 jours par rapport aux doses inférieures. Mais la hauteur maximale des plants, en 2011 comme en 2010, n'est pas significativement affectée par la dose, puisque la croissance continue du cotonnier (même ralentie dans la phase de fructification) favorise un phénomène de rattrapage entre les traitements. D'ailleurs, il en est de même pour les modalités de travail du sol pour lesquelles les hauteurs à la récolte ne diffèrent pas significativement.

Tableau 5.3a: Effet de la dose de compost sur les paramètres de croissance du cotonnier : courbure k au point d'inflexion de la croissance, demi-temps tm de la croissance, la hauteur maximale et le niveau moyen de floraison à 70 JAS

Paramètres	année	1 t ha ⁻¹	2 t ha ⁻¹	4 t ha ⁻¹	p valeur
k : [-]	2010	0,063 ^b ± 0,0013	0,068 ^a ± 0,0013	0,061 ^b ± 0,0012	< 0,001***
	2011	0,068 ^a ± 0,0017	0,073 ^a ± 0,0016	0,074 ^a ± 0,0022	0,291
tm [jours]	2010	50,5 ^a ± 1,1	50,5 ^a ± 0,8	50,4 ^a ± 0,9	0,986
	2011	56,7 ^a ± 0,7	54,6 ^a ± 0,7	51,5 ^b ± 1,0	< 0,001***
Hauteur maximale [cm]	2010	82,2 ^a ± 6,0	92,1 ^a ± 4,6	94,5 ^a ± 5,0	0,728
	2011	118,9 ^a ± 3,8	121,8 ^a ± 3,8	124,7 ^a ± 3,7	0,490
Niveau moyen de floraison	2010	3,19 ^a ± 0,15	3,01 ^a ± 0,13	3,30 ^a ± 0,15	0,241
	2011	3,39 ^b ± 0,14	3,54 ^b ± 0,14	4,35 ^a ± 0,15	< 0,001***

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

Tableau 5.3b : Effet de la modalité de travail du sol sur la croissance du cotonnier : courbure k au point d'inflexion de la croissance, demi temps tm de la croissance, hauteur maximale et niveau moyen de floraison à 70 JAS.

Paramètre	année	T1	T2	T3	T4	p valeur
k : [-]	2010	0,064 ^a ± 0,0014	0,066 ^a ± 0,0013	0,063 ^a ± 0,0016	0,060 ^a ± 0,0019	0,211
	2011	0,073 ^a ± 0,0019	0,070 ^a ± 0,0020	0,076 ^a ± 0,0026	0,070 ^a ± 0,0020	0,149
tm [jours]	2010	52,0 ^a ± 0,9	50,4 ^a ± 0,9	49,7 ^a ± 1,1	49,1 ^a ± 1,3	0,226
	2011	56,0 ^a ± 0,8	55,9 ^a ± 0,9	52,9 ^{ab} ± 1,2	52,1 ^b ± 0,9	0,004**
Hauteur maximale [cm]	2010	87 ^a ± 5,2	96 ^a ± 5,0	99 ^a ± 6,2	76 ^a ± 7,4	0,174
	2011	122 ^a ± 4,2	123 ^a ± 4,2	126 ^a ± 4,7	116 ^a ± 4,2	0,485
Niveau moyen de floraison	2010	2,77 ^b ± 0,15	3,47 ^a ± 0,15	3,49 ^a ± 0,17	2,95 ^{ab} ± 0,19	0,006**
	2011	3,63 ^a ± 0,16	3,96 ^a ± 0,17	3,81 ^a ± 0,17	3,64 ^a ± 0,17	0,527

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

L'effet du travail du sol n'est pas significatif sur la pente k du point d'inflexion en 2010 ($p = 0,211$) et en 2011 ($p = 0,149$) ainsi que sur le demi-temps de croissance des cotonniers en 2010 ($p = 0,226$). En revanche, le demi-temps varie significativement en 2011 ($p = 0,004$; HSD = 3,4 jours) en s'allongeant du labour T4 (52 jours) au TCS T1 (56 jours).

Pour le NMF à 70 JAS, les analyses n'ont pas révélé de différences significatives entre les doses de compost en 2010 ($p = 0,241$), contrairement à 2011 ($p < 0,001$; HSD = 0,50). En effet, le NMF à la dose de 4 t ha⁻¹ est supérieur à celui des doses inférieures qui, elles, sont équivalentes. Ce NMF élevé à la dose de 4 t ha⁻¹ semble être la suite de la réduction du demi-temps de croissance végétative, indiquant ainsi une précocité relative dans le développement du cotonnier.

Pour sa part, l'effet du travail du sol sur le NMF à 70 JAS apparaît significatif en 2010 ($p = 0,006$, $p = 0,65$), alors qu'en 2011 ($p = 0,527$) les résultats

5.3 Résultats

attestent que les traitements conduisent à des niveaux similaires. Toutefois, quelle que soit l'année, le NMF décroît des modalités T2-T3 aux modalités T1-T4. Enfin, il faut signaler qu'il n'y a pas d'interaction significative entre les traitements pour tous les paramètres de croissance.

5.3.2.3. Effet des traitements sur le développement racinaire

Effet de la dose de compost

De manière générale, le profil racinaire du cotonnier indique une réduction exponentielle du nombre de racines lorsque l'on s'éloigne du collet tant dans le sens vertical qu'horizontal (Fig. 5.4). Par rapport à la couche superficielle (0-5cm), le nombre de racines à la profondeur 5-10 cm du sol est de 40 à 65% selon la dose de compost et l'année (Fig. 5.4.a,b,c). Cette proportion est en dessous de 40% à la profondeur 10-15 cm, où se situe la limite de la couche remaniée par le travail du sol, et à 5% maximum au-delà de 25 cm de profondeur. En somme, l'essentiel des racines latérales se trouve dans les 15 premiers cm du sol. Selon la distribution horizontale (Fig. 5.4 e,d,f), 20 à 40% des racines latérales se situent au-delà de 15 cm du collet.

Profondeur maximale d'enracinement : L'effet de la dose de compost sur la profondeur de la racine pivotante est non significatif en 2010 ($p = 0,095$), mais significatif en 2011 ($p = 0,016$; HSD = 4,6 cm) et 2012 ($p = 0,012$; HSD = 3,5 cm ; Tab. 5.4). Pour ces deux années, les résultats indiquent une tendance à un enracinement plus profond lorsque la dose de compost augmente.

Distribution verticale : La distribution verticale des racines latérales est influencée de manière hautement significative par la dose de compost en 2011 ($p < 0,001$; HSD = 0,041), contrairement à 2010 et 2012 (Tab. 5.4). En 2011, le paramètre de courbure à la dose de 1 t ha⁻¹ est plus faible que celui obtenu

avec les doses supérieures. Cela veut dire que l'augmentation de la dose de compost favorise un développement en surface des racines latérales dont le nombre baisse plus rapidement avec la profondeur.

Distribution horizontale : La distribution horizontale des racines latérales est influencée par la dose de compost de manière hautement significative en 2011 ($p < 0,001$; HSD = 0,023) alors qu'aucun effet n'est observé en 2010 (Tab. 5.4). Ainsi en 2011, la baisse de la dose de compost semble limiter l'extension latérale des racines, qui se concentrent près du collet.

5.3 Résultats

Tableau 5.4: Effet de la dose de compost sur l'enracinement du cotonnier : moyennes $\pm$ erreur standard des paramètres de courbure ou décroissance racines latérales, et profondeur de la racine pivotante. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Paramètres	année	1 t ha ⁻¹	2 t ha ⁻¹	4 t ha ⁻¹	p valeur
Courbure de la distribution verticale [-]	2010	0,1052 ^a $\pm$ 0,0071	0,1046 ^a $\pm$ 0,0059	0,1164 ^a $\pm$ 0,0056	0,363
	2011	0,1298 ^b $\pm$ 0,0020	0,1965 ^a $\pm$ 0,0120	0,2115 ^a $\pm$ 0,0120	< 0,001***
	2012	0,1845 ^a $\pm$ 0,0126	0,1700 ^a $\pm$ 0,0121	0,1892 ^a $\pm$ 0,0126	0,454
Courbure de la distribution horizontale [-]	2010	0,2035 ^a $\pm$ 0,0128	0,1944 ^a $\pm$ 0,0138	0,1957 ^a $\pm$ 0,0128	0,827
	2011	0,1459 ^a $\pm$ 0,0065	0,0848 ^b $\pm$ 0,0065	0,0742 ^b $\pm$ 0,0065	< 0,001***
	2012	0,0751 ^a $\pm$ 0,0066	0,0922 ^a $\pm$ 0,0061	0,0822 ^a $\pm$ 0,0061	0,158
Profondeur de la racine pivotante [cm]	2010	30,4 ^a $\pm$ 1,9	25,6 ^a $\pm$ 1,9	31,4 ^a $\pm$ 1,9	0,095
	2011	36,5 ^b $\pm$ 1,4	41,4 ^a $\pm$ 1,2	42,0 ^a $\pm$ 1,3	0,016*
	2012	38,5 ^b $\pm$ 1,0	39,5 ^{ab} $\pm$ 1,1	42,7 ^a $\pm$ 0,9	0,012*

*, **, *** : signification aux seuils de 5%, 1% et 0,1% respectivement.

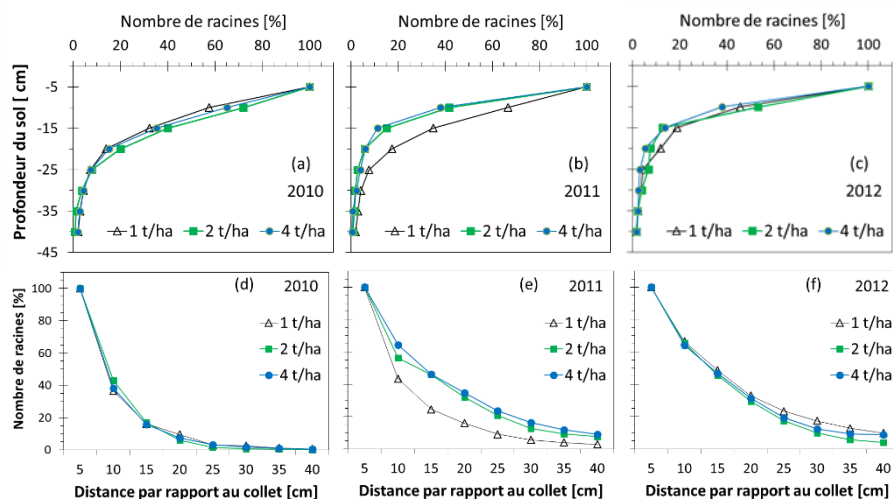


Figure 5.4 : Distribution des racines latérales en fonction de la dose de compost: distribution verticale vers la profondeur (a) :2010 ; (b) : 2011 ; (c) : 2012. Distribution horizontale vers l'interligne: (d) :2010 ; (e) : 2011 ; (f) : 2012.

Effet du travail du sol

La distribution verticale et horizontale des racines selon les modalités de travail est illustrée par la Fig. 5.5 tandis que les données des paramètres racinaires sont renseignées dans le Tab. 5.5.

Profondeur maximale d'enracinement : Quelle que soit l'année, l'effet de la modalité du travail du sol n'est pas perceptible, les profondeurs maximales d'enracinement étant comparables entre les traitements.

Distribution verticale : Le paramètre de courbure ne diffère pas entre les modalités de travail du sol en 2010 ($p = 0,224$). En revanche, si la différence est plus sensible en 2011 ($p = 0,071$), elle apparaît significative en 2012 ($p = 0,014$, HSD = 0,054). En effet, le labour avec fumure en bande (T3) et le labour avec fumure à la volée (T4) présentent une plus faible courbure par rapport aux modalités de pseudo-labour T2-T1. C'est-à-dire que ces dernières présentent une réduction plus rapide du nombre des racines latérales avec la profondeur comparativement aux modalités de labour.

Distribution horizontale : Selon les analyses (Tab. 5.5), l'expansion latérale des racines n'est pas affectée par le travail du sol quelle que soit l'année ($p = 0,447$ en 2010 ; $p = 0,523$ en 2011 ; $p = 0,831$ en 2012). Autrement dit, le travail réduit du sol (T1-T2) n'entrave pas plus que les modalités de labour (T3-T4), la colonisation des interlignes par les racines.

.

5.3 Résultats

Tableau 5.5: Effet de la modalité du travail du sol sur l'enracinement du cotonnier : moyennes $\pm$ erreur standard des paramètres de courbure ou décroissance latérale de la distribution des racines et profondeur maximale de la racine pivotante. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5% (*).

Paramètre	Année	T1	T2	T3	T4	p valeur
Courbure de la distribution verticale [-]	2010	0,122 ^a $\pm$ 0,006	0,106 ^a $\pm$ 0,007	0,105 ^a $\pm$ 0,007	0,102 ^a $\pm$ 0,008	0,224
	2011	0,194 ^a $\pm$ 0,014	0,200 ^a $\pm$ 0,014	0,151 ^a $\pm$ 0,014	0,172 ^a $\pm$ 0,014	0,071
	2012	0,219 ^a $\pm$ 0,014	0,186 ^{ab} $\pm$ 0,014	0,15 ^b $\pm$ 0,015	0,169 ^b $\pm$ 0,014	0,014*
Courbure de la distribution horizontale [-]	2010	0,177 ^a $\pm$ 0,015	0,198 ^a $\pm$ 0,015	0,207 ^a $\pm$ 0,015	0,209 ^a $\pm$ 0,015	0,447
	2011	0,099 ^a $\pm$ 0,008	0,104 ^a $\pm$ 0,008	0,094 ^a $\pm$ 0,008	0,109 ^a $\pm$ 0,008	0,523
	2012	0,085 ^a $\pm$ 0,007	0,078 ^a $\pm$ 0,007	0,083 ^a $\pm$ 0,007	0,087 ^a $\pm$ 0,007	0,831
Profondeur de la racine pivotante [cm]	2010	26,6 ^a $\pm$ 2,2	34,9 ^a $\pm$ 2,2	27,4 ^a $\pm$ 2,2	27,6 ^a $\pm$ 2,2	0,047*
	2011	40,2 ^a $\pm$ 1,5	40,6 ^a $\pm$ 1,4	39,1 ^a $\pm$ 1,5	40,2 ^a $\pm$ 1,6	0,885
	2012	40,1 ^a $\pm$ 1,1	41,4 ^a $\pm$ 1,0	41,4 ^a $\pm$ 1,1	38,2 ^a $\pm$ 1,2	0,342

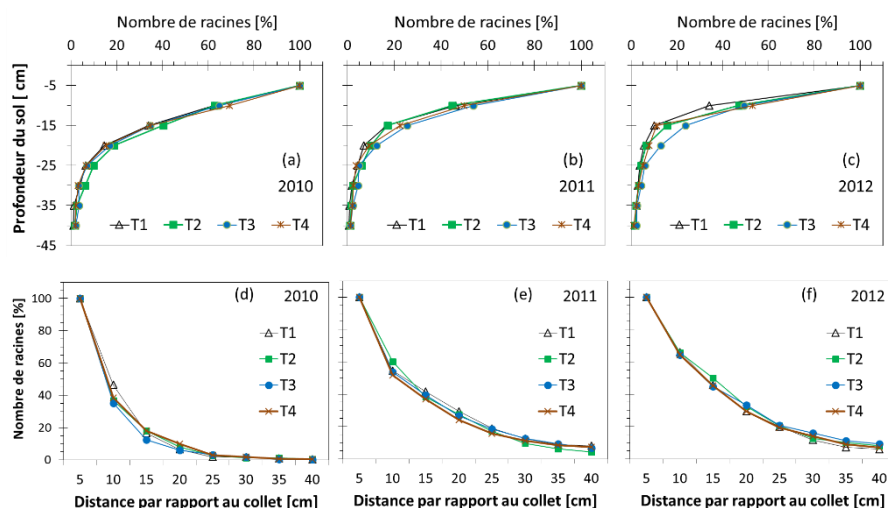


Figure. 5.5 : Distribution des racines latérales en fonction de la modalité du travail du sol: distribution verticale vers la profondeur (a) :2010 ; (b) : 2011 ; (c) : 2012. Distribution horizontale vers l'interligne: (d) :2010 ; (e) : 2011 ; (f) : 2012.

5.3.2.4. Composantes de rendement du cotonnier

Effet de la dose

La densité des plants de cotonniers à la récolte n'est pas influencée par la dose de compost en 2010 ($p = 0,199$, Tab. 5.6). En revanche, on constate une variation significative du nombre de plants en 2011 ($p = 0,005$; HSD = 9%) ainsi qu'en 2012 ($p = 0,017$; HSD = 8%). Il ressort que le nombre de plants le plus élevé est toujours associé à la dose de 4 t ha^{-1} . En outre, on remarque que la densité moyenne des plants est la plus élevée en 2010 et la plus faible en 2011.

Tableau 5.6: Densité des cotonniers (%), nombre de capsules, nombre de capsules par plant (NCP) et poids moyen capsulaire (PMC) en fonction de la dose de compost: moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Année	Dose	Densité des plants [%]	Nombre de capsules ha^{-1}	NCP	PMC [g]
2010	1 t ha^{-1}	$78^a \pm 1,5$	n.d	n.d	n.d
	2 t ha^{-1}	$82^a \pm 1,5$	n.d	n.d	n.d
	4 t ha^{-1}	$78^a \pm 1,5$	n.d	n.d	n.d
2011	1 t ha^{-1}	$61^{ab} \pm 2,49$	$197749^c \pm 10508$	$5,3^c \pm 0,26$	$4,4^a \pm 0,20$
	2 t ha^{-1}	$57^b \pm 2,41$	$236920^b \pm 10508$	$6,4^b \pm 0,29$	$4,6^a \pm 0,20$
	4 t ha^{-1}	$68^a \pm 2,58$	$319908^a \pm 11234$	$7,6^a \pm 0,29$	$4,9^a \pm 0,21$
2012	1 t ha^{-1}	$75^{ab} \pm 1,8$	$55908^a \pm 11141$	$1,3^a \pm 0,26$	$3,4^a \pm 0,42$
	2 t ha^{-1}	$72^b \pm 1,7$	$76722^a \pm 10736$	$1,8^a \pm 0,27$	$4,3^a \pm 0,45$
	4 t ha^{-1}	$80^a \pm 1,7$	$92360^a \pm 11141$	$1,9^a \pm 0,26$	$3,3^a \pm 0,42$

n.d= non déterminé ; NCP = Nombre de capsules par plant ; PMC = Poids moyen capsulaire

Pour les capsules, on observe une tendance générale à la hausse parallèlement à celle de la dose de compost. Cette hausse est significative d'une dose à la suivante en 2011 ($p < 0,001$; HSD = 36787 capsules). Il en est de même pour

5.3 Résultats

le nombre moyen de capsules par plant (NCP) ($p < 0,001$; HSD = 1 capsule). Par contre, le poids moyen capsulaire (PMC) est comparable entre les trois doses de compost ($p = 0,692$).

Contrairement à l'année 2011, la production de capsules en 2012 ne diffère pas significativement selon la dose de compost ($p = 0,104$). Il en est de même pour le NCP ($p = 0,237$) et le PMC ($p = 0,154$).

Effet du travail du sol

L'effet du travail du sol sur la densité de plants est significatif en 2010 ($p = 0,034$, HSD = 5% ; Tab. 5.7). En effet, en 2010, le nombre de plants augmente significativement du pseudo-labour T1 au labour avec fumure en bande (T3). Par contre, aucun effet du travail du sol n'est observé en 2011 ($p = 0,314$) et 2012 ($p = 0,684$).

Tableau 5.7: Densité des cotonniers (%), nombre de capsules, nombre de capsules par plant (NCP) et poids moyen capsulaire (PMC) en fonction de la modalité de travail du sol : moyenne $\pm$ erreur standard. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

Année	Travail du sol	Densité des cotonniers [%]	Nombre de capsules.ha ⁻¹	NCP	PMC [g]
2010	T1	75 ^b $\pm$ 1,8	n.d	n.d	n.d
	T2	80 ^{ab} $\pm$ 1,6	n.d	n.d	n.d
	T3	83 ^a $\pm$ 1,7	n.d	n.d	n.d
	T4	80 ^{ab} $\pm$ 1,6	n.d	n.d	n.d
2011	T1	58 ^a $\pm$ 2,59	216619 ^b $\pm$ 11234	6 ^a $\pm$ 0,3	4,4 ^a $\pm$ 0,21
	T2	59 ^a $\pm$ 2,85	221880 ^b $\pm$ 11841	6 ^a $\pm$ 0,3	4,7 ^a $\pm$ 0,22
	T3	66 ^a $\pm$ 3,21	279645 ^a $\pm$ 14011	7 ^a $\pm$ 0,3	4,5 ^a $\pm$ 0,27
	T4	65 ^a $\pm$ 2,85	287958 ^a $\pm$ 12419	7 ^a $\pm$ 0,3	4,3 ^a $\pm$ 0,24
2012	T1	75 ^a $\pm$ 2,0	78863 ^a $\pm$ 12554	2 ^a $\pm$ 0,3	3,9 ^a $\pm$ 0,54
	T2	74 ^a $\pm$ 1,9	93649 ^a $\pm$ 11910	3 ^a $\pm$ 0,3	4,3 ^a $\pm$ 0,45
	T3	76 ^a $\pm$ 2,0	71893 ^a $\pm$ 13753	2 ^a $\pm$ 0,3	3,2 ^a $\pm$ 0,52
	T4	77 ^a $\pm$ 2,2	55580 ^a $\pm$ 12554	1 ^a $\pm$ 0,3	3,2 ^a $\pm$ 0,47

n.d= non déterminé ; NCP = Nombre de capsules par plant ; PMC = Poids moyen capsulaire

Parmi les autres composantes de rendement, seule la production de capsules est significativement influencée par le travail du sol en 2011 ($p < 0,001$, HSD = 47370 capsules). Les TCS (T1-T2) ont une production équivalente de capsules qui est cependant inférieure à celles du labour (T3-T4). On note une tendance inversée pour 2012 bien qu'il n'y ait pas de différence significative entre les traitements. Les autres composantes (NCP et le PMC) ne diffèrent pas entre les traitements pour les deux années 2011 et 2012.

Effet de l'interaction entre la dose du compost et le travail du sol

La production de capsules par hectare et par plant est significativement influencée par l'interaction entre la dose de compost et le travail du sol en 2011 ($p = 0,040$ et $0,008$ respectivement) (Fig. 5.6).

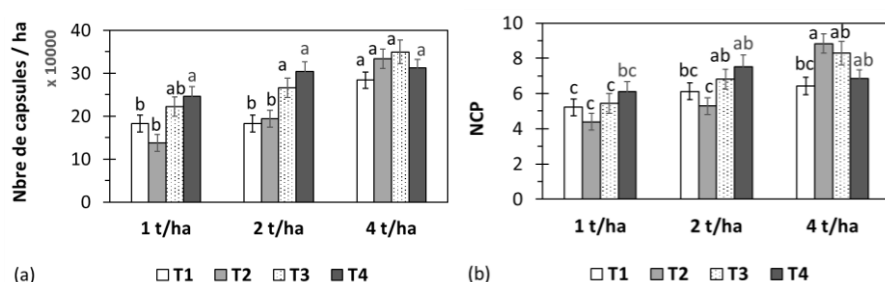


Figure 5.6: Effet de l'interaction entre la dose de compost et le travail du sol sur le nombre des capsules (a) et le nombre de capsules par plant (b).

A la dose de 1 t ha^{-1} , les TCS produisent moins de capsules que le labour T4, avec des différences encore plus marquées en passant à la dose de 2 t ha^{-1} de compost. Par contre en passant à 4 t ha^{-1} de compost, toutes les modalités s'équivalent.

Quant au NCP, il n'évolue pas significativement entre les doses de compost pour le pseudo-labour T1 et le labour T4 avec fumure à la volée. Par contre l'épandage en bande de la fumure avec enfouissement par le pseudo-labour (T2) permet une augmentation significative du NCP en passant de la dose de

5.3 Résultats

2 à 4 t ha⁻¹ de compost. Avec le labour (T3), la variation est significative en passant de 1 à 2 t ha⁻¹.

5.3.2.5 Effet des traitements sur les rendements du cotonnier

Effet de la dose : L'effet de la dose de compost sur le rendement moyen en coton graine (Fig. 5.7a) est significatif en 2010 ($p = 0,027$; HSD = 228 kg) et hautement significatif en 2011 ($p < 0,001$; HSD = 184 kg). Par contre en 2012, les analyses statistiques n'ont révélé aucun effet ($p = 0,094$). En 2011, le gain de rendement par rapport à la dose de 1 t ha⁻¹ est de 20% et 61% avec les doses respectives de 2 et 4 t ha⁻¹. En 2010, l'apport de 2 t ha⁻¹ de fumure a conduit à un gain de rendement de 34%, mais l'apport de 4 t ha⁻¹ de fumure n'a pas produit un gain de rendement supplémentaire.

Le rendement en MSA à la dose de 4 t ha⁻¹ de compost est significativement supérieur à ceux des doses inférieures en 2011 ($p = 0,008$, HSD = 507 kg ; Fig. 5.7b). Par contre aucun effet n'a été observé en 2012 ($p = 0,182$).

Effet du travail du sol : l'analyse statistique indique une influence du travail du sol sur les rendements en coton-graine en 2011 ($p = 0,004$; HSD = 237 kg) et 2012 ($p = 0,022$; HSD = 175 kg) mais pas en 2010 ($p = 0,082$). Les rendements moyens suivent des tendances différentes d'une année à une autre (Fig 5.8a). En 2011, les rendements les plus élevés sont associées aux labours T3-T4. Par contre en 2012, par ailleurs marquée par des semis tardifs, c'est l'inverse qui a été observé.

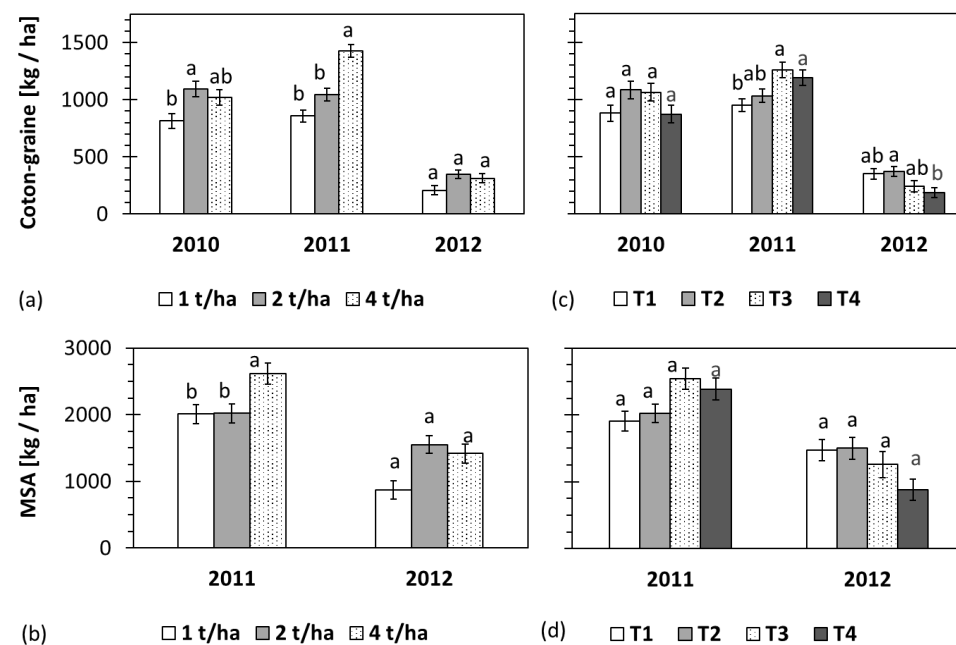


Figure 5.7 : Rendement moyen : coton graine en fonction de la dose de compost (a) et de la modalité du travail du sol (c) ; matière sèche aérienne en fonction de la dose de compost (b) et de la modalité du travail du sol (d). La matière sèche n'a pu être évaluée en 2010. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

5.3 Résultats

La matière sèche aérienne (Fig. 5.7d) est significativement affectée par le travail du sol en 2011 ($p = 0,037$; HSD = 652 kg). En 2012, aucun effet du travail du sol n'a été constaté. En outre, on remarque que la MSA suit une tendance similaire à celle du coton graine tant en 2011 qu'en 2012. Enfin, l'interaction entre la dose de compost et le travail du sol n'est pas significative ($p = 0,528$ en 2010 ; $p = 0,068$ en 2011 ; $p = 0,392$ en 2012).

5.3.3 Effet des traitements sur le maïs

5.3.3.1 La levée des semis

En 2011, les taux de levée des semis augmentent significativement de la dose de 1 t ha^{-1} aux doses de 2 et 4 t ha^{-1} ($p = 0,003$; HSD = 7,32% ; Tab.5.8). Par contre en 2012, la levée n'a pas été influencée par la dose de compost ($p = 0,534$). Aussi, le travail du sol n'a pas eu d'effet sur la levée ($p = 0,084$ en 2011 ; $p = 0,965$ en 2012 ; Tab.5.8).

Tableau 5.8: Taux de levée des semis du maïs à 7 JAS: moyenne $\pm$ erreur standard en fonction de la dose de compost et du travail du sol en 2011 et 2012.

Facteur	Modalité	Taux moyen de levée [%]	
		2011	2012
D	1 t ha^{-1}	$75^b \pm 2,25$	$71^a \pm 4,19$
	2 t ha^{-1}	$87^a \pm 2,10$	$76^a \pm 4,19$
	4 t ha^{-1}	$88^a \pm 2,10$	$70^a \pm 4,19$
TS	T1	$84^a \pm 2,33$	$73^a \pm 4,84$
	T2	$89^a \pm 2,45$	$74^a \pm 4,84$
	T3	$83^a \pm 2,33$	$73^a \pm 4,84$
	T4	$78^a \pm 2,80$	$71^a \pm 4,84$

D : dose du compost ; TS : travail du sol

Toutefois, on note une tendance décroissante du taux de levée du pseudo-labour T2 au labour T4 au cours des deux années. Egalement, il n'y a pas

d'interaction significative entre la dose de compost et le travail du sol sur la levée du maïs ($p = 0,226$ en 2011 ; $p = 0,978$ en 2012).

5.3.3.2 Rendements du maïs et ses composantes

Densité

La densité des plants est la composante de base des rendements. Les densités des plants de maïs sont comparables pour toutes les doses de compost en 2011 ($p = 0,835$) et 2012 ($p = 0,880$) (Tab. 5.9). Il en est de même pour les modalités de travail du sol ($p = 0,986$ en 2011 et $p = 0,103$ en 2012). Aussi, les effets des interactions entre la dose de compost et le travail du sol ne sont pas non plus significatifs ($p = 0,930$ en 2011 et $p = 0,224$ en 2012).

Tableau 5.9: Densité (%) des plants de maïs à la récolte (moyenne $\pm$ erreur standard) en fonction de la dose de compost et du travail du sol en 2011 et 2012.

Facteur	Modalité	Densité des plants de maïs	
		2011	2012
D	1 t ha ⁻¹	87 ^a $\pm$ 2,48	87 ^a $\pm$ 1,94
	2 t ha ⁻¹	87 ^a $\pm$ 2,31	86 ^a $\pm$ 1,87
	4 t ha ⁻¹	85 ^a $\pm$ 2,31	87 ^a $\pm$ 1,87
TS	T1	85 ^a $\pm$ 2,56	82 ^a $\pm$ 2,16
	T2	86 ^a $\pm$ 2,56	88 ^a $\pm$ 2,16
	T3	87 ^a $\pm$ 2,70	86 ^a $\pm$ 2,27
	T4	87 ^a $\pm$ 3,08	90 ^a $\pm$ 2,16

D : dose du compost ; TS : travail du sol

Rendement en maïs grain et en MSA

Les rendements en grain et en MSA sont illustrés en fonction de la dose de compost et des modalités de travail du sol (Fig. 5.8) Les rapports entre la production de grain et la biomasse sont renseignés dans le Tab. 5.10.

5.3 Résultats

Effet de la dose : L'influence de la dose de compost est significative sur la MSA en 2012 ($p = 0,030$; HSD = 616 kg). En effet la dose de 4 t ha^{-1} induit une augmentation significative de la MSA par rapport aux doses de $1 \text{ et } 2 \text{ t ha}^{-1}$ dont les biomasses sont équivalentes. Par contre, aucun effet résiduel de la dose de compost n'est mis en évidence sur le rendement en grain des deux années ($p = 0,359$ en 2011 ; $p = 0,196$ en 2012), ni sur la MSA de 2011 ($p = 0,889$). Toutefois, on note une tendance croissante des rendements de la plus faible à la plus forte dose de compost. Quant au rapport entre biomasse et rendement de grain, il n'est pas influencé par la dose de compost (Tab. 5.10).

Tableau 5.10: Rapport entre la quantité de maïs grain et la biomasse en fonction des traitements.

Facteur	Modalité	Rapport grain / biomasse	
		2011	2012
D	1 t ha^{-1}	$0,45^a \pm 0,04$	$0,47^a \pm 0,03$
	2 t ha^{-1}	$0,44^a \pm 0,03$	$0,56^a \pm 0,03$
	4 t ha^{-1}	$0,50^a \pm 0,03$	$0,49^a \pm 0,03$
TS	T1	$0,49^a \pm 0,04$	$0,57^a \pm 0,04$
	T2	$0,43^a \pm 0,04$	$0,57^a \pm 0,04$
	T3	$0,49^a \pm 0,04$	$0,41^b \pm 0,04$
	T4	$0,46^a \pm 0,04$	$0,48^{ab} \pm 0,04$

D : dose du compost ; TS : travail du sol

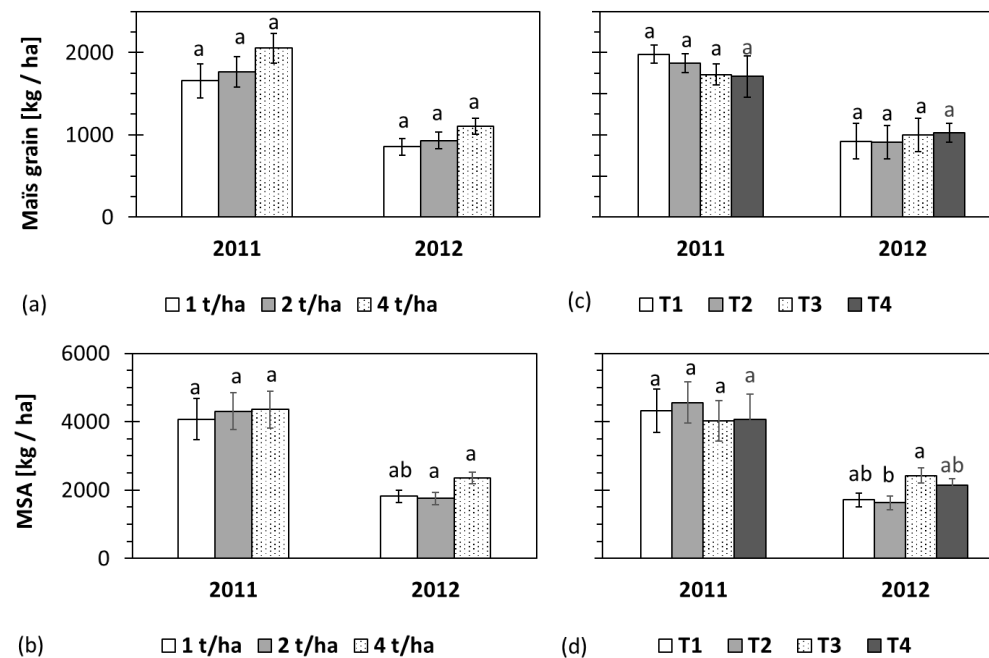


Figure 5.8 : Rendement moyen : maïs grain en fonction de la dose de compost (a) et de la modalité du travail du sol (c) ; matière sèche aérienne en fonction de la dose de compost (b) et de la modalité du travail du sol (d). La matière sèche n'a pu être évaluée en 2010. Une même lettre indique des moyennes équivalentes à 5%.

5.4 Discussion générale

Effet de la modalité du travail du sol : Les analyses n'ont pas révélé d'effet significatif de la modalité de travail sur le rendement en grain ($p = 0,836$ en 2011 et $p = 0,873$ en 2012) ainsi que sur la MSA en 2011 ($p = 0,923$). Seule la MSA de 2012 est significativement affectée ($p = 0,042$; HSD = 786). Elle augmente du pseudo-labour T1 au labour avec fumure en bande T3. Avec une quantité de biomasse intermédiaire, les modalités T2-T4 sont d'une part comparables au T1, et d'autre part au T3. En plus, on remarque que la biomasse est relativement plus importante pour les traitements T1-T2 en 2011 alors qu'en 2012, la situation est inversée. Quant au rapport entre le rendement en maïs grain et celui de la biomasse, on constate une variation significative en 2012 (Tab. 5.10), indiquant que les TCS favorisent plus la production de grain que le labour. Enfin, les résultats statistiques indiquent que les interactions entre la dose de compost et le travail du sol ne sont pas significatives aussi bien sur les grains ($p = 0,835$ en 2011 et $0,732$ en 2012) que sur la MSA ($p = 0,845$ en 2011 et $0,426$ en 2012).

5.4 Discussion générale

L'installation et le développement des cultures

Les TCS ont légèrement tendance à améliorer la levée des semis sur base des résultats des années 2010 et 2012. Son *et al.* (2004) et Alkitat & Celik (2011) ont aussi observé des tendances similaires avec parfois un écart significatif en faveur des TCS. Ces résultats s'expliqueraient principalement par l'humidité du lit de semis liée à l'ouverture préalable des raies qui sont des zones d'accumulation préférentielle des eaux des pluies. En plus, les TCS, grâce une meilleure stabilité structurale et à la structure plus grossière du lit de semis, présentent un moindre risque de développer les croûtes de battance, qui s'opposent à la levée. En effet, plusieurs auteurs renseignent l'importance de

la stabilité structurale sur la levée via la formation des croûtes structurales s'opposant à l'émergence des plantules (Nabi *et al.*, 2001 ; Murungu *et al.*, 2003 ; Gallardo-Carrera, 2006). Cependant, on ne peut expliquer la faiblesse exceptionnelle du taux de levée avec le pseudo-labour T1 en 2011. Par ailleurs, Altikat & Celik (2011) a constaté que le temps moyen de levée sous labour conventionnel (LC) (comparé à des TCS) a été rallongé à cause d'un taux d'humidité du sol plus faible. C'est cela qui peut aussi expliquer la réduction du taux de levée avec le LC en 2010, sachant qu'il n'y a pas eu de pluies durant les sept jours qui ont suivi les semis. En tout état de cause, l'épandage en ligne du compost bien incorporé au sol (T2-T3) semble produire les conditions d'une bonne levée quelles que soient les conditions climatiques.

L'architecture définitive du cotonnier est presque établie à 80 JAS (Koulibaly, 1992). En outre, elle n'est pas affectée par les amendements (Koulibaly *et al.*, 2007 ; Mosaddeghi *et al.*, 2009). Ces deux raisons peuvent expliquer pourquoi nos observations sur le système racinaire, qui ont été faites à 80 JAS, ne permettent pas toujours de mettre en évidence l'effet des traitements. Néanmoins, sur base des résultats de 2011 (Fig. 5.4), on peut retenir que la réduction de la dose de fumure entraîne une décroissance moins rapide du nombre des racines latérales. Il faut cependant signaler qu'en surface (0-5 cm) les traitements ne se différencient pas en nombre de racines. Ces racines latérales ont donc tendance à coloniser les couches profondes du sol, et ce au détriment d'une extension latérale vers l'interligne. Par contre, l'augmentation de la dose de fumure favorise un développement superficiel des racines latérales, avec une couverture plus large des interlignes. Cela s'explique par l'amélioration des réserves minérales en surface (Hue *et al.*, 2001). Par ailleurs, cette tendance préférentielle des racines latérales à coloniser les horizons de surface plus fertiles est aussi remarquée dans plusieurs travaux antérieurs (Ilboudo, 1997 ; Kambiré, 2000 ; Koulibaly *et al.*, 2007). En outre, l'augmentation de la dose du compost a tendance à accroître la profondeur de

5.4 Discussion générale

la racine pivotante du cotonnier. Cela semble être la conséquence du développement vigoureux du système aérien avec l'augmentation de la dose de nutriments.

Toutefois, il est largement admis que la distribution racinaire résulte des résistances mécaniques du sol (Callot *et al.*, 1982 ; Tardieu, 1988 ; Tamia *et al.*, 1999 ; Nidal *et al.*, 2003). En effet, Mosaddeghi *et al.* (2009) ont constaté que le développement racinaire dépend moins de l'effet de la fumure que de celui des propriétés mécaniques du sol. Dans ce sens, Nunes *et al.* (2015) ont observé une relation linéaire et significative entre la densité apparente et la densité racinaire. Busscher & Bauer (2003) ont aussi relié le nombre de racines du cotonnier à la résistance mécanique à travers une fonction puissance décroissante ($r^2 = 0,66$, $p < 0,001$). Nos mesures indiquaient des résistances relativement plus élevées pour les TCS dans l'horizon de surface (Chap. 4 ; Fig. 4.10), ce qui peut alors expliquer pourquoi les TCS (T1-T2) et les labours T3-T4 s'opposent du point de vue de la distribution verticale des racines latérales. L'enracinement est par conséquent plus superficiel pour les TCS, comme l'ont aussi observé Hati *et al.* (2015) même s'il s'agit d'une culture différente (soja). Ces auteurs ont en effet noté que la densité racinaire sous TCS est supérieure à celle du labour dans la couche 0-15 cm et inversement dans les couches profondes. Par contre, d'autres travaux sur l'orge par exemple, attribuent une plus faible densité racinaire au labour conventionnel dans l'horizon 10-20 cm (Arvidsson *et al.*, 2013). La relation entre la résistance du sol et l'enracinement permet aussi d'expliquer pourquoi la profondeur maximale de la racine pivotante n'est pas affectée par les modalités du travail du sol, vu que celles-ci n'impactent pas les couches profondes du sol, qui sont par ailleurs plus argileuses et plus compactes (Tab. 4.1 ; Fig. 4.10). Ceci explique par ailleurs que les profondeurs moyennes de la racine pivotante soient aussi limitées entre 27 à 43 cm. Toutefois, elles sont

comparables à celles mesurées à 120 JAS (33 à 47 cm) par Ilboudo (1997) sur le même type de sol, qui a même été labouré plus profondément au tracteur.

Les rendements des cultures

Sur l'ensemble des trois années, les tendances des rendements des TCS par rapport au LC sont mitigées. Par rapport à T4, les variations moyennes de rendements sous TCS (T1-T2) sont de -3 à +11% en coton-graine et de +2 à +6% pour le maïs grain. Elle est de +14 % et 0% pour le labour avec fumure en bande (T3) respectivement pour le coton-graine et le maïs grain. Ces différences entre TCS et LC ne sont pas significatives et sont légèrement inférieures à la valeur renseignée (14,2% entre zéro-labour et LC) par Kuhn *et al.* (2016). Ouattara (2007) a aussi constaté pendant deux ans l'absence de différence significative de rendements de coton-graine entre TCS (grattage manuel du sol) et LC sur un Lixisol amendé en compost. Cependant, il a noté un écart significatif sur le maïs grain (+45%) en faveur du labour sur un Luvisol en année particulièrement sèche. Les travaux de Mavunganidze *et al.* (2014) en 2009/2010 en milieu subhumide tropical zimbabwéen ont également abouti à des rendements équivalents en coton graine entre TCS et LC. Contrairement à Ouattara (2007), les rendements en maïs grain sous TCS sont significativement supérieurs à ceux du LC. Dans des conditions plus humides en savane camerounaise, Naudin *et al.* (2010) ont obtenu des écarts plus importants (+12 à 24% de coton graine et +100% de grains de céréales) en faveur des TCS (zéro-labour avec ou sans mulch).

Les gains modérés obtenus dans notre étude sont vraisemblablement en partie liés à la durée réduite des essais et s'alignent avec les conclusions de Brouder & Gomez-Macpherson (2014) basées sur une large revue de publications sur les TCS en ASS sur la période 1976-2013. Celles-ci montrent que les différences de rendement ne deviennent significatives qu'à partir de trois années. Cela veut dire que l'accroissement des gains de rendement sous TCS

5.4 Discussion générale

suit donc un gradient positif d'amélioration et de stabilisation des conditions physico-chimiques et biologiques, ce qui se répercute positivement sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Alliaume *et al.*, 2014 ; Nyakudya & Stroosnijder, 2015) et la nutrition minérale (Hulugalle *et al.*, 2004). L'alimentation hydrominérale est très déterminante pour la croissance végétative, la production de la biomasse et des capsules, qui apparaissent significativement corrélées au rendement en coton-graine (résultats non présentés). Bien que les traitements n'aient pas permis d'améliorer substantiellement les conditions physico-chimiques du sol, mise à part l'amélioration de la stabilité structurale constatée en 2011 (Chap 4, § 4.3.3 à 4.3.5), il n'est pas exclu que les TCS aient amélioré l'alimentation minérale du coton par comparaison au LC. En outre, les semis à même date n'ont pas permis aux TCS d'exprimer un de leurs avantages potentiels sur les rendements, étant donné que dans la réalité paysanne, elles permettent d'anticiper les semis.

Malgré ces conditions limitantes, il convient de souligner que les rendements mesurés en 2010 et 2011 (années normales) sont relativement proches des rendements issus de modalités similaires évaluées sur le même type de sol en zone nord soudanienne (-19 à +2% ; Ouattara, 2007). Et cela malgré que ce dernier auteur ait appliqué plus de fertilisants sous forme de compost à la volée (5 t ha⁻¹) et de fumure minérale (100 kg ha⁻¹ de NPK 14-23-14 + 50 kg ha⁻¹ d'urée à 46% + 400 kg ha⁻¹ de phosphate à 27,59 P et 0,53K). En particulier, le traitement T3 présente un rendement très proche (+2%) du traitement labour + épandage de fumure à la volée de Ouattara (2007). Bien que les contextes pluviométriques soient différents, on est tenté d'en conclure que grâce à l'épandage en bande, notre labour T3 est plus efficace que le traitement homologue associé à l'épandage à la volée avec une plus grande quantité de fertilisants.

Chapitre 5: Effet du travail réduit du sol et de la fumure sur la productivité.

Comme on pouvait s'y attendre, les rendements de coton-graine et de maïs confirment l'effet bénéfique des amendements mentionné dans plusieurs études précédentes (Sedogo, 1993 ; Ouédraogo *et al.*, 2001 ; Mando *et al.*, 2005 ; Koulibaly *et al.*, 2009; Koulibaly *et al.*, 2015). Au-delà de l'apport en nutriments, ce constat peut être associé à l'impact positif du compost sur la stabilisation de la structure (Chap 4, Fig. 4.9) et l'efficacité d'utilisation de l'eau (Ouédraogo *et al.*, 2001 ; Miriti *et al.*, 2012). Cependant, en 2010 et 2012, la dose de 4 t ha⁻¹ n'a pas permis d'accroître les rendements au-delà de ceux obtenus pour 2 t ha⁻¹. Cela peut être dû à certaines carences en nutriments. En outre, force est de constater que l'effet de la dose est totalement annihilé suite au semis tardif en 2012. D'une part, des éléments nutritifs libérés par la minéralisation du compost ont pu être perdus par lessivage pendant les 40 jours entre l'épandage du compost et la réussite des semis. D'autre part, la réduction du cycle végétatif en 2012 se traduit par une sous valorisation des nutriments, ce qui affecte négativement la croissance, la durée de la floraison et in fine la production des capsules (Tab. 5.7). Toutefois, les semis tardifs sont plus productifs sous TCS (+68% par rapport aux labours T3-T4) probablement à cause de la concentration des nutriments dans les raies comme cela a été observé dans le zaï traditionnel (Fatondji *et al.*, 2006).

La variabilité inter-annuelle du rendement en coton-graine (T1-T2 : ± 250 à ± 304 kg et T3-T4 : ± 376 à ± 408 kg) semble indiquer que les TCS sont relativement plus performants pour stabiliser les rendements compte tenu de la variabilité interannuelle des pluies. Cela conforte les TCS en tant qu'alternative pour mitiger la variabilité pluviométrique quand on sait déjà qu'ils sont plus performants que le LC dans des conditions de faible pluviométrie (Nyakudya & Stroosnijder, 2015, Kuhn *et al.*, 2016). La variabilité pluviométrique devra être prise en compte dans les investigations futures en conditions paysannes afin de confirmer les avantages agronomiques

5.5 Conclusion

mais aussi économiques en prenant en compte l'opinion du producteur sur les performances et la faisabilité des pratiques proposées.

5.5 Conclusion

Cette étude avait pour objet d'évaluer l'effet de la dose de la fumure organique et du travail du sol sur la productivité du cotonnier en rotation avec le maïs. Pour l'installation des cultures, les TCS permettent d'assurer une levée des semis aussi bonne voire meilleure que le labour. La description des profils racinaires indique que la simplification du travail du sol a tendance à favoriser un développement superficiel des racines latérales mais n'entrave pas l'expansion horizontale des racines.

Les rendements en coton-graine confirment l'intérêt de la fertilisation organique, mais pas en semis précoces. Les TCS ont tendance à légèrement accroître les rendements en coton-graine (-3 à 11%), avec en plus une moindre variabilité interannuelle face aux conditions pluviométriques. Mais le gain en rendement est encore plus substantiel avec le labour avec épandage en bande de la fumure (+14%). Il n'y a par ailleurs pas eu d'effets des modalités de travail du sol ni d'effets résiduels de la fumure sur la production de maïs grain et de biomasse.

Chapitre 6 : Conclusion générale et perspectives

La dégradation des conditions pédoclimatiques dans un contexte de rareté de ressources économiques fragilise les agrosystèmes de la région soudano-sahélienne, en particulier les systèmes cotonniers au Burkina Faso. Le développement d'une agriculture locale plus résiliente impose de valoriser le savoir paysan et de prendre en compte les réalités socio-économiques en vue de garantir une certaine pérennité aux actions (Winklerprins, 1999 ; Mikkelsen & Langohr, 2004). C'est pourquoi chaque chapitre de cette thèse s'est attaché à développer des connaissances nouvelles qui peuvent contribuer à mieux prendre en compte les réalités paysannes dans la recherche agronomique ou qui s'appuient, au moins partiellement, sur des pratiques paysannes existantes.

Ainsi, le premier objectif de cette étude a été d'établir la relation entre les indicateurs locaux et analytiques de fertilité des terres afin de mieux cerner la perception locale de la fertilité des sols. L'évaluation conjointe de l'état de fertilité des sols dans la province du Mouhoun a révélé l'utilisation d'une diversité d'indicateurs par les producteurs locaux, qui sont cohérents entre eux et avec les paramètres analytiques du sol. Malgré la dimension géographique locale, les indicateurs pédo, bio et phyto utilisés par les producteurs sont communs à d'autres localités du Burkina Faso (Gray & Morant, 2003; Traoré *et al.*, 2012) et d'autres pays (Barrera-Bassols & Zinck, 2002; Saito *et al.*, 2006; Dawoe *et al.*, 2012). Par contre, les indicateurs socio-économiques apparaissent plus spécifiques à la localité, avec en plus une sensibilité variable selon les unités de production agricole. C'est cela qui peut expliquer que les indicateurs socio-économiques soient moins bien reliés aux indicateurs

analytiques. En plus, il faut rappeler que les indicateurs analytiques conventionnels basés sur des analyses de laboratoire expliquent 79% de l'indice local de fertilité. Cette relation imparfaite traduit une réalité selon laquelle les indicateurs locaux reflètent les effets de la fertilité des sols alors que les paramètres analytiques reflètent l'état du sol. La relation est cependant suffisamment bonne pour établir les bases d'une meilleure communication entre chercheurs et producteurs, pour autant que les chercheurs prennent la peine de traduire le cadre d'évaluation analytique conventionnel vers le référentiel local.

La qualité de la relation entre les indicateurs analytiques et les indicateurs locaux devrait aussi permettre d'impliquer à l'avenir plus étroitement les producteurs dans des actions de caractérisation locale de la fertilité, tout en restant dans le référentiel local avec lequel ils sont familiers mais avec la possibilité de valoriser les résultats selon la logique analytique familière aux chercheurs. Une démarche a par ailleurs été proposée permettant d'optimiser l'évaluation endogène de la fertilité en fonction du niveau de précision attendu de la démarche. Cette démarche doit être consolidée par les perspectives futures de recherche. Il s'agit, entre autres, de déterminer le domaine géographique de validité des résultats issus de cette approche, c'est-à-dire la zone géographique à laquelle on peut étendre les résultats sans perdre en qualité. Il y a aussi d'autres questions telles que l'évaluation de la robustesse de la méthode face aux variations interannuelles étant donné que l'indice local de fertilité repose, entre autres, sur les paramètres de croissance et l'état de végétation. De plus, la question de savoir si la relation entre les deux types d'indicateurs est extrapolable à d'autres cultures que le cotonnier mérite des investigations.

Le deuxième objectif de l'étude visait à identifier les déterminants de la teneur actuelle en matière organique dans les sols. Celle-ci est un élément central de l'évaluation de la qualité des sols au niveau de la recherche (Chap. 2). Pour sa part, l'évaluation endogène a révélé une corrélation significative entre la matière organique et l'indice local de fertilité (Chap. 2, Fig. 2.3), et en particulier avec les pédo-indicateurs locaux (couleur et nature du sol ; Chap. 2, Fig. 2.2) et les indicateurs économiques représentés par « le besoin d'investissement en fumure (NM) » (Chap. 2, Tab. 2.3). C'est pourquoi il était intéressant de comprendre les pratiques qui pourraient permettre une meilleure gestion de la matière organique, faute de pouvoir agir sur les facteurs pédoclimatiques tels que la texture. En effet, les résultats ont confirmé une corrélation entre la teneur en COS et la somme des argiles et limons (Tab. 3.4), et ce en raison du rôle de cette fraction fine dans la protection et le stockage du COS (Feller, 1995 ; Six *et al.*, 2002). Cependant, les analyses multivariées reflétant la réalité complexe de l'agrosystème, ont révélé que cette fraction granulométrique fine a une plus faible valeur explicative de la teneur en COS que la superficie cultivée en coton dans chaque exploitation. En effet, les exploitations disposant de plus grands champs de coton sont aussi celles où la teneur en COS est plus élevée. Ces résultats s'expliquent par le fait que la culture de rente, le coton dans ce cas, donne accès au marché et permet l'entrée des intrants agricoles dans l'agrosystème. Une association positive similaire entre cultures de rente et qualité des sols a été décrite en Afrique de l'Est où les cultures de rente, par opposition aux cultures de subsistance, se retrouvent sur de meilleures terres (Tittonnel *et al.*, 2010). En plus, nous avons constaté que la proportion de la superficie en coton dans l'exploitation augmente en allant des unités allochtones à celles des autochtones, les premiers étant plus tournés vers les cultures de subsistance comme le sorgho. Le sorgho est cultivée de manière traditionnelle sans apports directs de nutriments pour compenser les exportations, ce qui peut expliquer

en partie pourquoi les parcelles des allochtones sont relativement moins fertiles. Par ailleurs, les analyses indiquent une influence positive de l'éloignement des parcelles sur la teneur en COS, contrairement à l'idée générale (Samaké *et al.*, 2005 ; Tittonell *et al.*, 2005 ; Rusinamhodzi, 2015). Cependant, le déséquilibre de l'échantillon des parcelles entre les deux groupes sociaux et en rapport avec la distance (champs de case et de brousse), n'a pas permis d'expliquer l'influence de la distance sur la teneur en matière organique via les pratiques locales de gestion. Les perspectives de recherches doivent davantage pousser la réflexion pour comprendre les interactions entre la teneur en matière organique du sol et les pratiques culturales, et ce sur base d'un échantillon de parcelles mieux élaboré et stratifié selon le groupe social, la distance et la texture du sol.

Le maintien de la fertilité des sols tropicaux dépend fortement de la gestion de la matière organique alors que les quantités de fumures organiques disponibles sont faibles (Chap. 3, Fig. 3.3). Ceci justifie le besoin de trouver des approches pour accroître l'efficacité de l'utilisation de la fumure. Le contexte climatique et énergétique (animaux de trait) favorise l'émergence des TCS, qui sont connues pour favoriser le stockage, ou tout au moins réduire les pertes de matière organique. Par ailleurs, les TCS offrent l'opportunité de faire des apports localisés dans les raies, qui favorisent l'efficacité de l'utilisation des apports. C'est dans cette perspective que le troisième objectif de cette étude visait à évaluer les effets des TCS sur certaines propriétés physico-chimiques du sol et les rendements des cultures.

Premièrement, les TCS avec application en bande de la fumure peuvent contribuer à stabiliser la structure du sol grâce à une moindre perturbation de l'horizon de surface et à la concentration de la fumure dans les raies. Il faut rappeler que l'épandage en bande de la fumure associée au pseudo-labour T2 qui permet un enfouissement partiel de la fumure, donne la meilleure stabilité structurale, et ce déjà à la dose de 2 t ha⁻¹ de compost. Par contre, même à la

dose de 4 t ha^{-1} , le labour est inefficace pour améliorer la stabilité structurale (Chap. 4, Fig. 4.9). Cela s'explique par la dilution du compost par l'épandage à la volée d'une part (T4), et par l'enfouissement profond du compost en bande d'autre part (T3). Les TCS sont donc plus efficaces dans la valorisation de la fumure dont on sait que les disponibilités sont faibles. Cependant, cette amélioration de la stabilité structurale n'a pas eu d'impact sur la vitesse d'infiltration à 30 JAS contrairement à la plupart des études récentes, dont Thierfelder *et al.* (2013). Nos résultats s'expliquent par la faible porosité du sol sous TCS, en témoignent les résistances mécaniques élevées. En outre, la durée réduite de l'étude et l'exportation des résidus de récolte n'ont pas permis l'installation et le développement de l'activité biologique et une amélioration sensible de la structure.

Par ailleurs, les effets sur les propriétés chimiques sont restés modestes en termes de variation au cours du temps tandis que les différences entre TCS et labour conventionnel ne sont pas significatives. En considérant les études antérieures (Brouder & Gomez-Macpherson, 2014), la faible variation des paramètres chimiques ne doit pas surprendre quand on sait qu'il faut 25 à 30 ans pour que la teneur en COS atteigne son niveau maximal et stable (Alvarez, 2005). En plus, les quantités de compost apportées sont faibles alors que nous avons affaire à un sol pauvre.

Deuxièmement, les TCS n'ont pas nuit, voire ont légèrement amélioré la productivité des cultures, avec en plus une moindre variabilité interannuelle des rendements sous l'effet de la variabilité interannuelle des pluies. Les rendements des TCS varient modestement de -3 à 11% par rapport à la pratique courante du labour avec fumure à la volée (T4). L'écart est encore plus important entre cette pratique courante et le labour avec fumure en bande (+14%, T3). Toutefois, ce sont des écarts acceptables puisque la littérature (Ouattara, 2007; Brouder & Gomez-Macpherson, 2014) ne renseigne pas de

différences significatives avant trois ans d'essai, ce qu'il faut mettre en lien avec l'amélioration modérée des caractéristiques évoquées plus haut. En revanche, la description des profils racinaires indique que la simplification du travail du sol limitée à la ligne de semis, n'entrave pas le développement racinaire plus qu'un labour conventionnel, même si on peut noter pour les TCS une réduction relativement plus rapide du nombre de racines latérales vers la profondeur (Chap. 5, Tab. 5.5). Toutefois, il faut reconnaître que la réalisation des observations à 80 JAS, au moment où l'architecture est presque établie, a certainement contribué à atténuer l'effet des traitements. En tout état de cause, l'absence de restriction très marquée du développement racinaire sous TCS semble indiquer que le labour conventionnel n'est pas toujours indispensable.

Les résultats sur les rendements confirment que les TCS peuvent être une alternative aussi productive et moins coûteuse que le labour. Mais l'amélioration des propriétés chimiques reste encore problématique avec les faibles quantités disponibles de fumure. Il est nécessaire, sur le court terme et avant la phase d'amélioration et de stabilisation des conditions chimiques du sol, qu'un complément d'engrais minéral soit fait. Cela est d'autant plus nécessaire au regard de la faiblesse des rendements en maïs grain et aussi de la pauvreté des composts et des sols en P, ce qui pourrait à terme être un facteur limitant au rendement agricole.

En tous les cas, les semis à même date, pour besoin de comparaison, n'ont vraisemblablement pas permis aux TCS d'exprimer l'un de leurs avantages potentiels sur l'accroissement des rendements, étant donné que dans la réalité paysanne, elles permettent d'anticiper les semis, ce qui est gage de meilleurs rendements. A ceci, il faut ajouter le fait que l'anticipation des opérations culturales grâce aux TCS est avantageuse pour une meilleure planification du calendrier agricole, et ce sur une période plus longue, ce qui permet de limiter les goulots d'étranglement. Par ailleurs, il faut souligner les avantages

économiques des TCS liés à l'économie en temps et en énergie du fait que les opérations culturales ne couvrent pas l'entièreté de la surface du sol. En outre, le matériel utilisé pour le travail réduit du sol (houe Manga, Fig. 4.4) est moins coûteux et plus accessible aux producteurs.

Les résultats obtenus dans cette étude ainsi que l'ensemble des avantages économiques ci-dessus cités militent en faveur de la vulgarisation des TCS en attendant la poursuite des investigations. Ces investigations futures doivent être élargies aux champs paysans afin de consolider les résultats agronomiques mais aussi évaluer les gains économiques tout en prenant en compte la perception du producteur. En effet, l'appréciation de ce dernier sur la performance et la faisabilité des pratiques qui sont testées va déterminer son engagement en faveur ou non de l'adoption des résultats. Plusieurs aspects connexes aux TCS mériteraient d'être investigués. Il s'agit de la relation entre TCS et variabilité pluviométrique afin de proposer des modalités de TCS adaptées aux zones agroclimatiques. Etant donné que l'utilisation des herbicides est un atout pour l'expansion des TCS, les effets d'association des deux pratiques devront être évalués. Face à la faible disponibilité de la fumure organique, les études ultérieures devront déterminer les doses de fertilisants minéraux qui sont nécessaires pour augmenter la biomasse et maintenir l'équilibre chimique du sol.

Références bibliographiques

Abou Abba A., Hofs J.L., Mergeai G., (2006), Relever les défis environnementaux pour les filières cotonnières d'Afrique de l'Ouest et du Centre. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10 (4), p.351–359.

Agbenin J.O., Goladi J.T., (1997), Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 63, p.17-24.

AGRER, (2007), Diagnostic de la filière coton et identification des axes stratégiques. Rapport final, Burkina Faso, 157 p. + annexes.

Albrecht A., Rangon L., Barret P., (1992), Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique), *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 27 (1), p.121-133.

Alexandratos N., Bruinsma J., (2012), World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper, 12-03, Rome, FAO, 146 p.

Alliaume F., Rossing W.A.H., Tiftonell P., Jorge G., Dogliotti S., (2014), Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 183, p.127-137.

Altikat S., Celik A., (2011), The effects of tillage and intra-row compaction on seedbed properties and red lentil emergence under dry land conditions. *Soil Till. Res.*, 114, p.1–8.

Alvarez R., (2005), A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manage.*, 21, p.38–52.

Annabi M., (2005), Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de doctorat, INA P-G, 236 p. + annexes.

Ardoin-Bardin S., (2004), Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone sahélienne. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 330 p. + annexes.

Références bibliographiques

Arvidsson J., Westlin A., Sörensson F., (2013), Working depth in non-inversion tillage-Effects on soil physical properties and crop yield in Swedish field experiments. *Soil Till. Res*, 126, p.259-266.

Bado B.V., Sedogo M.P., Cescas M.P., Lompo F., Bationo A., (1997), Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso, *Cah. Agric.*, 6, p.571-575.

Balesdent J., Chenu C., Balabane M., (2000), Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, 53 (3), p.215–230.

Barrera-Bassols N., Zinck J.A., (2003), Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma*, 111, p.171–195.

Barrios E., Bekunda M., Delve R., Esilaba A., Mowo J., (2001), Methodologies for decision making in natural resource management: identifying and classifying local indicators of soil quality (Eastern Africa Version). CIAT, SWMN, TSBF, AHi, Cali, Colombia, 257 p.

Barrios E., Delve R.J., Bekunda M., Mowo J., Agunda J., Ramisch J., Trejo M.T., Thomas R.J., (2006), Indicators of soil quality: a South–South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma*, 135, p.248–259.

Barro A., Zougmore R., Sedogo M.P., (2009), Evaluation de la faisabilité de trois types de travail du sol : application du modèle Sarra dans le Plateau central au Burkina Faso. *Sécheresse*, 20 (4), p.338-345.

Barthès B., Albrecht A., Asseline J., De Noni G., Roose E., Viennot M., (1998), Pratiques culturales et érodibilité des sols dans les Camarès (Aveyron), *Etude et gestion des sols*, 5 (3), p.157-170.

Barthès B., Roose E., (2002), Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. *Catena*, 47, p.133-149.

Barzegar A.R., Asoodar M.A., Khadish A., Hashemi A.M., Herbert S.J., (2003), Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. *Soil Till. Res*, 71, p.49–57.

Bassala J-P.O., (2010), Le semis direct sans labour et avec utilisation des herbicides dans la zone cotonnière au Nord Cameroun. *Diffusion, impacts*

Références bibliographiques

agronomiques et socio-économiques d'une innovation en pleine expansion. Thèse de doctorat, Université de Toulouse II, 282 p. + annexes.

Bationo A., Mukwunye A.U., (1991), Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa: The experience in the Sahel. *Fert. Res.*, 29, p.95-115.

Bationo A., Kihara J., Waswa B., Ouattara B., Vanlauwe B., (2005), Technologies for sustainable management of sandy Sahelian soils. *In: Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture: A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics. Symposium, 27th – 2nd December, Khon Kaen, Thailand, p.414-429.*

Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., (2006), Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agric. Syst.*, 94, p.13-25.

Belem C.P., M'baye A.A., Ricroch A., Nikiéma A., Dembélé D., Ochou-Ochou G., Dembélé S., (1999), Rapport d'évaluation externe des programmes « coton » et « cultures maraîchères, fruitières et plantes à tubercules », INERA, 20 p.

Berger M., Belem P.C., Dakouo D., Hien V., (1987), Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Coton Fibres Trop.*, 42, p.201-210.

Berti F., Hofs J.L., Zagbaï H.S., Lebailly P., (2006), Le coton dans le monde, place du coton africain et principaux enjeux. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10 (4), p.271–280.

Blaise D., Ravindran C.D., (2003), Influence of tillage and residue management on growth and yield of cotton grown on a vertisol over 5 years in a semi-arid region of India. *Soil Till. Res.*, 70, p.163–173.

Blaise D., (2006), Effect of tillage systems on weed control, yield and fibre quality of upland (*Gossypium hirsutum* L.) and Asiatic tree cotton (*G. arboreum* L.). *Soil Till. Res.*, 91, p.207–216.

Blaise D., (2011), Tillage and green manure effects on Bt transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) hybrid grown on rainfed Vertisols of central India. *Soil Till. Res.*, 114, p.86–96.

Références bibliographiques

- Blanc E., Quirion P., Strobl E., (2008), The climatic determinants of cotton yields: Evidence from a plot in West Africa. *Agric. For. Meteorol.*, 148, p.1093 – 1100.
- Blanchart E., Achouak W., Albrecht A., Barakat M., Bellier G., Cabidoche Y.M., Hartmann C., Heulin T., Larré-Larrouy M-C., Laurent J-Y., Mahieu M., Thomas F., Villemin G., Watteau F., (2000), Déterminants biologiques de l'agrégation dans les Vertisols des petites Antilles : conséquences sur l'érodibilité. *Étude et Gestion des Sols*, 7 (4), p.309-328.
- Boli B.Z., Roose E., Bep A Ziem B., Sanon K., Waechter F., (1993), Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 28 (2), p.309-325.
- Boulet R., (1976), Notice des cartes de ressources en sols de la Haute-Volta, ORSTOM, Paris, 97 p.
- Boyer J., (1977), Incidence de la mécanisation sur quelques propriétés des sols tropicaux. Séminaire sur la mécanisation des exploitations individuelles des pays chauds. 28 février au 1 mars 1977, Paris, France. ORSTOM, Collection de référence, n°8793.
- Braud M., (1987), La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes. Supplément à *Coton et fibres tropicales*, Série Documents, Etudes et Synthèses, 8, 34 p.
- Brévault T., Bikay S., Maldès J.M., Naudin K., (2007), Impact of no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil Till. Res*, 97, p.140-149.
- Brouder S., Gomez-Macpherson H., (2014), The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 187, p.11–32.
- Busari M.A., Kukal S.S., Kaur A., Bhatt R., Dulazi A.A., (2015), Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3, p.119–129.
- Busscher J.W, Bauer P.J., (2003), Soil strength, cotton root growth and lint yield in a southeastern USA coastal loamy sand. *Soil Till. Res*, 74, p.151–159.
- Callot G., Chamavou H., Maertens C., Salsac L., (1982), Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA, 325 p.

Références bibliographiques

- Casenave A., Valentin C., (1989), Les états de surface de la zone sahélienne : Influence sur l'infiltration. Paris, 231 p.
- Celik I., Gunal H., Budak M., Akpınar C., (2010), Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma*, 160, p.236–243.
- Charreau C., Fauck R., (1970), Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa (Casamance). *Agron. Trop.*, 25 (4), p.151-191.
- Charreau C., Nicou R., (1971), L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *Agron. Trop.*, 26 (2, 5, 9, 11), p. 209-255, p.565-631, p.902-978, p.1183-1247.
- Charrière G., (1984), La culture attelée: un progrès dangereux. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, 20 (3-4), p.647-656.
- CILSS, (2012), Bonnes pratiques agro-sylvo-pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso, Ouagadougou, 192 p.
- Cointepas J-P., Makilo R., (1982), Bilan de l'évolution des sols sous culture intensive dans une station expérimentale en milieu tropical humide. *Cah. ORSTOM., sér. Pédol.*, 19 (3), p.271-282.
- Compaoré E., Nanema L.S., Bonkougou S., Sedogo M.P., (2010), Evaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. *J. Appl. Biosci.*, 33, p.2076-2083.
- Constable G.A., Bange M.P., (2015), The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.*, 182, p.98–106.
- CRA, (2001), Les aptitudes agricoles et pastorales des sols dans les pays du CILSS. 165 p.
- Curtin D., Beare M.H., Fraser P.M., Gillespie R., Harrison-Kirk T., (2010), Soil organic matter loss following land use change from long-term pasture to arable cropping: Pool size changes and effects on some biological and chemical functions. *In: Soil Solutions for a Changing World. 19th World Congress of Soil Science*, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, p.13-16.
- Dabin B., Maignien R., (1979), Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 17 (4), p.235-257.

Références bibliographiques

- Dabin B., (1981), Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cah. ORSTOM., sér. Pédol., 18 (3-4), p.197-215.
- Dabin B., (1984), Les sols tropicaux acides. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., 21 (1), p.7-19.
- Dakouo D., Koulibaly B., Hien V., (1995), Agronomie et techniques culturales. Rapport annuel 1993/94, INERA, Burkina Faso, 62 p.
- Daraghmeh O.A., Jensen J.R., Petersen C.T., (2009), Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. Geoderma, 150, p.64 – 71.
- Dawoe E.K, Quashie-Sam J., Isaac M.E., Oppong S.K., (2012), Exploring farmers' local knowledge and perceptions of soil management. Geoderma, 179–180, p.96–103.
- De Longueville F., Hountondji Y.C., Kindo I., Gemenne F., Pierre O., (2016), Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950–2013). Int. J. Climatol., Published online in Wiley Online Library. (wileyonlinelibrary.com)
- Dominy C.S., Haynes R.J., (2002), Influence of agricultural land management on organic matter content, microbial activity and aggregate stability in the profiles of two Oxisols. Biol. Fertil. Soils, 36, p.298–305.
- Doran J.W., Parkin T.B., (1994), Defining and assessing soil quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (Eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America. Special publication, Madison, WI, p.1–21.
- Drion R., (2012), Effet du travail minimum du sol et de la dose de fumure organique sur les propriétés physiques et chimiques du sol et sur la productivité du cotonnier en zone sud-soudanienne (Burkina-Faso). Mémoire de fin d'études, Master, ELIe, UCL, Belgique, 122 p. + annexes
- Duchauffour Ph, (1950), L'érosion des sols en région méditerranéenne. Rev. For. Fr. (Nancy), 3, p.133-136.
- Dufumier M., (2004), L'agriculture paysanne au service du plus grand nombre. In : Dufumier M (ed.). Agricultures et paysanneries des tiers mondes. Collection Hommes et Sociétés, Editions Karthala, Paris, p.532-573.
- Dugué P., Guyotte K., (1996), Semis direct et désherbage chimique en zone cotonnière du Cameroun. Agric. Dev., 11, p.3-15.

Références bibliographiques

- Eldin M., (1989), Analyse et prise en compte des risques climatiques pour la production végétale. *In*, Eldin M, Milleville P., (eds), *Le risque en agriculture*. Editions de l'ORSTOM, Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, Collection à travers champs, p.47-63.
- Ezeaku P.I, Davidson A., (2008), Analytical situations of land degradation and sustainable management strategies in Africa. *J. Agri. Soc. Sci.*, 4, p.42-52.
- FAO, (nd), How to feed the world in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf, consulté le 07-07-2015
- FAO, (2001), Lecture notes on the major soils of the world. *World Soil Resources Reports*, Rome, 94, 289 p + annexes
- FAO, (2003), Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome, 64 p.
- Fatondji D., Martius C., Biielders C.L., Vlek P.L.G., Bationo A., Gerard B., (2006), Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76, p.203-217.
- Feller C., Fritsch E., Poss R., Valentin C., (1991), Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'ouest, en particulier) *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 26, p.25-36.
- Feller C., (1995), La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité: application aux zones sahélienne et soudanienne. *Agric. Dev.*, 8, p.35-41.
- Feller C., Beare M.H., (1997), Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geodema*, 79, p.69-116.
- Feller C., Chenu C., (2012), Les interactions bio-organo-argileuses et la stabilisation du carbone dans les sols. *Etude et Gestion des Sols*, 19, p.235-248
- Gallardo-Carrera A., (2006), Analysis and modelling of soil surface crusting and crop emergence. Contribution to the improvement of the SIMPLE model. Thèse de doctorat, INA P-G, 85 p.
- Gardner C.M.K., Laryea K.B., Unger P.W., (1999), Soil physical constraints to plant growth and crop production. FAO, Rome, 95 p.

Références bibliographiques

- Graham E.R., (1948), Determination of soil organic matter by means of a photoelectric colorimeter, *Soil Sci.*, 65, p.181–183.
- Grassini P., Eskridge K.M., Cassman K.G., (2013), Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature communications*, 4, 2918, 11 p.
- Gray L.C., Morant P., (2003), Reconciling indigenous knowledge with scientific assessment of soil fertility changes in southwestern Burkina Faso. *Geoderma*, 111, p.425-437.
- Guibert H, (1999), Evolution de la matière organique et de la capacité d'échange cationique des Alfisols tropicaux cultivés. Thèse de doctorat, INP Lorraine, France, 139 p. + annexes.
- Guillobez S., Lompo F., De Noni G., (2000), Le suivi de l'érosion pluviale et hydrique au Burkina Faso. Utilisation d'un modèle cartographique, *Sciences et changements planétaires, Sécheresse*, 11 (3), p.163-172.
- Gwenzi W., Gotosa J., Chakanetsa S., Mutema Z., (2009), Effects of tillage systems on soil organic carbon dynamics, structural stability and crop yields in irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.)–cotton (*Gossypium hirsutum* L.) rotation in semi-arid Zimbabwe. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 83, p.211–221.
- Hati K.M., Chaudhary R.S., Mandal K.G., Bandyopadhyay K.K., Singh R.K., Sinha N.K., Mohanty M., Somasundaram J., (2015), Effects of tillage, residue and fertilizer nitrogen on crop yields, and soil physical properties under soybean–wheat rotation in vertisols of central India. *Agric. Res.*, 4 (1), p.48–56.
- Hauchart V., (2005), Culture du coton et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso). Thèse de géographie. Université de Reims-Champagne-Ardenne, 349 p. + annexes.
- Hauchart V., (2007), Durabilité des pratiques culturales dans le nord du bassin versant de la Volta. Volta Basin Focal Project Report N° 2, CGIAR Challenge Program on Water and Food. 107 p.
- Haynes R.J., (2000), Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability. *Biol. Fertil. Soils*, 30, p.270–275.
- Haynes R.J., Tregurtha R., (1999), Effects of increasing periods under intensive arable vegetable production on biological, chemical and physical

Références bibliographiques

indices of soil quality. *Biol. Fertil. Soils*, 28, p.259–266.

Hengsdijk H., Langeveld J.W.A., (2009), Yield trends and yield gap analysis of major crops in the world. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument, 60 p.

Hue N.V., Vega S., Silva J.A., (2001), Manganese toxicity in a Hawaiian oxisol affected by soil pH and organic amendements. *Soil Sci. Am. J.*, 65, p.153-160.

Hulugalle N.R., Nehl D.B., Weaver T.B., (2004), Soil properties, and cotton growth, yield and fibre quality in three cotton-based cropping systems. *Soil Till. Res.*, 75, p.131–141.

Ibrahim B., (2012), Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 237 p.

Ilboudo O., (1997), Effets des fumures de fonds sur l'acidité et la croissance du cotonnier. Mémoire de fin d'études, Option Agronomie, IDR., CUPB, Burkina Faso, 79 p. + annexes.

INERA, (2003), Caractérisation morphologique et physico-chimique des sites d'expérimentation de Karaba, Farako-bâ A et Farako-bâ B, Rapport final. INERA, Ouagadougou, Burkina Faso.

INSD, (2010), Annuaire statistique 2009. Burkina Faso.

INSD, (2014), Annuaire statistique 2013. Burkina Faso.

INSD, (2015), Les comptes économiques de la nation 1999 à 2012 : Comptes définitifs. Burkina Faso.

Jalota S.K., Buttar G.S, Sood A., Chahal G.B.S, Ray S.S, Panigrahy S., (2008), Effects of sowing date, tillage and residue management on productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)–wheat (*Triticum aestivum* L.) system in northwest India. *Soil Till. Res.*, 99, p.76–83.

Jeune Afrique, (2005). Atlas du Burkina Faso. Les éditions Jeune Afrique, 1ère édition.

Jouve P., (2007), Le jeu croisé des dynamiques agraires et foncières en Afrique subsaharienne. *Cah. Agric.*, 16 (5), p.379-385.

Références bibliographiques

Kambiré F., (2000), Effet des techniques d'utilisation de la dent IR12 sur la production du coton et du maïs dans la zone cotonnière du Burkina Faso, Mémoire de fin d'études, Option agronomie, IDR, UPB, Burkina Faso, 73 p. + annexes.

Kambiré F., (2006), Problématique de la gestion durable des sols: Analyse des pratiques paysannes dans les systèmes techniques de production à l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, DEA interuniversitaire en Développement, Environnement et Sociétés, Option dynamiques agraires, FUSAGx, Belgique, 61 p.

Kaminski J., (2007), Réforme de la filière cotonnière burkinabé – Retour sur dix ans de mutations: Analyse des impacts économiques et sociaux sur le producteurs et implications des organisations agricoles. Toulouse School of Economics, 98 p.

Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E., (1997), Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Sci. Soc. Am. J., 61, p.4–10.

Kestemont M-P., (2009), Impacts environnementaux et socio-économiques des cultures de rente au Burkina Faso : Quelles stratégies pour un développement durable? Rapport de projet de recherche PIC. 119 p.

Khaliq A., Abbasi M.K., Hussain T., (2006), Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. Bioresource Technol., 97, p.967–972.

Ki-Zerbo B., (1999), Rentabilité et durabilité des exploitations en grande culture attelée ou motorisée dans la zone cotonnière Ouest du Burkina : Résultat d'une enquête menée sur les campagnes 1997 et 1998, Projet appui à la mécanisation, Ministère de l'agriculture, Burkina Faso, 48 p. + annexes.

Kimble J.M., (2007), On-Farm Benefits of Carbon Management: the farmers' Perspectives, *In*: Kimble J.M., Rice C.W, Reed D., Mooney S., Follet R.F, Lal R., (eds), Soil Carbon Management: Economic, Environmental and Societal Benefits, CRC Press, p.45-65.

Koulibaly B., (1992), Effet de la fertilisation sur l'enracinement et la nutrition minérale du cotonnier. Mémoire de fin d'études, Option agronomie, IDR., Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 113 p.

Koulibaly B., Traoré O., Zombré P.N., Dakuo D., (2007), Effet des amendements sur l'enracinement et la production du cotonnier sur un sol

Références bibliographiques

ferrugineux tropical de l'Ouest du Burkina Faso. Science et technique, Sciences naturelles et agronomie, 29 (1 &2), p.131-142.

Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N., (2009), Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 13 (1), p.103-111.

Koulibaly B. (2011), Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina, Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 140 p. + annexes.

Koulibaly B., Dakuo D., Ouattara A., Traoré O., Lompo F., Zombré P.N., Yao-Kouamé A., (2015), Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. Tropicultura, 33 (2), p.125-134.

Kosutic S., Husnjak S., Filipovic D., Bogunovic M., (2001), Influence of different tillage systems on soil water availability in the Ap-horizon of an Albic Luvisol and yield in north-west Slavonia, Croatia. DieBodenkultur, 52 (3), p.215-223.

Kuhn N.J., Hu Y., Bloemertz L., He J., Li H., Greenwood P., (2016), Conservation tillage and sustainable intensification of agriculture: regional vs. global benefit analysis. Agric. Ecosyst. Environ., 216, p.155–165.

Lagière R., (1966), Le cotonnier. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, Collection Techniques agricoles et productions tropicales. 306 p.

Lal R., (1981), Analyses of different processes governing soil erosion by water in the tropics. In: Erosion and Sediment Transport Measurement. Proceedings of the Florence Symposium, June 1981, IAHS, 133, p.351-364

Lal R., (1985), Soil erosion and sediment transport research in tropical Africa. Hydrolog. Sci. J., 30 (2, 6), p.239-256.

Lal R., (1999), Long-Term tillage and wheel traffic effects on soil quality for two Central Ohio Soils. J. Sustain Agr., 14 (4), p.67-84.

Lal R., (2006a), Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degrad. Dev., 17, p.197–209.

Lal R. (2006b), Managing soils for feeding a global population of 10 billion. J. Sci. Food Agr., 86, p.2273–2284.

Références bibliographiques

- Lal R., (2007), Carbon management in agricultural soils. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, p.303–322.
- Lal R., (2009), Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1, p.45–57.
- Lal R., (2011), Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy*, 36, p. S33–S39.
- Lal R., Kimble J.M, (1999), Tropical ecosystems and the global C cycle. *In*: Lal R., Kimble J.M., Stewart B.A. (eds), *Advances in soil sciences: Global climate change and tropical ecosystems*. p.3-31.
- Laris P., Foltz J.F., Voorhees B., (2015), Taking from cotton to grow maize: The shifting practices of small-holder farmers in the cotton belt of Mali. *Agric. Sys.*, 133, p.1–13.
- Le Bissonnais Y., (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. theory and methodology. *Eur. J. Soil. Sci.*, 47 (4), p.425–437.
- Lesschen J.P., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A., Heuvelink G.B.M., Veldkamp A., (2007), A spatially explicit methodology to quantify soil nutrient balances and their uncertainties at the national level. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 78, p.111–131.
- Lodoun T., Giannini A., Traoré P.S., Somé L., Sanon M., Vaksman M., Millogo-Rasolodimby J., (2013), Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environmental Development*, 5, p. 96–108.
- Ludwig B., (2000), Les déterminants agricoles du ruissellement et de l'érosion De la parcelle au bassin versant. *Ingénieries – EAT*, 22, p.37-47.
- Manu A., Bationo A., Geiger S.C., (1991), Fertility status of selected millet producing soils of West Africa with emphasis on phosphorus. *Soil Sci.*, 152 (5), p.316-320.
- Mando A., Ouattara B., Sedogo M., Stroosnijder L., Ouattara K., Brussaard L., Vanlauwe B., (2005), Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. *Soil Till. Res.*, 80, p.95–101.
- Mavunganidze Z., Madakadze I.C., Nyamangara J., Mafongoya P., (2014), The impact of tillage system and herbicides on weed density, diversity and

Références bibliographiques

yield of cotton (*Gossipium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.) under the smallholder sector. *Crop Prot.*, 58, p.25-32.

Mikkelsen J.H., Langohr R., (2004), Indigenous knowledge about soils and a sustainable crop production, a case study from the Guinea Woodland Savannah (Northern Region, Ghana). *Geogr. Tidsskr-Den.*, 104 (2), p.13-26.

Millogo D., (2002), Diagnostic des modes de gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture motorisés en zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, Option agronomie, IDR, UPB, Burkina Faso, 71p. + annexes.

Miriti J.M., Kironchi G., Esilaba A.O., Heng L.K., Gachene C.K.K., Mwangi D.M., (2012), Yield and water use efficiencies of maize and cowpea as affected by tillage and cropping systems in semi-arid Eastern Kenya. *Agr. Water Manage.*, 115, p.148–155.

Moreau R., (1983), Evolution des sols sous différents modes de mise en culture, en Côte d'ivoire forestière et préforestière. *Cah. ORSTOM., sér. Pédol.*, 20 (4), p.311-325.

Morin, J., (1993), Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. In: *Soil Tillage in Africa: Needs and Challenges*. *FAO Soils Bull.*, 69, p.95–128.

Mosaddegi M.R, Mahboubi A.A., Safadoust A., (2009), Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. *Soil Till. Res.*, 109, p.173-179.

Mugishawimana J., (2000), Impact de la pluviométrie des dix dernières années sur la mise en place des cultures mécanisées en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso : cas du coton et du maïs. Mémoire de fin d'études, Option Agronomie, IDR, UPB, Burkina Faso, 85p. + annexes.

Murungu F.S., Nyamugafata P., Chiduza C., Clark L.J., Whalley W.R., (2003), Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Soil Till. Res.*, 74, p.161-168.

Nabi G., Mullins C.E, Montemayor M.B., Akhtar M.S., (2001), Germination and emergence of irrigated cotton in Pakistan in relation to sowing depth and soils physical properties. *Soil Till. Res.*, 9, p.33-44.

Références bibliographiques

- Naudin K., Gozé E., Balarabe O., Giller K.E., Scopel E., (2010), Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in north Cameroon: a multi-locational on-farm assessment, *Soil Till. Res.*, 108, p.68-78.
- Nicou R., Poulain J., (1972), Les effets agronomiques du travail du sol en zone tropicale sèche. *Machinisme Agricole Tropical*, 37, p.35–41.
- Nidal H.A., (2003), Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil Till. Res.*, 74, p.25-35.
- Nunes M.R., Denardin J.E., Pauletto E.A, Faganello A., Pinto L.F.S., (2015), Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage c Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. *Geoderma*, 259–260, p.149–155.
- Nyakudya I.W., Stroosnijder L., (2015), Conservation tillage of rainfed maize in semi-arid Zimbabwe: A review. *Soil Till. Res.*, 145, p.184–197.
- Obi M.E, Ebo R.O., (1995), The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in Southern Nigeria. *Bioresource Technol.*, 51, p.117-123.
- Okalebo J.R., Gathua K.W., Woomer P.L., (2002), *Laboratory Methods of Soil and Plant Analysis: A Working Manual*, 2nd ed., Nairobi, 128 p.
- Ouattara B., Ouattara K., Serpantié G., Mando A., Sedogo M.P., Bationo A., (2007a), Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 76, p.331–339.
- Ouattara K. (2007), Improved soil and water conservatory managements for cotton-maize rotation system in the western cotton area of Burkina Faso. Doctoral thesis, Faculty of Forest Sciences, University of Agricultural Sciences, Swedish.
- Ouattara K., Ouattara B., Nyberg G., Sédogo M., Malmer A., (2007b), Ploughing frequency and compost application effects on soil infiltrability in a cotton-maize (*Gossypium hirsutum*-*zea mays* l.) rotation system on a ferric luvisol and a ferric Lixisol in Burkina Faso. *Soil Till. Res.*, 95 (1-2), p.288–297.
- Ouédraogo E., Mando A., Zombré N.P., (2001), Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 84, p.259–266.

Références bibliographiques

Ouédraogo E., Mando A., Brussaard L., Stroosnijder L., (2007), Tillage and fertility management effects on soil organic matter and sorghum yield in semi-arid West Africa. *Soil Till. Res*, 94, p.64-74.

Ouédraogo I., (2012), Facteurs déterminants le niveau de la mécanisation agricole et incidence de la mécanisation agricole sur les rendements du cotonnier et sur certains paramètres chimiques du sol. Mémoire de fin d'études. Option agronomie, IDR., UPB, Burkina Faso, 70 p. + annexes.

Ozer P., Hountondji Y-C., Laminou Manzo O., (2009), Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. Recent trends in the Eastern Niger rainfall regime (1940-2007). *Geo-Eco-Trop.*, 33, p.11–30.

Ozpinar S., Isik A., (2003), Effects of tillage, ridging and row spacing on seedling emergence and yield of cotton. *Soil Till. Res*, 75, p.19–26.

Pallo F.J.P., Sawadogo N., Sawadogo L., Sedogo M.P., Assa A., (2008), Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12 (3), p.291-301.

Peltre-Wurtz J., (1984), La charrue, le travail, l'arbre. *Cah. ORSTOM, Sér. Sci. Hum.*, 20 (3-4), p.633-646.

Perrin S., Lagandre D., (2005), Le coton africain face à la concurrence du marché mondial. Réunion des ministres de l'économie et des finances des Pays membres de la zone franc, 19 – 20 septembre 2005, Rapport Thématique Jumbo, p.23-58.

Prasad J.V.N.S, Srinivasa Rao Ch., Srinivas K., Naga Jyothi Ch, Venkateswarlu B., Ramachandrappa B.K., Dhanapal G.N., Ravichandra K., Mishra P.K., (2016), Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. *Soil Till. Res.*, 156, p.131–139.

R Development Core Team, (2012), A language and environment for Statistical Computing. R Development Core Team: Vienna, Austria.

Rasool R., Kukal S.S, Hira G.S., (2007), Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice–wheat system. *Soil Till. Res*, 96, p.64–72.

Références bibliographiques

- Ray D.K., Ramankutty N., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A., (2012), Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature communications*, 3, 1293, 7 p.
- Reboul C., (1977), Déterminants sociaux de la fertilité des sols: fertilité agronomique et fertilité économique. *Actes rech. Sci. Soc.*, 17-18, p.85-112.
- Renaudin C., (2007), Etude sur la vulnérabilité du paysannat cotonnier dans la région Est du Burkina Faso, Université Paul Valéry, Montpellier, 85 p.
- Resck D.V.S., Vasconcellos C.A., Vilela L., Macedo M.C.M., (1999), Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. *In: Lal R., Kimble J.M., Stewart B.A. (eds), Advances in soil sciences: Global climate change and tropical ecosystems*, p.169-196.
- Ripoche A., Crétenet M., Corbeels M., Affholder F., Naudin K., Sissoko F., Douzet J-M., Tittonell 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 Res.*, 177, p.37–48.
- Roose E., (1977), Erosion et ruissellement en Afrique de l’ouest. vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Travaux et documents de l’ORSTOM*, n°78, 78 p.
- Roose E., (1978), Pédogenèse actuelle d’un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du centre Haute-Volta. Gonsé: campagnes 1968 à 1974. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 26 (2), p.193-223.
- Roose E., (1981), Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux d’Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelles ou cultivées. *Travaux et documents de l’ORSTOM*, n°130, 569 p.
- Roose E., (1985), Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux. *Machinisme Agricole Tropical*, n°87, p.24-35.
- Rusinamhodzi L., (2015), Tinkering on the periphery: Labour burden not crop productivity increased under no-till planting basins on smallholder farms in Murehwa district, Zimbabwe. *Field Crops Res.*, 170, p.66–75.
- Saito K, Linquist B, Keobualapha B, Shiraiwa T, Horie T., (2006), Farmers’ knowledge of soils in relation to cropping practices: a case study of farmers

Références bibliographiques

in upland rice based slash-and-burn systems of northern Laos. *Geoderma*, 136, p.64–74.

Salinas-Garcia J.R., Matocha J.E., Hons F.M., (1997), Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of an Alfisol under dryland corn/cotton production. *Soil Till. Res*, 42, p.79-93.

Samaké O., Smaling E.M.A., Kropff M.J., Stomph T.J., Kodio A., (2005), Effects of cultivation practices on spatial variation of soil fertility and millet yields in the Sahel of Mali. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 109, p.335–345.

Sawadogo H., Bock L., Lacroix D., Zombré N.P., (2008), Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 12 (3), p.279-290.

Sedogo P.M., (1993), Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat, Université nationale de Côte d'Ivoire, 295 p. + annexes.

Serpantié G., (2003), Persistance de la culture temporaire dans les savanes cotonnières d'Afrique de l'Ouest : Etude de cas au Burkina Faso, Thèse de doctorat, INA P-G, 344 p. + annexes.

Serpantié G., Yoni M., Hien V., Abbadie L., Bilgo A., Ouattara B., (2004), Le carbone du sol dans les terroirs des savanes soudaniennes « cotonnières ». In : Roose E., De Noni G., Prat C., Ganry F., Bourgeon G., (Eds), *Gestion de la Biomasse, Erosion et Séquestration du Carbone, Land use, Erosion & Carbon Sequestration, Actes 1- Erosion du Carbone- Proceedings 1- Carbon Erosion*. Colloque international au Centre Agropolis, organisé par IRD, Réseau Erosion, UR SEQ-C, CIRAD, AGER, Programme Agronomie, 23 – 28 septembre 2002, Montpellier. p.348-370.

Servat E., Paturel J-E., Lubès-Niel H., Kouame B., Masson J-M., Travaglio M., Travaglio B., (1999), De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Rev. Sci. Eau.*, 12 (2), p.363-387.

Singh A., Phogat V.K., Dahiya R., Batra S.D., (2014), Impact of long-term zero till wheat on soil physical properties and wheat productivity under rice–wheat cropping system. *Soil Till. Res*, 140, p.98–105.

Sivakumar M.V.K., Gnoumou F., (1987), Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest: Burkina Faso. *Bulletin d'information*, n°23, ICRISAT, Pantcheru, Inde, 192 p.

Références bibliographiques

Six J., Elliott T., Paustian K., (2000), Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.*, 32, p.2099-2103.

Six J., Feller C., Denef K., Ogle S., De Moraes Sa J.C., Albrecht A., (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—effects of no-tillage. *Agronomie*, 22 (7-8), p.755–776.

Somé L., (1989), Diagnostic agroclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse de doctorat, Spécialité : physiologie, biologie des organismes et des populations, Agronomie, Université de Montpellier (Montpellier II), Science et technique de Languedoc, 321 p. + annexes.

Somé L., Sivakumar M.V.K., (1994), Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Burkina Faso. *INERA-ICRISAT*, 43 p.

Son G., (2004), Amélioration des techniques de préparation du sol dans les exploitations à traction animale de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso: développement et mise en œuvre d'un décompacteur à dents. Thèse de doctorat, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II du Maroc (Rabat), 278 p. + annexes.

Son G., Badraoui M., Kambiré F., Bourarach E., (2004), Effets du travail du sol sur la levée et le développement racinaire du cotonnier sur sols ferrugineux tropicaux lessives au Burkina Faso. *Revue H.T.E.*, N°129, p.51-58.

Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A., (1990), Assessment of soil nutrient depletion in Sub-Saharan Africa: 1983-2000. Volume II: Nutrient balances per crop and Land Use Systems. Report 28. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen.

Strudley M.W., Green T.R., Ascough II J.C., (2008), Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res.*, 99, p.4–48.

Sultan B., Bella-Medjo M., Berg A., Quirion P., Janicot S., (2010), Multi-scales and multi-sites analysis of the role of climate in cotton yields in West Africa. *Int. J. Climatol.*, 30 (1), p.58–71.

Tamia, A., Moreau R., Fortier M., Yoro G., (1999), Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement

Références bibliographiques

motorisé. *Etude et Gestion des Sols*, 6 (1), p.27-39.

Taonda S.J.B., Bertrand R., Dickey J., Morel J.L., Sanon K., (1995), Dégénération des sols en agriculture minière au Burkina Faso. *Cah. Agric.*, 4, p.363-369.

Tardieu, F., (1988), Analysis of the spatial variability of maize root density. *Plant Soil*, 107, p.267–272.

Tavares-Filho J., Tessier D., (1998), Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Parana (Brésil), *Etude et Gestion des Sols*, 9 (3), p.1-12.

Tejada M., Gonzalez J.L., (2008), Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*, 145, p.325–334.

Tersiguel P., (1992), Boko-Kari, village bwa : Les effets de la mécanisation dans l'aire cotonnière du Burkina Faso. Thèse de doctorat, géographie, Univ. Paris-X-Nanterre, 528 p.

Tersiguel P., (1995), Le pari du tracteur. La modernisation de l'agriculture cotonnière au Burkina Faso, ORSTOM, Collection A Travers Champs, Paris, France, 280 p.

Thierfelder C., Amézquita E., Stahr K., (2005), Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. *Soil Till. Res*, 82, p.211–226.

Thierfelder C., Mwila M., Rusinamhodzi L., (2013), Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: Long-term effects on soil quality and maize productivity. *Soil Till. Res*, 126, p.246–258.

Tittonell P., Vanlauwe B., Leffelaar P.A., Shepherd K.D., Giller K.E., (2005), Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya II. Within-farm variability in resource allocation, nutrient flows and soil fertility status. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 110, p.166–184.

Tittonell P., Muriuki A., Shepherd K.D., Mugendi D., Kaizzi K.C., Okeyo J., Verchot L., Coe R., Vanlauwe B., (2010), The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa – A typology of smallholder farms. *Agric. Sys.*, 103, p.83–97.

Traoré M., (2001), Diagnostic des facteurs d'adoption du travail du sol en sec dans la Zone Cotonnière Ouest. Mémoire de fin d'études, Option agronomie,

Références bibliographiques

IDR, UPB, Burkina Faso, 83 p.

Traoré M., Hema B., Barry O., Tamani S., Ouattara T.G., (2012), Community Soil Resources Management for Sub-Saharan West Africa: Case Study of the Gourma Region in Burkina Faso. *J. Agr. Sci. Tech.*, A 2, p.24-39.

Traore B., Wijk M.T.V, Descheemaeker K., Corbeels M., Rufino M.C., Giller K.E., (2014), Evaluation of climate adaptation options for Sudano-Sahelian cropping systems. *Field Crops Res.*, 156, p.63–75.

Usman K., Khan N., Khan M.U., Rehman A, Ghulam S., (2013), Impact of tillage and herbicides on weed density, yield and quality of cotton in wheat based cropping system. *J. Integr. Agric.*, 12 (9), p.1568-1579.

Valentin C., (1995), Sealing, crusting and hardsetting doils. *In: sealing, crusting and hardsetting soils in Sahelian agriculture Sahelian Agriculture. In. So H.B., Smith G.D., Raine S.R., Schafer B.M., Loch R.J, (eds), Proceedings of the Second International Symposium on Sealing, Crusting and Hardsetting Soils: Productivity and Conservation, held at The University of Queensland, 7 - 11 February 1994, Brisbane, Australia, Australian Society Of Soil Science Inc, p.53-76.*

Van Cauwenbergh N, Biala K, Biielders C.L., Brouckaert V., Franchois L., Garcia Ciudad V., Hermy M., Mathijs E., Muys B., Reijnders J., Sauvenier X., Valckx J., Vanclooster M., Van der Veken B., Wauters E., Peeters A., (2007), SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 120, p.229–242.

Verhulst P., (1838), A note on population growth. *Correspondence Mathematiques et Physiques*, 10, p.113–121.

WinklerPrins A.M.G.A., (1999), Local Soil Knowledge: A tool for sustainable Land Management. *Soc. Natur. Resour.*, 12, p.151-161.

WinklerPrins A.M.G.A., Sandor J.A., (2003), Local soil knowledge: insights, applications and challenges. *Geoderma*, 111, p.165–170.

Wright A.L., Hons F.M., Lemon R.G., McFarland M.L., Nichols R.L., (2007), Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. *Soil Till. Res.*, 96, p.19–27.

Wright A.L., Hons F.M., Lemon R.G., McFarland M.L., Nichols R.L, (2008), Microbial activity and soil C sequestration for reduced and conventional tillage cotton. *Appl. Soil Ecol.*, 38, p.168–173.

Références bibliographiques

Zagbaï H.S., Berti F., Lebailly P., (2006), Impact de la dynamique cotonnière sur le développement rural. Étude de cas de la région de Korhogo, au Nord et au Centre de la Côte d'Ivoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10 (4), p.325–334.

Zhang J-b., Yang J-s, Yao R-j, Yu S-p, Li F-r, Hou X-j., (2014), The Effects of Farmyard Manure and Mulch on Soil Physical Properties in a Reclaimed Coastal Tidal Flat Salt-Affected Soil. *J. Integr. Agric.*, 13 (8), p.1782-1790.

Zingore S., Delve R., Nyamangara J., Giller K., (2008), Multiple benefits of manure: The key to maintenance of soil fertility and restoration of depleted sandy soils on african smallholder farms. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 80 (3), p.267–282.

Zingore S., Titttonell P., Corbeels M., van Wijk M.T., Giller K.E., (2011), Managing soil fertility diversity to enhance resource use efficiencies in smallholder farming systems: a case from Murewa District, Zimbabwe. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 90, p.87–103.

Références bibliographiques

Annexes

Annexe 3.1: Fiche d'enquête sur les déterminants de la teneur de la matière organique des sols dans l'agrosystème cotonnier

1. Identification de l'exploitation

Nom et prénom du chef d'exploitation.....

Autochtone : **oui-non**

Nombre total de personnes en charge...

Nombre d'actifs dans la famille : hommes.....femmes.....

Faites-vous recours à une main d'œuvre extérieure pour des prestations temporaires ?

..... Si oui pour quelles prestations ?.....

2. Description de l'historique cultural de la parcelle

Année	Culture et superficie (ha)	Préparation du sol		Quantité de fumure	
		Technique	Equipement	Organique	Minérale
2010					
2009					
2008					
2007					
2006					

Distance approximative entre le champ et la maison ?.....

Qui est-ce qui a défriché ce champ ?..... Année ?.....

Quelle appréciation faites-vous de l'état de fertilité de la parcelle ?

1. riche / 2. Moyen / 3. Dégradé

Quelles sont les signes ?.....

3. Capital foncier : Terres cultivées

N° champs	Superficie (ha)	Champ de Case ou Brousse	Année de mise en culture / Sinon avant naissance	Avez-vous défriché vous-même le champ ?

NB : indiquer le champ où se trouve la parcelle expérimentale.

Quelle appréciation globale faites-vous de l'état de fertilité de l'ensemble des champs de l'exploitation ? 1. riche / 2. Moyen / 3. Dégradé

4. Productions agricoles

Culture	Superficie (ha) par culture entre 2006 et 2011					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011

Annexes

5. Cheptel

Espèces	Effectif
Bovins	
Ovins / caprins	
Porcins	
Asins	
Volailles	

6. Production de la fumure organique

Source	Quantité par saison (charretées)
Fosses compostières*	
Etable fumier	
Parcs au champ	
Enclos	
Ordures ménagères	

*mentionner si les fosses compostières sont stabilisées

Quantité totale de fumure organique évacuée au champ :

Par quel moyen de transport la fumure est évacuée vers les champs ?.....

Avez-vous bénéficié d'une aide (matérielle ou technique) pour le compostage ?.....

7. Contraintes de production de la fumure organique ?

Contraintes	Donnez une cote de 1 à 5 selon que le poids de la contrainte est faible à importante
Insuffisance de matières premières (végétales)	
Insuffisance d'eau	
Insuffisance de main d'œuvre	
Manque de matériels de construction de la fosse (stabilisée)	
Manque de matériels de transport	
Méconnaissance des techniques de compostage	
Autres :	

8. Gestion des résidus de récolte (côtes 0 à 5 des usages des résidus de chaque par culture).

Cultures	Coton	Maïs	Sorgho	Mil	Sésame	Niébé	Ara-chide	Soja	Riz
Utilisation									
Ramasser pour compostage				...	...			...	...
Ramasser pour animaux				...	...			...	...
Ramasser, usage domestique				...	...			...	...
Enfouissement				...	...			...	...
Laisser sur place pour anx				...	...			...	...
Brûler sur place				...	...			...	
Autres									

NB : citer les usages domestiques (combustible, construction,).

Annexe 3.2: Analyse des composantes principales: contribution et $\cos^2$ des variables

Variables quantitatives actives

	<i>Dim.1</i>	<i>Dim.2</i>	<i>Dim.3</i>
Contribution			
distance	33,44	1,13	23,58
COS	21,11	12,10	2,65
argiles_limons	19,08	0,02	5,83
coton.ha	7,21	20,82	9,30
ubt.ha	5,06	4,90	29,74
actifs.ha	4,17	25,76	0,62
engrais	3,50	8,06	7,00
itracteur	3,13	11,65	1,08
icoton	2,54	13,24	1,54
ilabour	0,76	2,32	18,66
$\cos^2$			
distance	0,59	0,02	0,24
COS	0,56	0,27	0,04
argiles_limons	0,51	0,00	0,09
coton.ha	0,19	0,46	0,14
engrais	0,17	0,34	0,20
itracteur	0,15	0,49	0,03
ubt.ha	0,13	0,11	0,45
icoton	0,13	0,55	0,04
actifs.ha	0,11	0,57	0,01
ilabour	0,04	0,10	0,53
Variables supplémentaires			
	<i>Dim.1</i>	<i>Dim.2</i>	<i>Dim.3</i>
$\cos^2$			
durée (variable quantitative)	0,07	0,02	0,05
Modalités des variables qualitatives			
allochtone	0,85	0,12	0,00
autochtone	0,85	0,12	0,00
sorgho	0,59	0,00	0,06
autres	0,32	0,08	0,32
maïs	0,25	0,20	0,44
coton	0,00	0,80	0,01

Annexe 4.1 Généralités sur les cotonniers

Les cotonniers représentent le plus grande groupe des fibres au monde (Brink & Archigan-Dako¹, 2012). Ils appartiennent à la famille des Malvacées et au genre botanique *Gossypium* dont quatre espèces furent domestiquées en plantes annuelles : *G. hirsutum* L., *G. barbadense* L., *G. arboreum* L., *G. herbaceum* L. (Lagière², 1966). La première est la plus cultivée au monde (90% de la récolte mondiale) sous climats tropical et tempéré selon différents modes de culture (Parry³, 1982 ; Berti⁴ *et al.*, 2006). La culture irriguée (55 % des surfaces et 75% de la récolte mondiale) concerne principalement la Chine, les États-Unis et l'Inde. La culture pluviale est généralisée en Afrique de l'Ouest et du Centre où elle s'identifie aussi par son caractère familial et la récolte manuelle (Berti *et al.*, 2006). Le coton est cultivé principalement pour sa fibre et ses graines oléo-protéagineuses.

Morphologie de la plante : Le cotonnier est un arbuste semé annuellement. Sa morphologie est influencée par la variété, le milieu, le mode et les méthodes culturales. Il est doté d'un système racinaire pivotant avec de nombreuses ramifications latérales. La profondeur moyenne du pivot est de 0,6 m (Lagière, 1966) mais elle peut atteindre 3 m selon la nature du sol et la profondeur de la nappe (Hearn & Constable⁵, 1984). La partie aérienne pouvant atteindre 1,5 m (Martin⁶, 1970; Parry, 1982) présente une architecture

¹ Brink, M., Archigan-Dako, E.G. (Eds), (2012), Ressources végétales de l'Afrique tropicale 16. Plantes à fibres [Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 16. Fibres, 2012] Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas / CTA, Wageningen, Pays-Bas, 659p.

² Lagière R. (1966), Le cotonnier. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, Collection Techniques agricoles et productions tropicales. 306p.

³ PARRY G., 1982. Le cotonnier et ses produits. Techniques agricoles et productions tropicales. Maisonneuve et Larose, Paris, France, 502 p.

⁴ Berti F., Hofs J.L., Zagbaï H. S., Lebaillly P., (2006), Le coton dans le monde, place du coton africain et principaux enjeux. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 10 (4), p.271–280.

⁵ Hearn A.B., Constable G., (1984), Cotton. In «The physiology of tropical food crops». P.R. Goldsworthy and N.M.E. Fisher. Bath, Avo, John Wiley and Sons: 495-527.

⁶ Martin, J-P., (1970), Le cotonnier et quelques plantes à fibres. Cours ENSA, 1969-70, Abidjan

dimorphe (Brink & Archagan-Dago, 2012). La tige principale et les 2 à 3 branches inférieures, naissant de bourgeons axillaires, sont monopodiaux et végétatifs tandis que les branches fructifères, naissant de bourgeons extra-axillaires, sont sympodiaux (Brink & Archigan-Dako, 2012). Ces dernières branches ont un aspect en zigzag. Les feuilles sont abondantes, glabres ou moins pileuses, palmées à cinq lobes. Les sympodes portent de boutons floraux ou « squares », qui évoluent en fleurs, puis en capsules ronde ou ovoïde et renfermant les graines et les fibres.

Besoins et développement de la plante : Le cotonnier est une plante héliophile. Le zéro de germination est de 12-15 °C. La croissance végétative est optimale entre 25 et 30 °C (Martin, 1970). Le besoin en chaleur est au moins de 1450 degrés jours (Lagandre⁷, 2005) et celui en eau de 700 mm. Les besoins quotidiens en eau sont au minima en début de végétation et pendant la maturation des capsules et au maximum pendant la floraison et la formation des capsules.

Le cycle végétatif des cotonniers dure 140 à 180 jours en fonction des variétés et des conditions du milieu. Ce cycle est subdivisé en 5 phases (Parry, 1982). La phase levée (6 - 12 jours), allant de la germination à l'étalement des cotylédons, est influencée par l'humidité du sol (90% de sa capacité de rétention en eau.) et la chaleur (30 °C). La phase plantule (20-35 jours) va de l'étalement des cotylédons au stade 3 – 4 feuilles. Cette phase plantule est déterminante pour la croissance ultérieure et la production de la plante. C'est en ce moment que s'amorcent les échanges au niveau des racines, d'où l'importance des conditions physiques et chimiques du sol et donc des techniques culturales. La phase préfloraison (30-35 jours) est marquée une

⁷ Lagandre D., (2005) Le secteur cotonnier africain en zone franc, entre succès et dépendance. Rapport thématique Jumbo, Département recherche de l'AFD. Réunion des ministres de l'économie et des finances des Pays membres de la zone Franc, 19-20 septembre 2015. p.59-88

croissance rapide et la formation des boutons floraux, suivie de la phase floraison (50 – 70 jours). Ces deux phases nécessitent de conditions satisfaisantes d'enracinement et de nutrition hydrominérale. Les déficiences hydrominérales sont l'une des principales causes de la chute des boutons floraux (Shedding ou abscission). En plus, la disponibilité en eau du sol doit permettre une transpiration thermorégularisante pendant la floraison. Les fleurs s'ouvrent, de bas en haut, dans l'ordre d'apparition des "squares" suivant un délai de 3 jours entre deux fleurs successives. L'autofécondation est prédominante (90-95% des cas) mais l'allogamie peut atteindre 40% s'il y a une présence importante d'abeilles à proximité (Brink & Archagan-Dako, 2012). Enfin, la phase maturation (50 – 80 jours) va de la formation à la déhiscence des capsules et a besoin d'une bonne insolation.

Pour produire 1600 kg de coton graine, les quantités de nutriments absorbés par la plante sont estimées à 104 kg de N, 18 kg de P et 66 kg de K (Brink & Archagan-Dako, 2012).

Annexe 4.2 Méthodologie de mesure de la stabilité structurale du sol (Le Bissonnais, 1996)

Préparation des échantillons

Puisque la battance se développe surtout sur sol peu couvert, les prélèvements ont été effectués à 35 JAS. Un échantillon composite, pour chacune des 48 parcelles élémentaires, est constitué à partir de prélèvements manuels dans la couche superficielle du sol (0-5 cm) en plusieurs endroits sur les 3 lignes centrales. Après séchage au soleil, ils sont tamisés pour obtenir des agrégats calibrés entre 2 et 5 mm en quantité suffisante pour la réalisation de trois répétitions par test de stabilité pour chaque parcelle, à raison de 5 g d'agrégats calibrés par test effectué.

Principe et mode opératoire des tests

Humectation rapide (HR) : Immersion des agrégats secs dans de l'eau déminéralisée pour tenter de reproduire l'éclatement lors d'une pluie intense. Les 5 g d'agrégats secs sont immergés pendant 10 min dans 50 ml d'eau déminéralisée, provoquant leur éclatement. Après avoir pipeté l'excès d'eau, ils sont alors transférés sur un tamis de 50 µm immergé dans l'éthanol à l'aide d'une pissette remplie d'éthanol.

Humectation lente (HL) : Humectation progressive des agrégats secs par capillarité pour illustrer la désagrégation par gonflement différentiel et par dispersion physicochimique résultant de pluies modérées ou d'une fonte de neige. Les 5 g d'agrégats secs sont humectés progressivement par capillarité en les disposant sur une colonne de sable soumise à une succion de -3 cm de colonne d'eau pendant une heure. Ensuite, ils sont aussi transférés sur le tamis de 50 µm.

Désagrégation mécanique (DM) : Agitation des agrégats préalablement immergés dans de l'alcool pour évaluer l'effet de l'impact des gouttes de pluie et la cohésion des matériaux humides indépendamment des phénomènes d'éclatement. Les 5 g d'agrégats secs sont d'abord immergés dans 50 ml

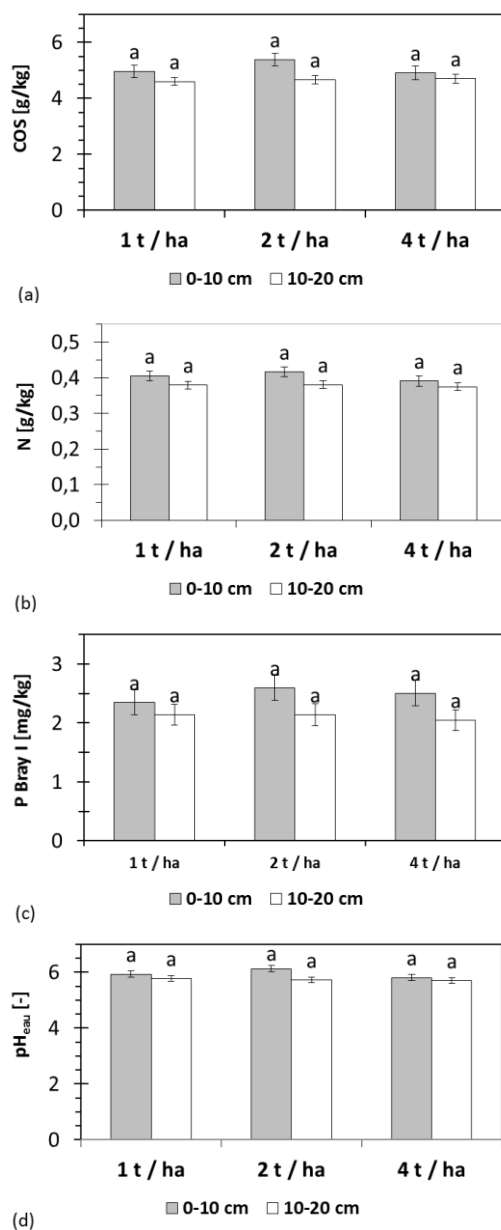
d'éthanol pendant 30 min. après avoir pipeté l'excès d'éthanol, les agrégats sont transférés à l'aide d'une pissette d'eau déminéralisée dans un bidon plastique de 250 ml contenant 50 ml d'eau déminéralisée. Le bidon est alors rempli à 200 ml, toujours avec de l'eau déminéralisée, et soumis à 20 retournements successifs. Après 30 min de décantation et pipetage de l'excès d'eau, les agrégats sont finalement transférés aussi sur le tamis de 50 μm .

Les agrégats transférés sur le tamis de 50 μm immergé dans de l'éthanol sont alors soumis durant 30 secondes à un mouvement hélicoïdal afin de faciliter le tamisage de la fraction inférieure à 50 μm . Cette fraction est alors entièrement récupérée, à l'aide d'une pissette d'éthanol, et placée à l'étuve à 105 °C pendant un minimum de 48 h.

Mesure de la distribution des particules résultantes

Une fois séchés, les échantillons sont passés pendant 45 secondes dans une colonne composée de tamis de 50, 100, 250, 500, 1000 et 2000 μm superposés par ordre croissant du diamètre de leurs mailles. Les différentes fractions sont alors pesées. La plupart des échantillons présentant une charge caillouteuse importante, les agrégats de la fraction supérieure à 2 mm sont écrasés après avoir été pesés. Ainsi, la masse des graviers obtenue est retranchée de la masse de cette fraction ainsi que de la masse initiale. La fraction inférieure à 50 μm est obtenue en retranchant du poids initial, la somme des fractions supérieures à 50 μm . La stabilité structurale est alors estimée pour chaque traitement et chaque test par le calcul du diamètre moyen pondéral (Eq. 4.3).

Annexe 4.3: Niveau moyen des paramètres chimiques à la profondeur 0-10 et 10-20 cm du sol en fonction de la dose de compost après un cycle de culture coton-maïs-coton: COS (a), N (b), P Bray I (c), pH_{eau} (d). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-standard



Publications et Conférences

Publications et conférences dans le cadre de la thèse

Communications orales

Kambiré F., Biielders C.L., (2016), Manure band placement and reduced tillage as means to improve the sustainability of the cotton-based systems in Burkina Faso: effect on soil properties and cotton yields. International Conference on Conservation Agriculture and Sustainable Land Use, 31 May - 02 June 2016, Hungary, Budapest.

Kambiré F., Biielders C.L., Drion R., Sedogo P.M., Traoré K., (2013), Effect of reduced tillage and manure on soil physical properties and cotton yields in South-sudanian region of Burkina Faso. Conference on desertification and land degradation, 17-18 June 2013, Ghent, Belgium.

Poster

Kambiré F., Biielders C.L., Drion R., Sedogo P.M., Traoré K., (2013), Effect of reduced tillage and manure on soil physical properties and cotton yields in South-sudanian region of Burkina Faso.

Publications dans des revues avec comité de lecture

Kambiré F., Biielders C.L., Kestemont M.P., (2015), Optimizing indigenous soil fertility assessment. A case study in cotton-based systems in Burkina Faso. Land Degrad. Develop. Published online in Wiley Online Library DOI: 10.1002/ldr.2381

Publications et Conférences

Publications sous forme de résumé

Kambiré F., Biielders C.L., Manure band placement and reduced tillage as means to improve the sustainability of the cotton-based systems in Burkina Faso: effect on soil properties and cotton yields. Madarász B., Tóth A. (Eds), International Conference on Conservation Agriculture and Sustainable Land Use (31 May - 02 June 2016, Hungary, Budapest), In: Book of Abstracts, MTA RCAES, Geographical Institute, 2016, p.48.

http://caslu2016.mtafki.hu/images/CASLU_abstract_book_0623.pdf

Kambiré F., Biielders C.L., Drion R., Sedogo, M.P., Traoré K., *Effect of reduced tillage and manure on soil physicals properties and cotton yields in south-sudanian region of Burkina Faso*. Desertland - Conference on Desertification and Land Degradation (Ghent, Belgium, du 17/06/2013 au 18/06/2013). In: *Book of abstracts*, Universiteit Gent, 2013, p. 39. <http://hdl.handle.net/2078.1/130415>