

Ministère de l'Agriculture

République du Mali  
Un Peuple – Un But – Une Foi

-----  
Institut d'Economie Rurale

-----  
Direction Scientifique

-----  
Programme COTON  
-----

## **14ème Session du COMITE DE PROGRAMME**

### **RAPPORT DE RECHERCHE DES CAMPAGNES 2005-2006, 2006-2007 et 2007-2008**

**Titre du projet : Amélioration de la productivité des exploitations agricoles – Semis-Direct sur Couvertures Végétales**

**Code :** Cot 6-3

**Date de démarrage :** 2005

**Date de fin :** 2007

**Chef du projet :** Fagaye SISSOKO  
Patrice AUTFRAY

Source de financement : AFD

Date de rapport, septembre 2008

## 1. Introduction

Le Projet SCV (Semis-Direct sur Couvertures Végétales) est lié à un partenariat de l'IER (Institut d'Economie Rurale) et du CIRAD (Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement). Ce Projet est intégré au sein du PASE (Programme d'Amélioration des Systèmes d'Exploitation en Zone Cotonnière).

Lors de cette première phase du Projet l'accent sera plus particulièrement mis sur les aspects techniques au niveau de la parcelle avec l'objectif de pouvoir convaincre les agriculteurs et les OP de l'intérêt de ces nouvelles alternatives. Ce n'est seulement que quand ce référentiel technique sera établi que nous aurons plus d'arguments pour agir aux niveaux d'échelle supérieurs, à savoir l'exploitation agricole, le terroir villageois ou une communauté de terroirs. Il est aussi tout essentiel pour pouvoir associer pleinement les agriculteurs aux processus d'innovations de bien définir individuellement les contraintes à résoudre à l'échelle de l'exploitation. L'ambition de notre projet est aussi à travers la mise au point d'alternatives de mieux connaître par cette forte opposition technique apparente entre systèmes actuels avec travail du sol et SCV, de bien faire ressortir les contraintes et atouts de chaque mode de gestion des sols (labour, scarifiage, ...).

Au Mali, les expérimentations entreprises en zone cotonnière pour maintenir durablement l'agriculture ont porté essentiellement sur l'entretien du statut organique des sols par application de fumure organique. Les techniques proposées ont permis d'apporter des solutions qui puissent être appliquées à court terme par les agriculteurs, mais ces recommandations ne peuvent pas être utilisées par la grande majorité d'agriculteurs qui disposent souvent de quantités limitées en fumure organique. Ces techniques sont par ailleurs très exigeantes en terme de travail. Ainsi le recours à une fertilisation organique produite *in-situ* par l'application de nouveaux modes de gestion, intégrant des plantes le plus souvent fourragères, mérite d'être testée pour la zone cotonnière. Ces systèmes créés au départ par des agriculteurs du milieu tropical ont été soutenus par de nombreuses institutions de recherche et de développement.

Les SCV bien conduits sont supposés remplacer le travail du sol à la traction animale (labour ou scarifiage) sans perte de rendement pour le coton ou la céréale suivante. Ces avantages ne seront réels et effectifs qu'avec la présence d'un minimum de résidus de récolte sur les parcelles permettant une meilleure conservation de l'humidité au niveau du sol. Associées à la présence de résidus, les dates de semis pourront être plus précoces qu'en systèmes travaillés.

Sur le plus long terme cette évolution des pratiques pourrait aboutir à une forme très intégrée des activités d'élevage aux activités agricoles qui s'inscrit, avec notamment le passage d'une gestion « ouverte » et collective des ressources fourragères, à une gestion beaucoup plus fermée et individuelle de celles-ci, voir de construction progressive de bocages. Ces bouleversements du paysage et des pratiques qui touchent toutes les composantes agricoles, cultures, arbres et élevage, sont actuellement déjà perceptibles aux abords des zones urbaines où les zones mises en valeur sont délimitées par un système de haies permettant tout d'abord un marquage foncier du territoire.

## **2. Objectifs du projet**

### **2.1. Objectif général**

Ce travail vise à mettre au point, de manière participative, de nouveaux modes de gestion des sols qui permettent une mise en culture (rotations et successions culturales) durable attractive car productive et compatible avec les contraintes des paysans.

### **2.2. Objectifs spécifiques**

- Créer avec les agriculteurs plusieurs options en termes de systèmes de culture offrant des réponses concrètes à court terme aux principales contraintes techniques et socio-économiques ;
- Contribuer à l'évolution des pratiques traditionnelles vers une agriculture stable et plus rémunératrice en adaptant les techniques de semis direct sur couvertures végétales en zones de production cotonnière ;
- Mettre en évidence les bases agronomiques de fonctionnement des systèmes de culture sur couverture végétale (SCV), en les comparant avec les systèmes de culture actuellement pratiqués ;
- Définir les stratégies d'utilisation de la biomasse produite pour une meilleure intégration élevage-agriculture.

## **3. Matériel et méthodes**

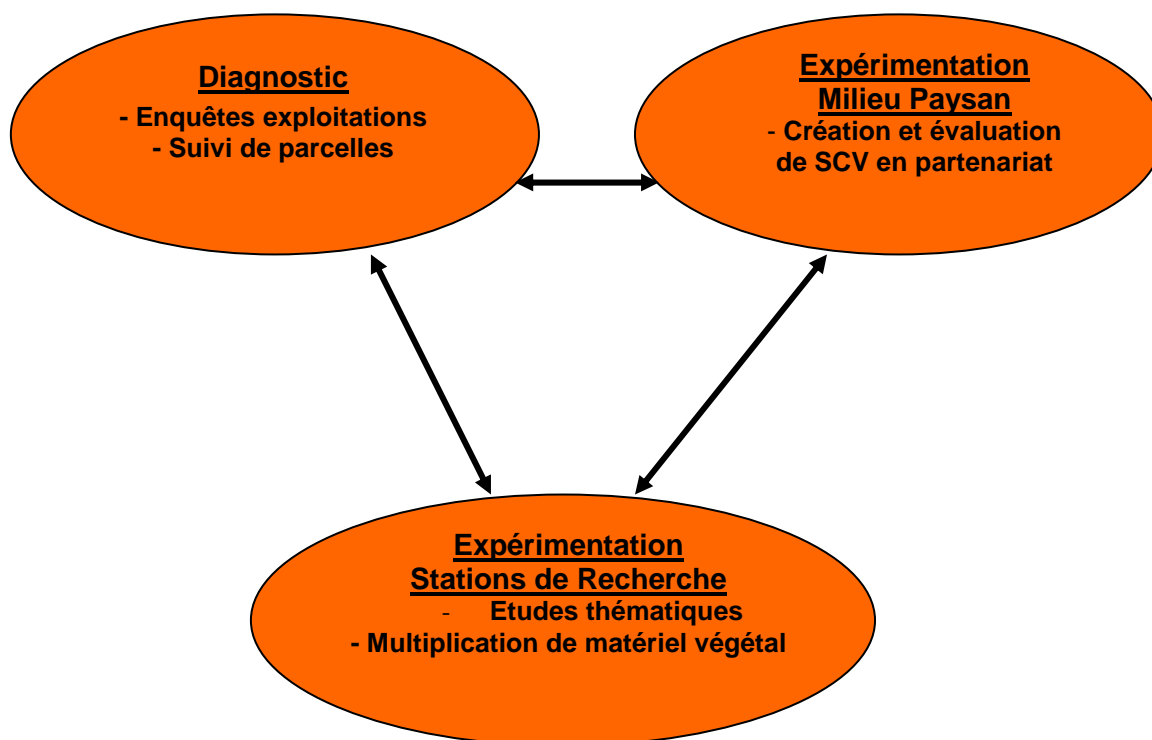
### **3.1. Démarche globale**

La démarche adoptée par le Projet SCV se caractérise par 3 niveaux d'études complémentaires (Figure 1) :

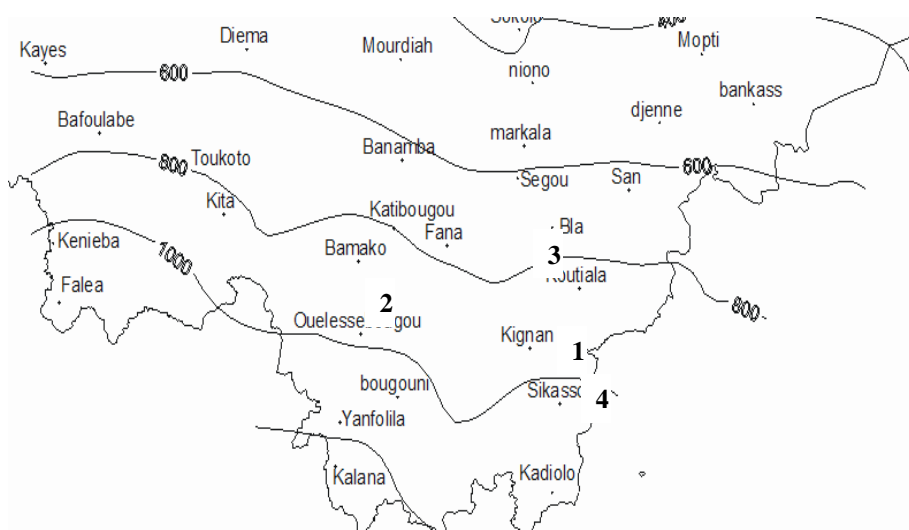
- Un diagnostic permanent à l'échelle de l'exploitation agricole et de leurs parcelles ;
- Des essais en milieu paysan où les SCV sont comparées avec les pratiques conventionnelles;
- Les essais en station en appui au milieu paysan.

Sur ces 3 niveaux d'études c'est le système de culture « coton-céréales » (rotations biennale ou triennale) qui fait l'objet d'études en inter-action avec le niveau de fertilité de sol (type, fumure organique et engrais) et la disponibilité en facteurs de production tels que les herbicides et les outils de traction animale.

La parcelle et le système de culture sont donc nos principaux objets d'études, même si nous nous devons nous intéresser nécessairement à l'intégration des troupeaux à nos innovations.



➤ Figure 1. Schéma représentant la démarche du Projet SCV.



➤ Figure 2. Localisation des sites du Projet SCV : Milieu Paysan ; 1, Fama, 2, Dafara, 3, Nankorola/Dentiola ; 4, Station, Farako/Finkolo.

### 3.2. Diagnostic

#### 3.2.1 Enquêtes exploitations

Les enquêtes sont réalisées en fonction de critères socio-économiques sur la base des données existantes en matière de typologie des Unités de Production, à savoir celle de la CMDT (sur des critères d'équipement) et sur celle en cours au niveau du PASE (sur des critères de

nombre d'actifs par superficie et des importances relatives des différentes cultures au niveau de l'exploitation).

Des questionnaires très simples ont été établis au niveau de l'exploitation agricole (ou UP, unité de production) qui au Mali concerne un ensemble de ménages, avec un responsable d'UP, des champs essentiellement collectifs et des parcelles individuelles. On a relevé les structures de l'exploitation (actifs, superficie, matériel, assolement) et aussi des éléments sur les dynamiques actuelles (évolution récente des superficies des cultures et des rendements), les sources de revenus, les moyens de gérer la fertilité du sol (engrais, fumures organiques).

➤ Tableau 1. Caractéristiques principales des villages et des exploitations partenaires du Projet SCV.

Milieu Physique		Villages		Exploitations Partenaires du Projet SCV								
				Nombre	Superficie moyenne cultivée (ha)	Jachère disponible (%)	Assolement moyen (%) Nombre moyen d'opérations en culture attelée par cycle					
Zone	Roche mère	Nom	Km <sup>2</sup>				Habitants / km <sup>2</sup>	Bovins / km <sup>2</sup>	Coton	Maïs	Sorgho	Mil
Sikasso	Grès	Fama	109	28	31	16	16.8	12.8	48 3.0	32 3.0	10 2.6	10 2.5
Ouéléssébougou	Schiste	Dafara	28	34	13	18	11.5	36.0	30 2.5	8 4.1	42 1.8	20 2.0
Koutiala	Grès	Nankorola / Dentiola	70	64	45	19	11.5	4.3	30 4.3	15 4.1	23 3.3	32 3.0

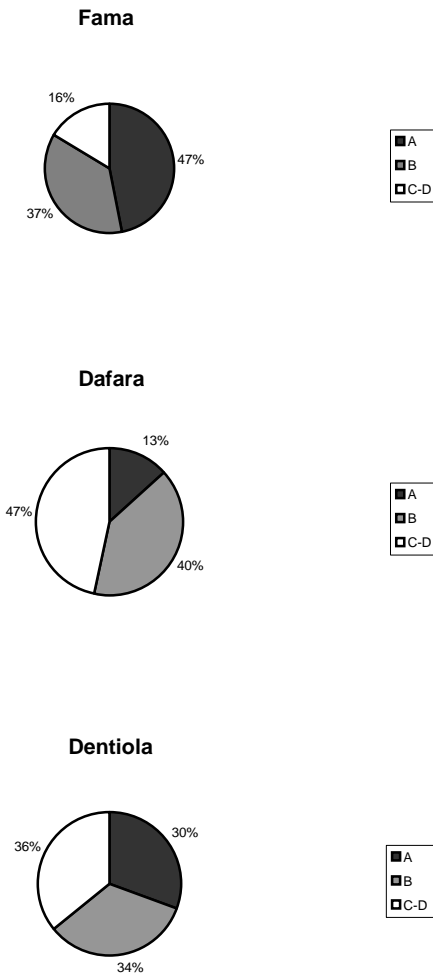
Nos villages, tous cotonniers, se différencient par de nombreux aspects, à la fois physique et humains et agronomiques (Tableau 1). Ils semblent représentés des 3 zones bien distinctes du sud Mali. Pour être bien représentatif, il manque un site en zone plus humide de la zone cotonnière (pluviométrie moyenne annuelle autour de 1.200 mm).

Chaque village possède également une céréale dominante dans l'assolement :

- le maïs à Fama ;
- le sorgho à Dafara ;
- le mil à Nankorola/Dentiola.

Chaque village possède également des différences au niveau des types d'exploitations dominantes selon la typologie CMDT (Figure 3) :

- type A à Fama ;
- type C/D à Dafara ;
- type B à Nankorola/Dentiola.



➤ Figure 3. Répartition des exploitations par type CMDT suivant les villages du Projet SCV.

### 3.2.2 Suivi de parcelle : diagnostic fertilité des sols

➤ Tableau 2. Caractéristiques principales moyennes des parcelles suivies.

Site	Nombre	Taille (ha)	Durée de mise en culture (années)	Distance au village (km)	Apport recyclé MS (t/ha/an)
Fama (Sikasso)	72	3.8	19	3.8	2.3
Dafara (Ouéléssébougou)	121	1.9	15	2.2	0.7
Nankorola/Dentiola (Koutiala)	88	2.6	40	1.9	4.4

Le travail s'est effectué au niveau de 3 villages sur l'ensemble des parcelles collectives (Tableau 2) des exploitations précédentes. Les variables censées jouer sur le statut organique des sols ont été estimées: assolement de la parcelle, nombre d'opérations de travail du sol en

culture attelée, position topographique, distance par rapport au village, quantités d'apports recyclés, nombre d'années de mise en culture, texture du sol.

La parcelle a été définie comme une unité d'espace ayant une date de mise en culture homogène et un type de système de culture dominant.

Les sols étudiés sont de type ferrugineux tropicaux (Alfisol, USA ; Luvisol, FAO). Sur les 281 parcelles les prélèvements ont été faits sur les 10 premiers centimètres de sol au niveau du billon (10 à 20 cm de hauteur) ou sur sol plat avec 12 prélèvements sur la principale diagonale de chaque parcelle.

Sur une aliquote d'environ 500 g séchée à l'air ambiant, un tamisage a permis de déterminer le poids des Eléments Grossiers (EG ; fraction > à 2 mm) exprimée en % par rapport au poids total de sol. Sur la terre fine < à 2 mm un test textural manuel a été réalisé sur l'ensemble des 280 échantillons pour estimer le pourcentage d'argiles selon la méthode mise au point par Kanté et al. (2003). Une détermination de la couleur du sol humide et sec a été faite avec le guide Munsell.

Des prélèvements et les mêmes opérations précédentes ont été effectués sur trois situations de sols non-cultivés sur chaque site sur 0-10 cm

Sur 15 échantillons sélectionnés une analyse granulométrique classique à été effectuée (granulomètre automatique TEXSOL ; norme NF X31-107) pour permettre d'établir une corrélation entre les tests manuels et les mesures de granulométrie faite au laboratoire et une estimation du taux en limons fin par une estimation de la teneur en argiles.

Sur 280 échantillons le C organique a été déterminé après un broyage d'un échantillon de quelques grammes de terre fine (combustion sèche sur analyseur élémentaire THERMOQUEST CN 2100 ; norme NF ISO 10694 1999).

Sur 24 échantillons sélectionnés des analyses chimiques classiques de sol ont été effectuées avec la détermination en des C et N totaux du selon la même méthode précédente et les analyses suivantes :

- pH eau ;
- phosphore assimilable Olsen-Dabin;
- somme des bases échangeables ;
- capacité d'échange cationique.

Pour certaines analyses, les sols ayant un taux en EG > à 20% ont été exclus.

Des relations ont été faites entre les teneurs en éléments fins et le % en C pour les sols non gravillonnaires cultivés et les sols non-cultivés

Les densités apparentes (DA) sur sols non cultivés et sols cultivés non gravillonnaires ont été mesurées par l'enfoncement vertical de cylindre de 100 cm<sup>3</sup> de volume en moyenne. Les DA moyennes ont été les suivantes :

- sols non-cultivés sur les sites à 1.000 mm, 900 mm et 800 mm, respectivement, 1.34, 1.35, et 1.34 ;
- sols cultivés sur les sites à 1.000 mm, 900 mm et 800 mm, respectivement, 1.47, 1.51 et 1.61.

L'estimation des stocks en surface du C du sol a été faite à masses constantes de sol c'est-à-dire en prenant comme référentiel les densités apparentes de sol les plus élevées.

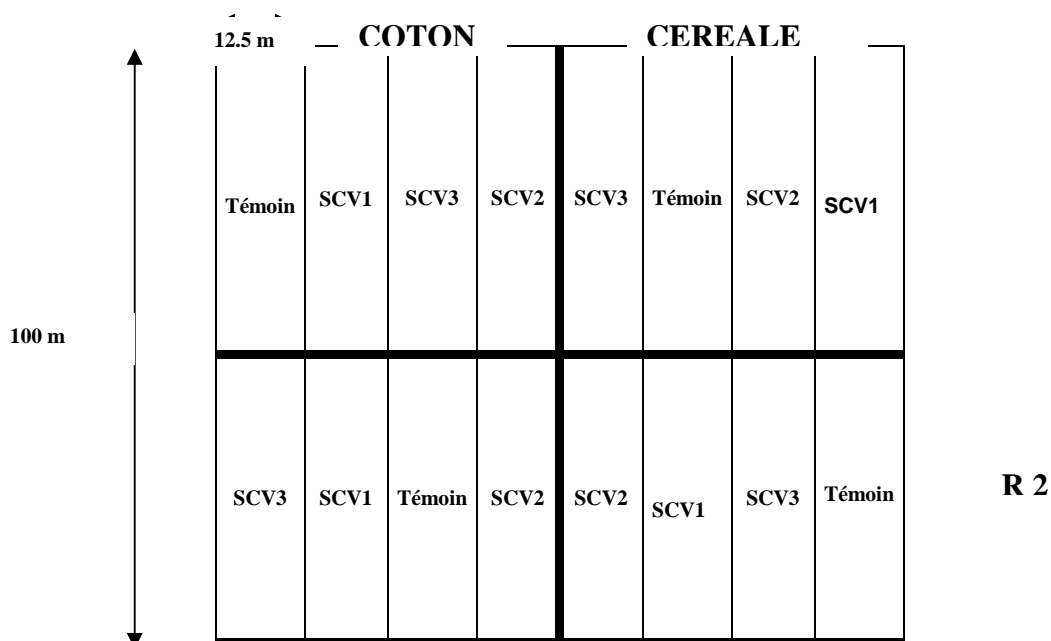
Le niveau de seuil critique pris pour C pour l'épaisseur de sol 0-10 cm est celui de Feller et Beare (1997) d'après une synthèse des travaux de Pieri (1989) pour la fertilité des sols en zone semi-aride.

$$C\% = (0.32 (\% A + LF) + 0.87) / 10$$

### 3.3. Expérimentation et tests en milieu paysan SCV

Le choix des agriculteurs expérimentateurs et de tests s'est effectué dans chaque village après un contact avec les responsables des d'OP de ces villages et l'avis de l'agent technique présent sur le terrain pour les sites où la CMDT est présente (Fama et Nankorola/Dentiola). A Dafara (zone OHVN) c'est un responsable d'OP qui a fait le choix pour nous avec le souci de toucher un certain nombre de village autour (présence d'une seule OP).

Le nom des 21 agriculteurs en 2007 pour les expérimentations est mentionné dans le Tableau 3 avec le précédent à la culture du coton et la nature de la céréale. Au niveau du Tableau 4 nous avons mentionné le nom des agriculteurs partenaires pour les tests (46 au total en 2007) avec la culture pratiquée et le précédent cultural.



➤ Figure 4. Plan d'une expérimentation pour une rotation coton-céréale pour 1 hectare.



➤ Tableau 3. Description des parcelles d'expérimentations sur les 3 sites en milieu paysan.

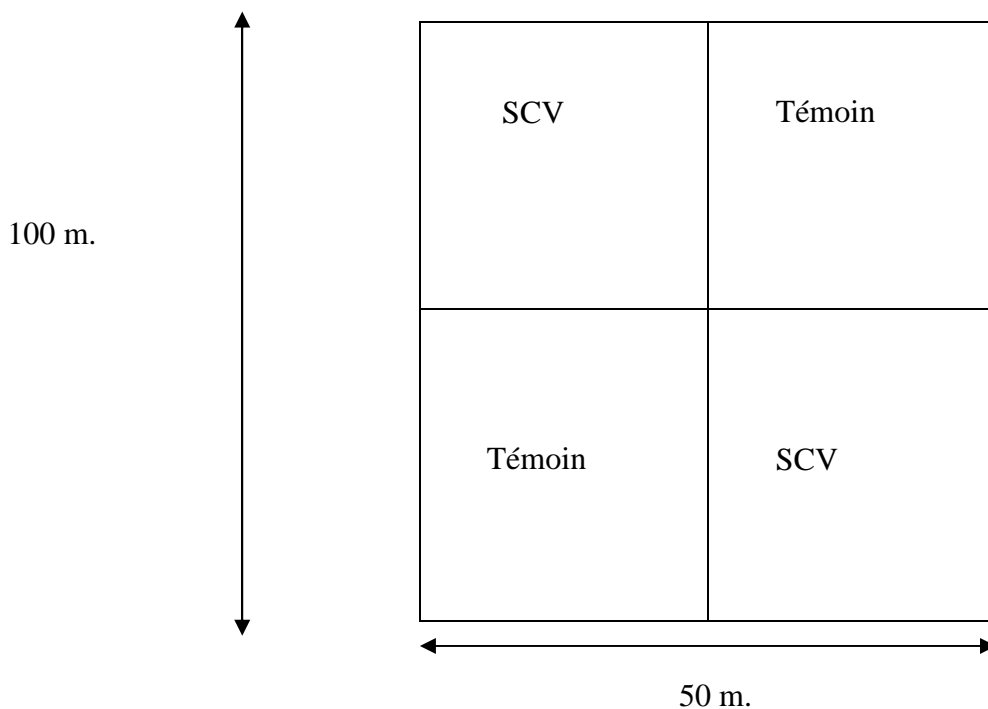
<b>Site / Village</b>	<b>Agriculteur</b>		<b>Précédent au coton</b>	<b>Précédent à la céréale</b>	<b>Nature de la céréale</b>
Fama	Bakary	Dembélé	sorgho	coton	Maïs
Fama	Moussa	Sanogo	sorgho	coton	Mil
Fama	Ousmane	Diarra	maïs	coton	Maïs
Fama	Tibogo	Dembélé	Maïs	coton	Maïs
Fama	Ngolo	Dembélé	Maïs	Maïs	Sorgho
Fama	Niamafily	Dembélé	Maïs	coton	Maïs
Fama	Kolotan	Bengaly	Maïs	coton	Maïs
Dafara	Iriba	Samaké	sorgho	coton	sorgho
Diefing	Nto	Coulibaly	sorgho	coton	sorgho
Marako	Madou	Coulibaly	sorgho	coton	sorgho
Kodialan	Komba	Samaké	sorgho	coton	sorgho
Dafara	Oudiouma	Traoré	sorgho	coton	Maïs
Dafara	Mpan	Samaké	sorgho	coton	sorgho
Korona	Daouda	Diarra	sorgho	coton	sorgho
Dentiola	Issa	Mallé	Maïs	coton	Maïs
Dentiola	Madou Lassina	Mallé	Sorgho	coton	Sorgho
Dentiola	Adama	Mallé	Sorgho	coton	Sorgho
Dentiola	Drissa	Diallo	Mil	Mil	Sorgho
Nankorola	Adama	Coulibaly	Sorgho	coton	Sorgho
Nankorola	Hassim	Coulibaly	Mil	coton	Sorgho
Nankorola	Madou Kafa	Coulibaly	Maïs	coton	Maïs

Pour les expérimentations (milieu paysan contrôlé) le dispositif expérimental est constitué de 2 sous-blocs cultureux (1 en coton et 1 en céréale) avec chacun 4 traitements répétés 2 fois, disposés aléatoirement (Figure 3). Ce choix est un compromis entre la nécessité d'être représentatif (rotation biennale), de proposer un minimum de diversité (3 SCV comparés à 1 traitement de la pratique paysanne du moment), de contrôler un minimum de variabilité du milieu (2 répétitions) et de mesures des temps de travaux (taille minimale d'une parcelle élémentaire de 625 m<sup>2</sup>). Ce type de dispositif offre également l'avantage d'être visuel pour les agriculteurs (convaincre à l'œil) et permettre un minimum de validation statistique (bien que cela ne soit pas essentiel dans une démarche de création d'innovation).

Pour les parcelles tests (milieu paysan semi-contrôlé) le dispositif expérimental est constitué de 2 sous-blocs, soit en coton soit en céréale avec chacun 2 traitements répétés 2 fois (Figure 4).

➤ Tableau 4. Description des parcelles tests sur les 3 sites en milieu paysan.

Site / Village	Agriculteur		Culture 2007	Précédent 2006
Fama	Chaka	Sogodogo	Maïs	Coton
Fama	Kary	Dembélé	Sorgho	Mil
Fama	Kalifa	Sanogo	Maïs	Coton
Fama	Aboudou	Dembélé	Coton	Sorgho
Fama	Totigui	Dembélé	Sorgho	Coton
Fama	Solomane	Dembélé	Coton	Maïs
Fama	Salia	Berthé	Maïs	Coton
Fama	Issouf	Dembélé	Coton	Maïs
Fama	Moussa	Coulibaly	Coton	Maïs
Dafara	Lamine Sassi	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Lamine Sassi	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Toroba	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Toroba	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Bemba	Samaké	Sorgho	Coton
Dafara	Bemba	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Madou	Samaké	Sorgho	Coton
Dafara	Madou	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Yacouba Meri	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Yacouba Meri	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Keriba	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Keriba	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Sirimina	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Sirimina	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Fousséni	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Fousséni	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Soungalo	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Soungalo	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Seydou	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Seydou	Traoré	Coton	Sorgho
Dafara	Kériba Diarra	Traoré	Sorgho	Coton
Dafara	Kériba Diarra	Traoré	Coton	Sorgho
Dentiola	Abdoulaye	Konaté	Sorgho	Coton
Dentiola	Abdoulaye	Konaté	Coton	Sorgho
Dentiola	Issa	Coulibaly	Coton	Sorgho
Dentiola	Youssouf	Mallé	Sorgho	Coton
Dentiola	Madou	Tembela	Sorgho	Coton
Dentiola	Alou	Sanogo	Mil	Sorgho
Dentiola	Alou	Sanogo	Coton	Sorgho
Dentiola	Issa	Samakoro	Mil	Sorgho
Dentiola	Youssouf B	Mallé	Sorgho	Mil
Dentiola	Youssouf B	Mallé	Coton	Sorgho
Nankorola	Salia	Coulibaly	Mil	Coton
Nankorola	Madou	Fomba	Maïs	Coton
Nankorola	Bakary Djan	Coulibaly	Mil	Coton
Nankorola	Oumar	Traoré	Sorgho	Sorgho
Nankorola	Malik C	Coulibaly	Mil	Coton



➤ Figure 5. Plan d'un test coton ou céréale pour 0.5 hectare.

Dans les choix techniques pour 2007 (Tableaux 5, 6, 7 et 8) il a été défini avec les agriculteurs les options techniques à partir premièrement des résultats de l'année passée :

- de pouvoir semer à densités plus denses en resserrant les inter-rangs ;
- de tester différents modes de semis ;
- de comparer sur coton le Diuron en prélevée (traitement efficace et très peu coûteux) au Cotodon (herbicide vulgarisé mais plus cher) ;
- de tester différentes légumineuses en association avec le maïs et de proposer le *Brachiaria* en association avec le sorgho.

La variété de coton utilisée était celle recommandée pour le secteur CMDT ou OHVN : STAM 59 A pour Fama; NTA 90-5 pour Dafara ; NTA 93-5 pour Nankorola / Dentiola. Avec le sorgho et le mil, une variété locale est choisie dans chaque village concerné. Pour le maïs, la variété « débagnuman » est apportée par l'IER. Sur T2, T3, T4, les semences ont été traitées avec une association insecticide et fongicide (Tableau 3) sur la base d'un sachet pour 10 kg de semences et 10 kg/ha de semences pour le sorgho et de 25 kg/ha de semences pour le maïs.

- Tableau 5. Evolutions des Itinéraires techniques communs des traitements testés sur les expérimentations coton de 2005 à 2007 en milieu paysan.

Année	T1 Témoin	T2 SCV1	T3 SCV2	T4 SCV3
2005	Labour et semis attelé dominant à Fama Scarifiage et semis attelé ou manuel à Dafara Scarifiage et semis attelé dominant à Nankorola/Dentiola	Semis-Direct manuel au sommet du billon avec 2 ou 3 programmes herbicides ; rajout de pailles sur SCV3		
2006		Semis-Direct au semoir attelé ou manuel au sommet ou au creux du billon ou sur sol plat avec 2 ou 3 programmes herbicides		
2007		Semis-Direct au semoir attelé ou manuel sur sol plat avec 2 ou 3 programmes herbicides		

- Tableau 6. Itinéraires techniques communs des traitements testés sur les expérimentations céréales de 2005 à 2007 en milieu paysan.

Année	T1 Témoin	T2 SCV1	T3 SCV2	T4 SCV3
2005	Labour et semis attelé dominant à Fama Semis-direct manuel ou scarifiage et semis attelé à Dafara Scarifiage et semis attelé dominant à Nankorola/Dentiola	Semis-Direct manuel au sommet du billon avec 2 ou 3 programmes herbicides ; rajout de pailles sur SCV3		
2006		Semis-Direct au semoir attelé ou manuel au sommet ou au creux du billon ou sur sol plat avec 1 ou 2 programmes herbicides		
2007		Semis-Direct au semoir attelé ou manuel sur sol plat avec 1 ou 2 programmes herbicides		

- Tableau 7. Itinéraires techniques sur les tests coton en 2007 en milieu paysan.

Pratique	Témoin	SCV
Apport de fumier	Choix de l'agriculteur selon son programme au niveau de l'exploitation	
Présence de pailles	Pratique habituelle	Conservation des résidus de céréales en place
Travail du sol avant semis	Pratique habituelle	Aucun ou scarifiage localisé des billons pour une mise à plat
Modalités de semis	Pratique habituelle : au semoir classique	Semis avec semoir-épandeur Fitarelli ou Djiré
Ecartement entre lignes de semis	Habituel	Négocier avec l'agriculteur un reserrément des interlignes à 60 cm ; autrement faire comme habituellement
Traitement de semences	Pratique habituelle	Selon le mode semis pratiqué : si délintage traitement de semences au Caïman
Fertilisation complexe	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Fertilisation complexe au semis
Traitement herbicide au semis	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Traitement herbicide après semis : associant Action 80 et Round-Up Turbo 450 sur R1 ; Traitement herbicide associant Cotodon et Round-Up Turbo sur R2

Traitements de post-levée	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Gallant ou Ikokadigné
Scarifiage	Selon le désir de l'agriculteur	Non
Buttage	Selon le désir de l'agriculteur	Non
Fertilisation urée	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Selon la disponibilité de l'agriculteurs
Protection phytosanitaire	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Selon la disponibilité de l'agriculteurs

➤ Tableau 8. Itinéraires techniques sur les tests céréales en 2007 en milieu paysan.

Pratique	Témoin	SCV
Apport de fumier	Choix de l'agriculteur selon son programme au niveau de l'exploitation	
Présence de pailles	Pratique habituelle	Conservation des résidus de coton ou de céréales en place
Travail du sol avant semis	Pratique habituelle	Aucun ou scarifiage localisé des billons pour une mise à plat
Modalités de semis	Pratique habituelle : au semoir classique	Semis avec semoir-épandeur Fitarelli ou Djiré
Ecartement entre lignes de semis	Habituel	Habituel ou en cas de non pratique de culture associée reserrer les interlignes à 60 cm
Traitement de semences	Pratique habituelle	Selon le mode semis pratiqué : si délintage traitement de semences au Caïman
Fertilisation complexe	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Fertilisation complexe au semis
Traitement herbicide au semis	Selon la disponibilité de l'agriculteur	A Fama : association Alligator 4 boîtes/ha + Round-Up Biosec 7 à 10 sachets / ha selon le développement de la flore adventice A Dafara et Nankorola/Dentiola : association Agrazine à 4 sachets / ha
Traitements de post-levée	Non	Non
Scarifiage/Buttage	Selon le désir de l'agriculteur	Non
Fertilisation urée	Selon la disponibilité de l'agriculteur	Selon la disponibilité de l'agriculteur

### 3.4. Essais SCV en station

Dispositif expérimental : Split plot à 2 facteurs avec 4 répétitions.

*Premier facteur* : 2 niveaux de fertilisation F1 et F2 (Tableau 9). F1, correspond au niveau moyen utilisé en milieu paysan ; F2 correspond à un niveau de fertilité maximal censé lever tout problème de déficience organo-minérale.

Les itinéraires techniques effectués de 2005 à 2007 sont mentionnés dans les Tableaux 9, 10, 11, 12 et 13.

Un grand nombre de mesures ont été effectuées tout au long de la campagne dont :

- des mesures sur le paillage (poids) ;
- des mesures à la levée ;
- des suivis de ruissellement et d'humidité du sol (à Finkolo) ;
- des mesures de biomasses à la récolte.

- Tableau 9. Les niveaux de fumure appliqués sur coton à Farako et Finkolo en 2007 en station.

Traitements	F1 (niveau de fertilité courant)	F2 (niveau de fertilité fort)
Coton Farako et Finkolo	125 kg 14N 18P 18K S Bo + 50 kg urée	5 t de fumier + 250 kg 14N 18P 18K S Bo + 100 kg urée
Sorgho Finkolo	Rien	5t de fumier + 100 kg DAP + 50 kg d'urée
Maïs Farako	100 kg 17-17-17 + 150 kg d'urée	5t de fumier + 100 kg 17-17-17 + 150 kg d'urée

*Deuxième facteur* : 5 systèmes de culture (Tableaux 10, 11, 12 et 13).

- Tableau 10. Les différents modes de gestion des sols testés sur coton à Farako et Finkolo de 2005 à 2007 en station.

Principaux facteurs de différenciation	Traitements				
	Labour T1	Scarifiage T2	SCV1 (faible paillage) T3	SCV2 (faible paillage) T4	SCV3 (fort paillage) T5
Coton	Sol nu	Sol nu	Résidus de sorgho	Résidus de sorgho	Résidus de sorgho + paille de graminées
Sorgho	Sol nu	Sol nu	scarifiage	scarifiage	scarifiage
Maïs	Sol nu	Sol nu	scarifiage	scarifiage	scarifiage

- Tableau 11. Les techniques pour la culture du coton à Finkolo et Farako de 2005 à 2007 en station.

Pratique	Traitements				
	T1	T2	T3	T4	T5
Apport de fumier	En première année sur F2 ; apport généralisé de 5 T/ha avant semis				
Apport de pailles	Rien		Résidus de sorgho	Résidus de sorgho + mucuna	Résidus de sorgho + Brachiaria
Traitement herbicide avant semis	Si nécessaire application de Round-Up (glyphosate) à 4 litres/ha				
Travail du sol avant semis	Labour à plat à la charrue à partir du 25 mai	Scarifiage dans le sens des billons	Aucun	Aucun	Aucun
Semis	A partir de mi-juin		A partir de fin-mai		
Fertilisation complexe	Totalité du complexe appliquée au semis au niveau des lignes				

Traitement de prélevée	Rien	Action 80 (diuron) sur coton associé ou non au Round-Up (glyphosate) si nécessaire
Sarclage	Sarclo-buttage à la traction animale	Manuel si nécessaire
Buttage		Non
Fertilisation urée	F1 : 30 JAS F2 : 1 <sup>ère</sup> fraction 30 JAS 2 <sup>ème</sup> fraction 45 JAS	F1 : 15 JAS F2 : 1 <sup>ère</sup> fraction 15 JAS 2 <sup>ème</sup> fraction 30 JAS

➤ Tableau 12. Les itinéraires techniques pratiqués sur sorgho à Finkolo de 2005 à 2007 en station.

Pratique	Traitements				
	T1	T2	T3	T4	T5
Apport de fumier	En première année apport généralisé sur F2 de 5 T/ha avant semis				
Traitement herbicide avant semis	Si nécessaire application de Round-Up (glyphosate)				
Travail du sol avant semis	Scarifiage avant semis dans le sens des billons				
Semis	Mi-juin				
Fertilisation complexe	Sur F2 : 100 kg/ha de DAP au semis au niveau des lignes				
Traitement de prélevée	Agrazine 500 (atrazine) à 4 litres/ha sur sorgho associé ou non au Round-Up (glyphosate) si nécessaire				
Semis culture associée	Non		30 jours après le semis du sorgho ; Mucuna 3 graines/poquet tous les 50 cm entre lignes ;	semis même jour Brachiaria 20 graines/poquet tous les 50 cm entre lignes ;	
Sarclage	Sarclo-buttage à la traction animale		Manuel si nécessaire		
Buttage			Non		
Fertilisation urée	Sur F2 : 50 kg/ha d'urée 30 jours après semis				

➤ Tableau 13. Les itinéraires techniques pratiqués sur maïs à Farako de 2005 à 2007 en station.

Pratique	Traitements				
	T1	T2	T3	T4	T5
Apport de fumier	Sur F2 apport généralisé de 5 T/ha avant semis				
Traitement herbicide avant semis	Si nécessaire application de glyphosate				
Travail du sol avant semis	Labour à plat	Scarifiage	Non	Non	Non
Semis	Mi-juin au plus tard				
Fertilisation complexe	Totalité du au semis au niveau des lignes				
Traitement de prélevée	Agrazine (atrazine) à 3 litres / ha associé ou non au glyphosate (si nécessaire)				

Semis culture associée	Non	30 jours après le semis du sorgho ; Mucuna 3 graines/poquet tous les 50 cm entre lignes ;	15 jours après le semis du maïs ; Brachiaria 20 graines/poquet tous les 50 cm entre lignes ;
Sarclage	Sarclo-buttage à la traction animale	Manuel si nécessaire	
Buttage		Non	
Fertilisation urée	30 jours après semis		

#### 4. Résultats attendus

Les principaux résultats attendus sont les suivants :

- des référentiels techniques sur des innovations (systèmes de culture et itinéraires techniques) en cours de mise au point, sur des règles de décisions en termes de dates de semis, d'interventions techniques, disponibles pour la vulgarisation ;
- la formation de paysans, de l'encadrement, des fabricants de matériel, des chercheurs ;
- l'analyse comparée des performances agronomiques et technico-économiques des systèmes ;
- une meilleure communication entre les chercheurs et le monde rural.

#### 5. Point d'exécution technique

##### 5.1. Calendrier effectif d'exécution

Les expérimentations prévues dans les différentes programmations 2005, 2006 et 2007 soumises au bailleur ont pu être mises en place en totalité (Tableau 14).

➤ Tableau 14: Calendrier effectif d'exécution des différentes opérations

Type et titre actualisé	Site	Début	Fin
<b>Diagnostic</b> Fertilité Sols	Zone Sikasso Zone Koutiala Zone Ouélessébougou	Mai 2006	Décembre 2007
<b>Essais Milieu réel</b>			
Expérimentation SCV	Zone Sikasso (7) Zone Koutiala (7) Zone Ouélessébougou (7)	Mai-juin 2005	
Tests SCV	Zone Sikasso (10) Zone Koutiala (10) Zone Ouélessébougou (10)	Mai-juin 2006	
<b>Essais Station</b> Rotation coton/sorgho SCV Rotation coton/maïs SCVo	Finkolo Farako	Mai-juin 2005	



--	--	--	--

## 5.2. Observations sur le déroulement des activités

### 5.2.1 Pluviométries

Dans le Tableau 15 nous avons mentionné un bilan des différentes années sur le plan de la pluviométrie. Même s'il existe des caractéristiques communes sur la pluviométrie de l'année à l'échelle de la zone cotonnière on constate de fortes variabilités spatiale et temporelle. Si l'on compare les totaux pluviométriques annuels avec les moyennes obtenues sur plusieurs années on remarque que globalement les pluies ont été excédentaires à Farako et Finkolo en 2006 et 2007. Sur le site de Fama seule 2005 a été assez sec, 2006 pour Dafara. A Nankorola/Dentiola, malgré des pluviométries excédentaires en 2006 et 2007, on a assisté à une mauvaise répartition surtout en 2007.

➤ Tableau 15. Caractéristiques principales des pluviométries les 3 années.

Année	IER Farako	IER Finkolo	Fama	Dafara	Nankorola/Dentiola
2005	Normale	Déficit	Déficit	Normale	Déficit
2006	Excédent	Excédent	Normale	Déficit en début	Excédent
2007	Excédent	Excédent	Normale	Normale	Excédent mais arrivée tardive

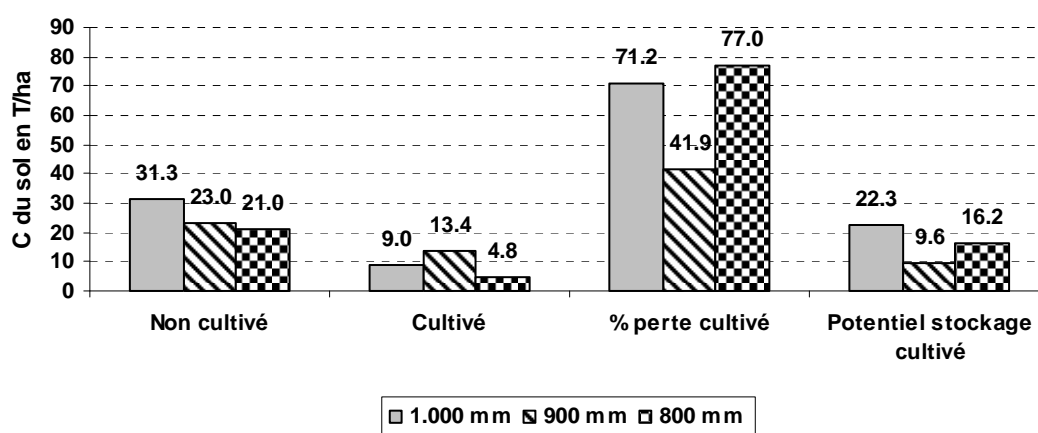
## 6. Résultats obtenus

### 6.1. Diagnostic sur le statut organique des sols au niveau de la zone cotonnière et à l'échelle de l'exploitation (comparaison champs cultivés et forêts préservées)

#### 6.1.1 Comparaison sols non-cultivés et sols cultivés

Les stocks en C des sols non-cultivés varient sur les sites en relation avec la pluviométrie et la texture (Figure 6) comme cela a été souvent signalé dans de nombreuses études (Feller et Beare, 1997).

### Diagnostic stocks en C du Sol en surface (0-10 cm)



➤ Figure 6. Stocks en C en T/ha de sols non cultivés comparés avec les sols cultivés en surface (0-10 cm) pour les 3 zones d'études.

Les stocks en C sont plus élevés (31.3 T C /ha) sur le site à plus forte pluviométrie (1.000 mm). Les plus faibles valeurs sur le site à 800 mm (21 T C/ha) sont à attribuer à la fois à de plus faibles pluviométries et également à des textures plus grossières. Les valeurs de stocks en C sur le site à 900 mm paraissent faibles eu égard à la texture fine de ces sols et à une pluviométrie intermédiaire entre les deux autres sites. Cela pourrait être lié à une humification difficile des apports en relation à des conditions temporairement anaérobiques en saison des pluies sur ce site (Oades, 1988).

Les valeurs des stocks sur les sols cultivés sont nettement inférieures à celles des sols non-cultivés notamment sur les sites à 1.000 et 800 mm, où 71.2 et 77% semblent avoir été ainsi perdus par la mise en culture. Des niveaux de pertes similaires ont été souvent constatés lors de la mise en culture de sols en jachère de longue durée (Feller, 1993).

Sur le site à 900 mm cette perte en C semble être plus réduite (- 41.9%). Trois facteurs peuvent intervenir :

- le plus faible niveau de stockage initial des sols (voir plus haut) ;
- restitutions du sol plus importantes par les résidus de culture (Shukla et al., 2006) ;
- moindre déstructuration des micro-agrégats du sol censés protéger les MOS contre leurs minéralisations (Balesdent et al., 2000) en raison de techniques culturales simplifiées (voir Tableau 1)..

Le potentiel de stockage en C du sol en surface est donc très important sur le site à 1.000 mm (+ 21 T/ha de C), important sur le site à 800 mm (+ de 16 T/ha de C) et beaucoup moins important sur le site à 900 mm (seulement + de 9.6 T/ha de C).

#### 6.1.2 Modélisation de la dynamique du C du sol (0-10 cm) selon la date de mise en culture

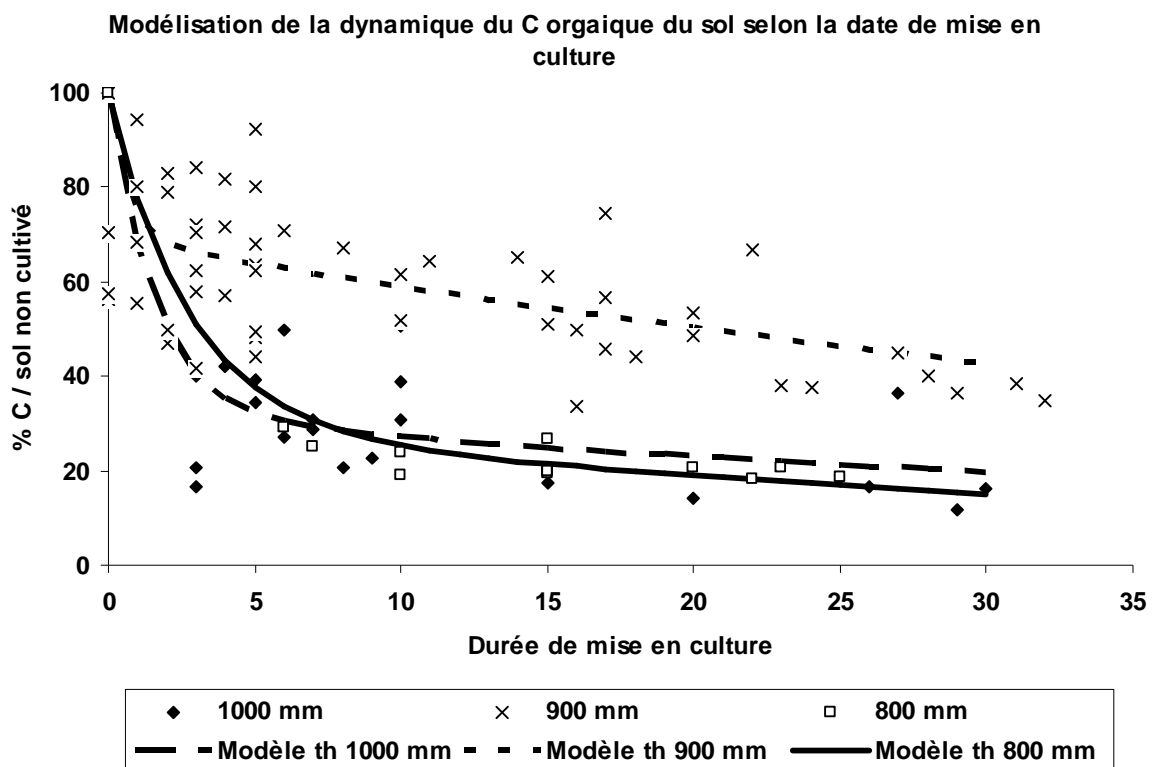
L'évolution comparée selon la durée de mise en culture des teneurs en C des sols cultivés exprimées en pourcentages par rapport aux sols non-cultivés et corrigés par la texture, montre que (Figure 7) :

- celle-ci peut-être décrite par un modèle à double-compartiment pour les 3 sites (9) ;
- le premier compartiment peut-être assimilé à un compartiment à évolution rapide de MOS peu protégées (C CR) ;
- le deuxième compartiment peut-être assimilé à un compartiment à évolution lente de MOS protégées (C CL)

Nous remarquons que le C CR est pratiquement le même sur les sites à 1.000 et 800 mm (70% du C total) alors que c'est le C CL qui est le plus important sur le site à 900 mm. Cela pourrait être lié à l'effet texture, qui plus fine sur ce dernier site, permettrait une meilleure protection du C total (Hassink, 1997 ; Feller et Beare, 1997).

Les valeurs des k CR sont élevées et très variables. Le faible nombre de points décrivant la dynamique de ce compartiment ne permet pas d'avoir une bonne précision. Cela indique néanmoins sur les 3 sites une très rapide évolution de ce compartiment. En moins de 5 années sur les deux premiers sites la moitié des stocks en C ont disparu. Dans des conditions agroécologiques semblables Taonda et al. (1995) signalait 50% de pertes en MOS au niveau de l'horizon de surface cultivé en 4 à 5 années.

Les valeurs des k CL sont faibles et sensiblement les mêmes sur les 3 sites, autour de 2% indiquant un niveau de minéralisation du sol constant s'établissant au bout d'environ 10 années. Les valeurs du coefficient de minéralisation des sols relevées dans ces milieux sont généralement plus élevées lorsque qu'un modèle mono-compartimental est utilisé (Pieri, 1989 ; Bacyé et al., 1998). L'utilisation de modèles à double-compartiment permettrait donc de mieux décrire les évolutions des MOS qui n'ont pas un même degré de protection. Cette distinction entre « pools » différenciés de MOS a souvent été décrite dans la littérature.



$\% C \text{ sol cultivé} / C \text{ sol non cultivé} = C_{CR} * \exp(k_{CR} * \text{années}) + C_{CL} * \exp(k_{CL} * \text{années})$   
 avec Compartiment à temps de renouvellement Lent  $C_{CL} = (100 - C_{CR})$

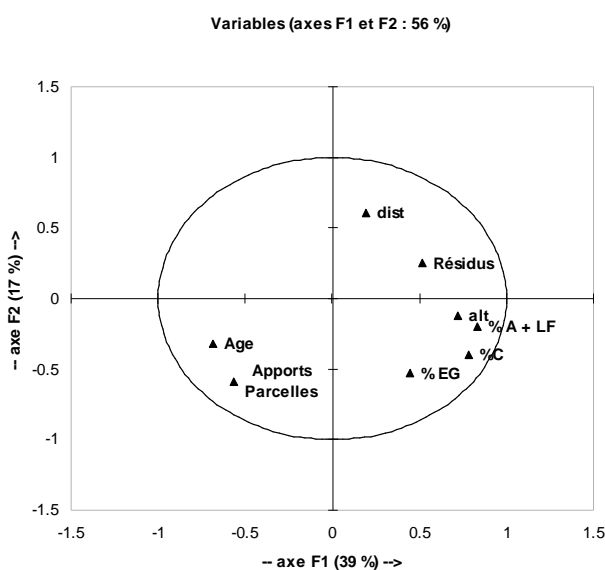
Paramètres	Modèle théorique 1000 mm	Modèle théorique 900 mm	Modèle théorique 800 mm
Compartiment à taux de renouvellement rapide ( $C_{CR}$ ) en %	68.4	31.0	70.6
Coefficient compartiment rapide ( $k_{CR}$ )	-0.628	-1.711	-0.365
Coefficient compartiment lent ( $k_{CL}$ )	-0.016	-0.016	-0.022

➤ Figure 7. Evolution de la teneur des sols cultivés en surface (0-10 cm) pour les 3 zones d'études ; modèles à double-compartiment réalisés à partir de la valeur 100 de sols non-cultivés (1.94, 1.42 et 1.3 %C pour respectivement les sites de 1000, 900 et 800 mm) ; sols non-cultivés non-gravillonnaires, sans apports recyclés et de durée de mis en culture continue maximale de 32 années

### 6.2.3 Poids des facteurs expliquant la variabilité des teneurs en C du sol (0-10 cm) à l'échelle de l'exploitation et des parcelles

L'analyse des facteurs physiques et culturels influant sur les valeurs du C du sol à l'échelle de la parcelle a été réalisée par une ACP dont les résultats sont présentés au niveau de la Figure 8. La teneur en C est fortement corrélée avec la texture du sol, plus particulièrement avec la teneur en éléments fins (argiles et limons fins) et également avec la teneur en éléments grossiers (fraction > à 2 mm). Cet effet important de la teneur en éléments fins (argiles et limons fins) a souvent été relevé dans de nombreuses autres études (Parton et al., 1987 ; Feller et Beare, 1997). La relation positive entre EG et le % C a été plus rarement mise en évidence (Lévêque, 1988). Elle est très nette sur le site de 1.000 mm pour une teneur pondérale supérieure à 20% sur le site de 1.000 mm.

Globalement il semble que ce sont les parcelles les plus proches du village qui sont les plus anciennes et qui reçoivent le plus d'apports. Les systèmes de culture à fort apports de résidus sont les plus éloignés des villages. Ces différentes auréoles de fertilité associées à des systèmes de culture spécifiques ont déjà été décrites dans de nombreux travaux en Afrique de l'Ouest (Samaké et al., 2005). L'élément nouveau est de montrer que l'intensité des apports ne permet pas d'améliorer le statut organique des sols.



Facteurs	%C	alt	dist	% A + LF	% EG	Age	Résidus	Apports Parcelles
%C	1							
Alt = altitude parcelle	<b>0.483</b>	1						
Dist = distance parcelle/ village	0.000	-0.047	1					
% A + LF =) % en argiles et limons fins	<b>0.714</b>	<b>0.535</b>	0.054	1				
% EG = % en éléments grossiers	<b>0.485</b>	<b>0.201</b>	0.058	<b>0.319</b>	1			
Age = durée de mise en culture continue	<b>-0.409</b>	<b>-0.335</b>	<b>-0.331</b>	<b>-0.425</b>	<b>-0.221</b>	1		
Résidus = Production potentielle de résidus de culture	<b>0.173</b>	<b>0.415</b>	-0.001	<b>0.349</b>	0.000	<b>-0.235</b>	1	
Apports Parcelles = Apports en T/MS/ha obtenus par reycleage	<b>-0.231</b>	<b>-0.294</b>	<b>-0.260</b>	<b>-0.326</b>	0.033	<b>0.447</b>	<b>-0.355</b>	1

➤ Figure 8. Analyse en Composantes Principales et matrice de corrélation pour sur les principaux facteurs déterminants le % du C du sol cultivé et le Seuil Critique en C à l'échelle de la parcelle.

#### 6.1.4 Seuil critique en C à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation

Nous avons reporté dans l'écart au seuil critique en C selon la formule de Feller et Beare (1997) sur une carte des différents terroirs des 3 sites pour chaque parcelle et exploitation (Figure 9). L'application des 3 classes suivantes, < à -25% par rapport à ce seuil critique, entre -25 et +25 % et > à + 25%, permet de montrer pour ces trois classes respectives de seuil, les pourcentages des parcelles suivants :

- 22, 43 et 35% sur le site à 1.000 mm ;
- 9, 69 et 28% sur le site à 900 mm ;
- 57, 40 et 3% sur le site à 800 mm.

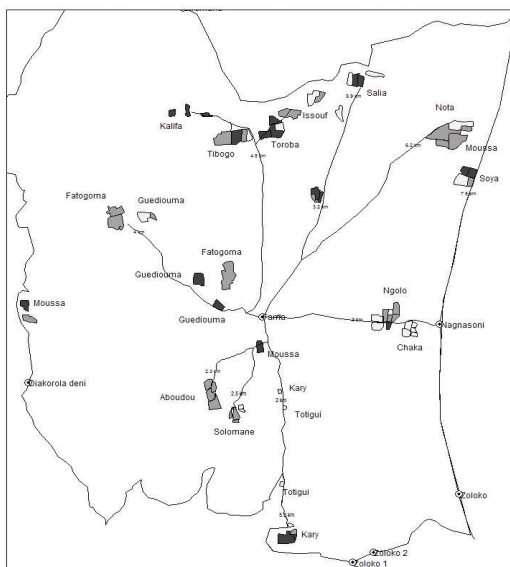
Sur le site à 1.000 mm 9 exploitations sur 16 ont une parcelle ayant atteint un écart au seuil critique de - 25%, 9 exploitations sur 18 pour le site à 900 mm et 15 exploitations sur 19 sur le site à 800 mm.

Sur le site à 1.000 mm 13 exploitations sur 16 ont une parcelle ayant un écart au seuil critique supérieur à 25%, 13 exploitations sur 18 sur le site à 900 mm et seulement 2 exploitations pour le site à 800 mm.

Sur les sites à 1.000 mm et 900 mm, une seule exploitation a toutes ses parcelles avec un seuil de critique > 25%. Dans le premier cas il s'agit d'une exploitation récente ayant des dates de mise en culture faibles (6 années en moyenne) et dans le deuxième cas la seule exploitation ayant généralisé le parçage tournant au niveau de ses parcelles grâce notamment à un fort ratio nombre de bovins par hectare cultivé (supérieur à 10).

La situation est particulièrement inquiétante par rapport au seuil critique en C au niveau du site à 800 mm, la plus favorable est celle du site à 900 mm et intermédiaire sur le site à 1000 mm. Tous les sites sont cependant concernés par des évolutions négatives de la mise en culture de leurs parcelles vis-à-vis du statut organique des leurs sols.

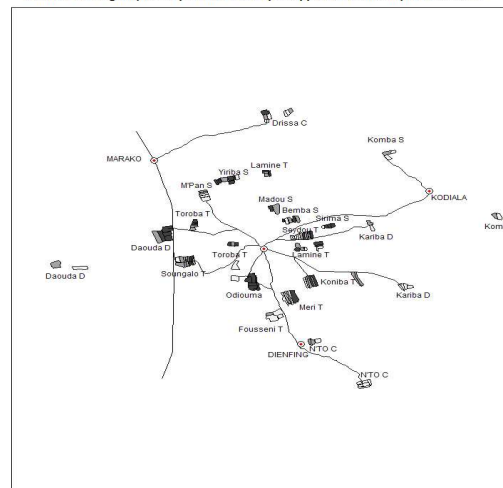
FAMA-Statut organique des parcelles : écart par rapport au seuil critique de carbone



Ecart par rapport au seuil critique

■	0.11 - 0.93	(26)
▨	-0.06 - 0.11	(27)
□	-0.36 - -0.06	(24)

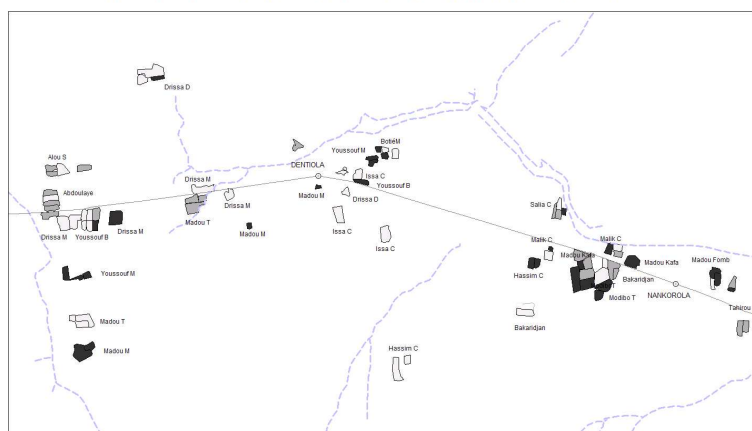
Dafara-Statut organique des parcelles : écart par rapport au seuil critique de carbone



Ecart par rapport au seuil critique

■	0.19 - 1.35	(39)
▨	0.01 - 0.19	(39)
□	-0.37 - 0.01	(43)

Nankorola Dentola - Statut organique des parcelles : écart par rapport au seuil critique de carbone



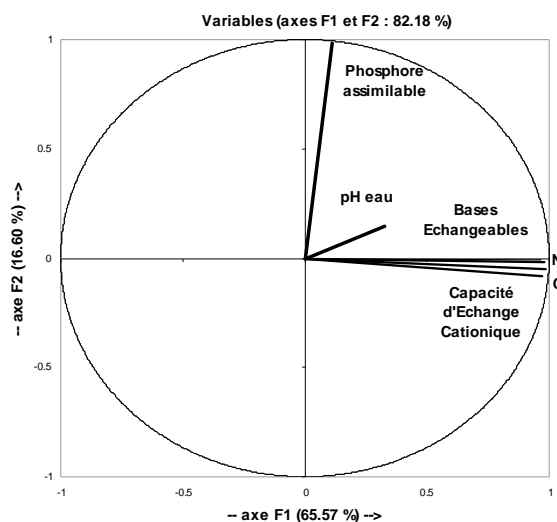
Ecart par rapport au seuil critique

■	-0.116 - 0.102	(29)
▨	-0.151 - -0.116	(24)
□	-0.298 - -0.151	(32)

- Figure 9. Seuil critique en C des parcelles présentées à l'échelle des villages pour les 3 sites par rapport à l'écart au seuil en % pondéré par la texture du sol ; a, 1000 mm ; b, 900 mm ; c, 800 mm ; 3 classes de seuil critique ; couleur blanche < - 25% ; couleur grise entre - 25 et + 25% ; couleur noire > 25%

### 6.1.5 Signification du statut du C organique des sols cultivés concernant leur fertilité chimique

La Figure 10 synthétise des résultats d'ACP réalisés sur 24 échantillons totaux (8 par site) de sol en surface et qui concerne des analyses chimiques courantes.



Facteurs	C	pH eau	N	P	BASES	CEC
C	1	0.199	<b>0.986</b>	0.047	<b>0.927</b>	<b>0.934</b>
pH eau	0.199	1	0.152	0.040	0.295	0.326
N	<b>0.986</b>	0.152	1	0.125	<b>0.923</b>	<b>0.922</b>
P	0.047	0.040	0.125	1	0.095	0.056
BASES	<b>0.927</b>	0.295	<b>0.923</b>	0.095	1	<b>0.996</b>
CEC	<b>0.934</b>	0.326	<b>0.922</b>	0.056	<b>0.996</b>	1

En caractères italiques et gras, valeurs significatives au seuil  $\alpha=0.050$  (test bilatéral)

- Figure 10. Analyse en Composantes Principales et matrice de corrélation pour sur les principaux facteurs déterminants le % du C du sol cultivé à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation.

La teneur en C est fortement corrélée avec la teneur en N total, en bases échangeables et avec la CEC. Ces relations ont souvent été établies lors d'analyses de sol dans de nombreuses situations de pays tropicaux (Oades, 1988 ; Zech et al., 1997) et également dans la zone cotonnière du Mali (Crétenet et al., 1994). La relation entre C et CEC est par ailleurs généralement très forte sur les sols sableux car les MOS ont tendance à jouer un rôle prépondérant par rapport aux argiles au niveau de leur propriétés à avoir des sites susceptibles d'héberger les cations libres au niveau du sol.

Les teneurs en pH eau et en phosphore assimilable ne sont pas corrélés avec le C. La valeur du pH eau devrait normalement décroître avec la mise en culture des sols et nous devrions normalement avoir une corrélation entre C et pH eau (Shukla et al., 2006). Il est possible que les apports organiques recyclés soient suffisants pour maintenir un niveau d'acidité des sols au dessus de valeurs critiques (Schleich, 1986 ; Hien, 2004).

Pour le phosphore assimilable l'absence de corrélation avec le C viendrait de l'effet de la mise en culture qui conduit à un enrichissement en P assimilable apporté avec les engrais de synthèse et les apports recyclés qui s'accumulent à la surface du sol. Dégradation organique des terres et enrichissement en phosphore assimilable pourraient donc aller de pair, ce qui expliquerait la baisse des rendements en coton (peu sensible au phosphore) entrant en rotation avec les céréales (sensibles au phosphore) dont la progression de rendements a été relevée (Djouara et al., 2006).

Le raisonnement de la fertilité d'un sol s'effectue bien à l'échelle du système de culture et non pas sur une seule de ces composantes.

### 6.1.6 Conclusion

Les résultats préliminaires obtenus sur le sol en surface montrent le très important déficit en C organique sur 0-10 cm (Figure 6) : jusqu'à + de 70% de pertes en C entre les parcelles cultivées et les parcelles protégées. Il existe pour ces sols un fort potentiel de stockage mais aussi un déficit important en N disponible qui nécessite donc une stratégie pour satisfaire les besoins azotés des cultures. L'amélioration du stockage en C des sols ne peut se faire, dans le cadre d'une culture continue à niveau minimal d'intrants, que par des restitutions optimisées en N d'origine organique : apport de poudrette au départ, gestion précoce des résidus de récolte de coton et céréales, légumineuses associées aux cultures principales, .....

Ce redressement permettrait sur le moyen terme :

- une amélioration de la nutrition potassique des sols sur coton ;
- une lutte contre l'acidification des sols ;
- une protection contre l'érosion par une meilleure agrégation ;
- une meilleure conservation de l'eau.

Ces résultats indiquent également que les zones cotonnières pourraient être *éligibles* sur le marché du carbone eu égard au potentiel de stockage théorique important de ces sols cultivés. L'écart entre les différents sites des stocks en C sur les sols non-cultivés est lié à la fois à l'effet texture (sol sableux sur le site à 800 mm) et également à la pluviométrie (plus fortes restitutions notamment par les feuilles d'arbres et les racines sur le site à 1.000 mm). Les écarts entre sites concernant le potentiel de stockage des sols peuvent avoir des origines diverses et notamment sur la spécificité du site à 900 mm :

- meilleure protection du C par les éléments fins sur ce qui sont plus importants ;
- effets de pratiques culturales réduites (moins d'opérations de culture attelée) ;
- référentiel C sol non-cultivé sur le site à 900 mm influé par des conditions de stockage non optimales par effets d'inondations temporaires.

## 6.2 Expérimentations et tests en milieu réel

### 6.2.1 Bilan à la levée

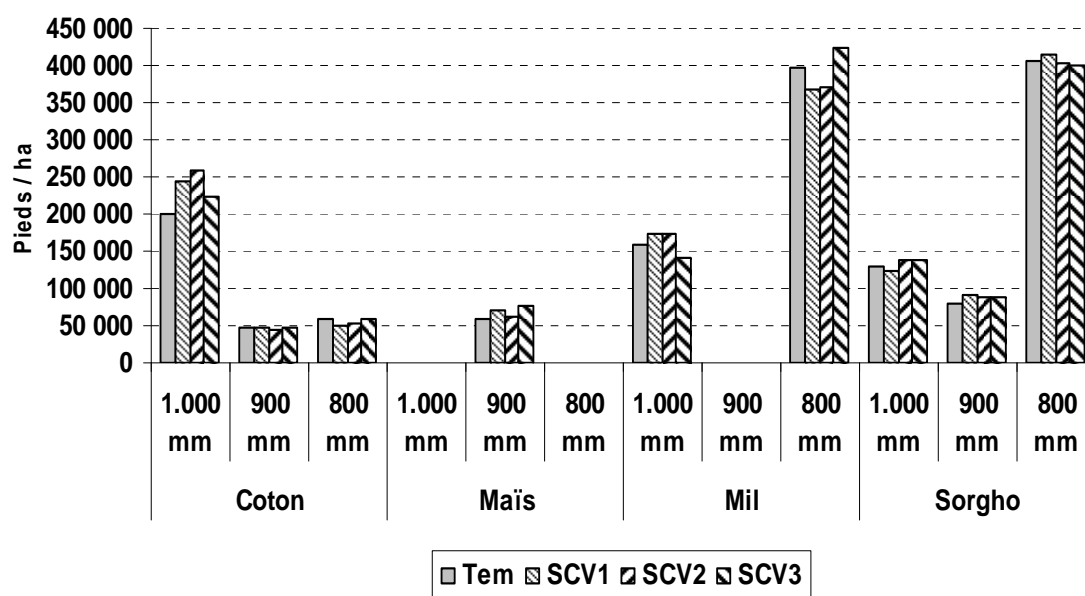
Sur coton les densités relevées sont satisfaisantes sur un seul site (Figure 11 ; 1.000 mm) et légèrement en faveur des SCV. Par contre sur les autres sites les densités sont faibles quelques



soient les systèmes et même en SCV où des semences ont été préalablement délimitées (non délimitées sur les témoins), l'optimum de semis se situant au moins à 120.000 plants/ha pour une densité finale après démarrage autour de 80.000 plants/ha. Il semblerait que sur ces 2 sites le faible pouvoir germinatif des semences soit à l'origine de ces faibles peuplements végétaux (livrée par la filière gratuitement aux paysans).

Sur les autres cultures les densités sont sensiblement les mêmes et sont relativement bonnes par rapport aux densités reconnues optimales pour la sous-région (cela conforte bien l'hypothèse d'une mauvaise qualité de semences pour le coton et non d'une faible technicité paysanne) et de l'effet pervers de semences distribuées gratuitement.

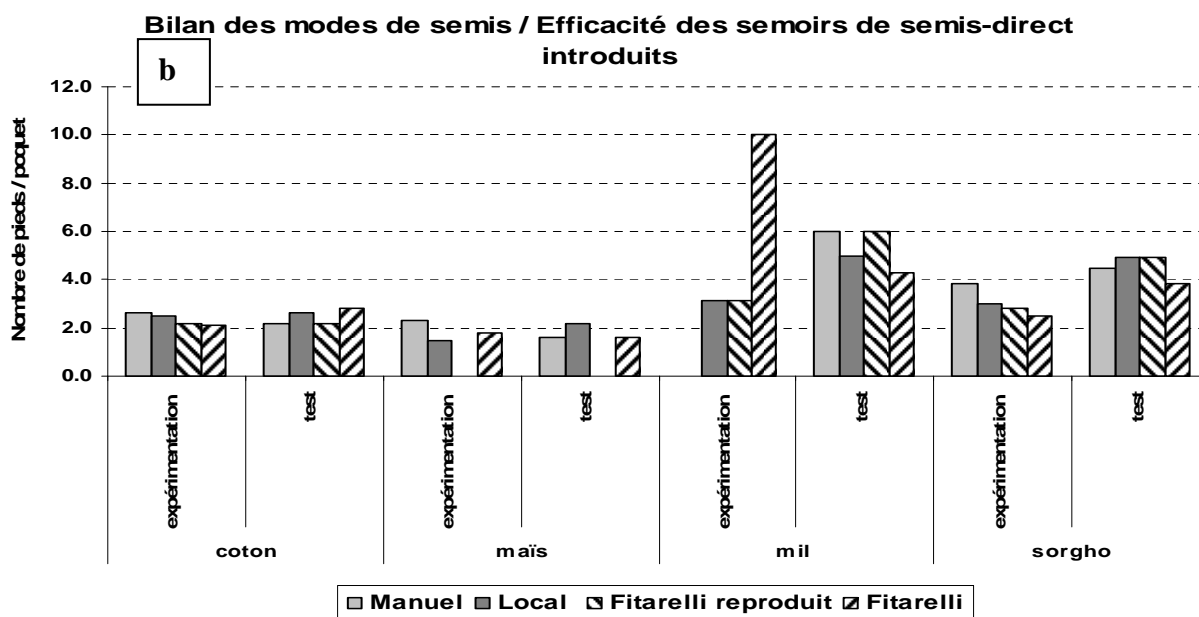
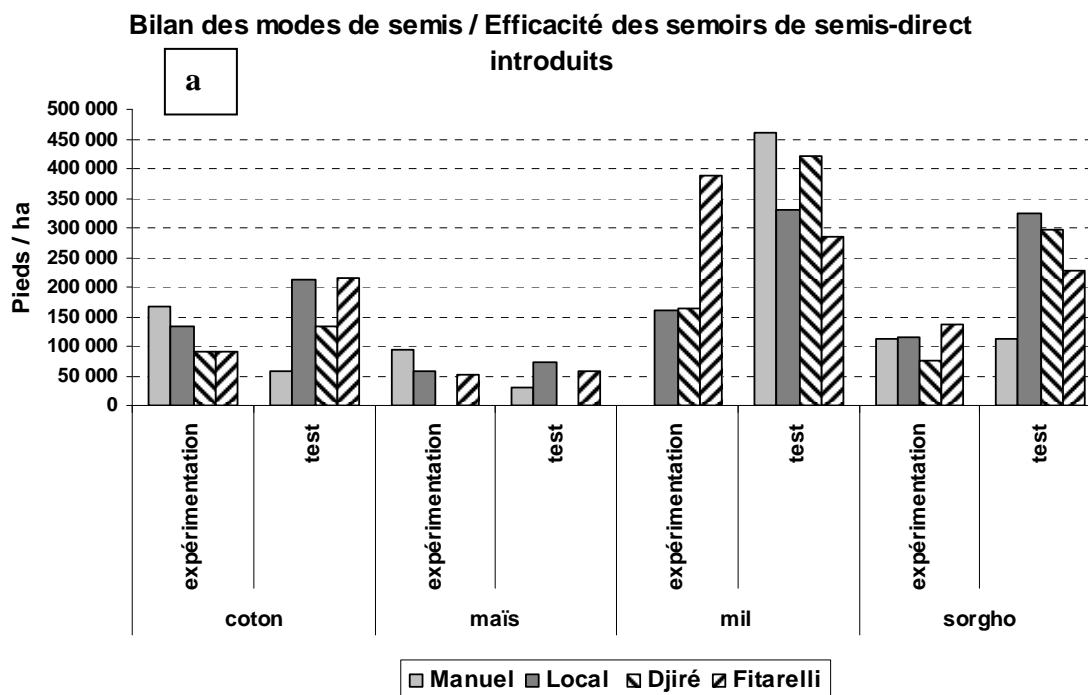
#### Bilan à la levée sur expérimentations (tout mode de semis confondu)



➤ Figure 11. Effet sur la levée des SCV en 2007 par rapport au témoin pour les différentes cultures et les 3 sites. (*rappel : les densités de culture ont souvent limité souvent les rendements en 2006*).

Les résultats obtenus pour cette même phase d'implantation du peuplement végétal) sont mentionnés au niveau de la Figure 12 en reprenant les différents types de semis. Nous pouvons conclure que :

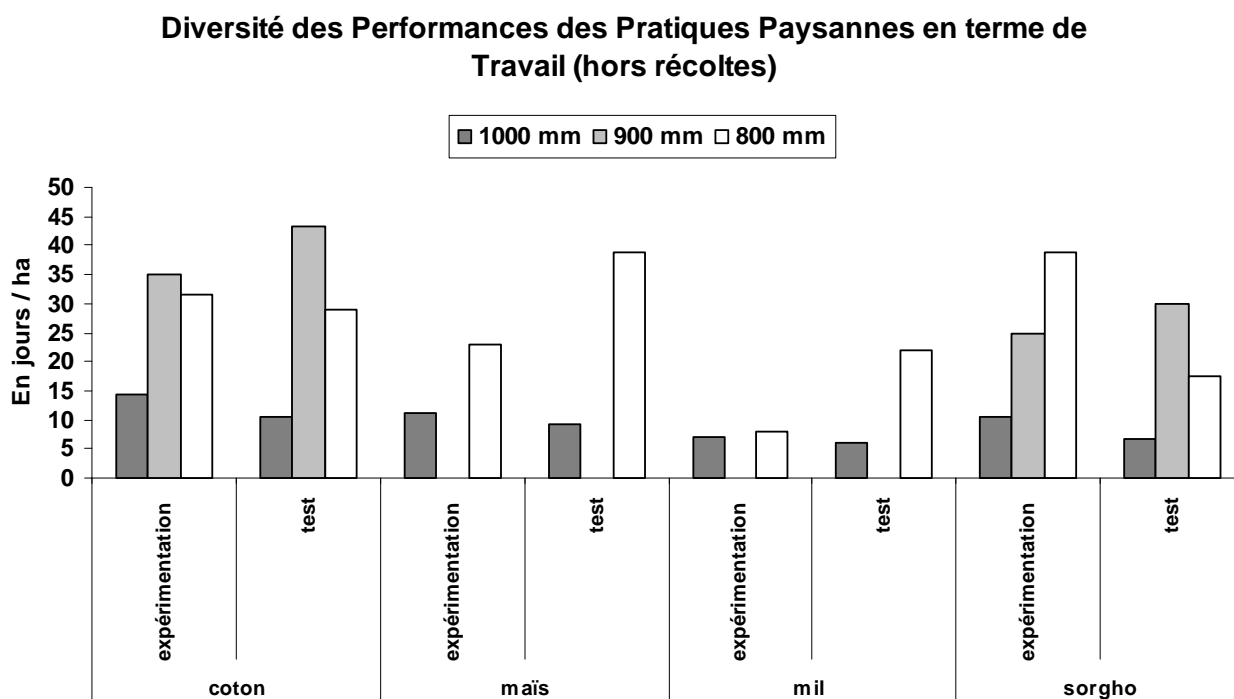
- que le semoir-épandeur brésilien (Fitarelli) a été globalement satisfaisant sur coton et maïs, avec un comportement comparable à celui du semoir local ; une amélioration est encore possible en mieux contrôlant la régularité des semis et l'interaction entre profondeur et nombre de pieds par poquets (faible vigueur naturelle des plants de cotonnier) ; le semoir Fitarelli reproduit localement a montré dans certains cas certaines faiblesses qui pourraient être facilement corrigées ;
- sur sorgho et mil les comportements des 2 semoirs ont été globalement satisfaisants.



➤ Figure 12. Bilan à la levée en 2007 pour les 4 cultures au niveau des expérimentations en fonction des différents systèmes de culture testés (a) nombre de pieds totaux ; (b) nombre de pieds par paquet.

### 6.2.3 Bilan des temps de travaux

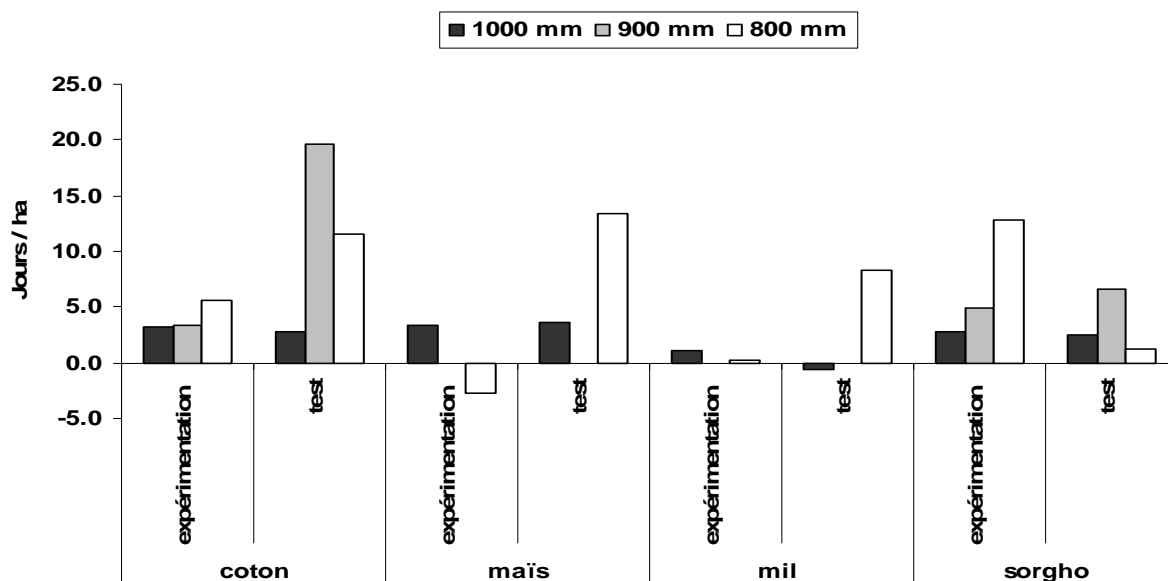
Les mesures des temps de travaux obtenus au niveau des pratiques paysannes (Figure 13) montrent bien leur degré divers de performance selon le site. Sur le site à 1.000 mm les temps de travaux hors récolte sont toujours inférieurs à 15 jours/ha alors qu'ils avoisinent près du double sur les 2 autres sites. Cette différence semble surtout liée à la généralisation de la charrue sur le premier site alors que sur les autres le scarifiage et le semis-direct sont des pratiques plus courantes.



- Figure 13. Illustration de différents niveaux de performance de départ des systèmes conventionnels pratiqués par les agriculteurs en 2007 ; site à 1000 mm, dominance du labour à la charrue ; site à 900 mm, dominance du scarifiage et du semis-direct ; site à 800 mm, dominance du scarifiage.

Les gains généralement observés en temps de travaux en SCV par rapport aux systèmes conventionnels sont liés au recours à la généralisation de programmes herbicides et à la réduction du nombre d'opérations culturales (Figure 14). Les gains sont en moyenne plus faibles sur le site à 1.000 mm (- de 5 jours / ha), plus importants sur les sites à 900 mm et 800 mm, du fait de la généralisation sur le premier site du labour associé à des herbicides de prélevée et d'une moindre utilisation des programmes herbicides sur les deux autres sites associée à un travail du sol plus superficiel (scarifiage) (voir Figure 13).

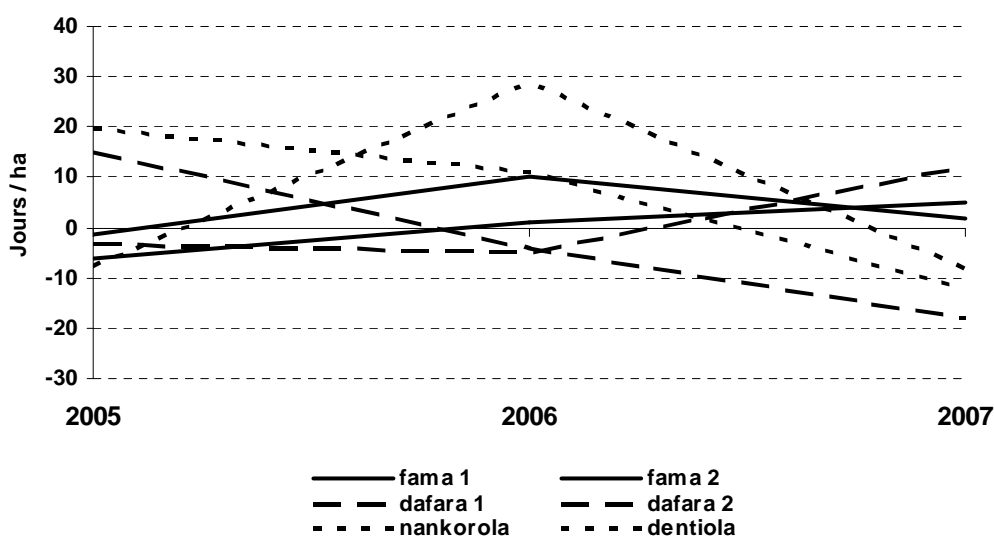
### Gains de temps de travaux (hors récolte) sur SCV par rapport au Témoin



➤ Figure 14. Effets moyens des SCV en 2007 par rapport au témoin sur les gains ou pertes en temps de travaux pour les principales cultures sur les 3 sites en milieu réel.

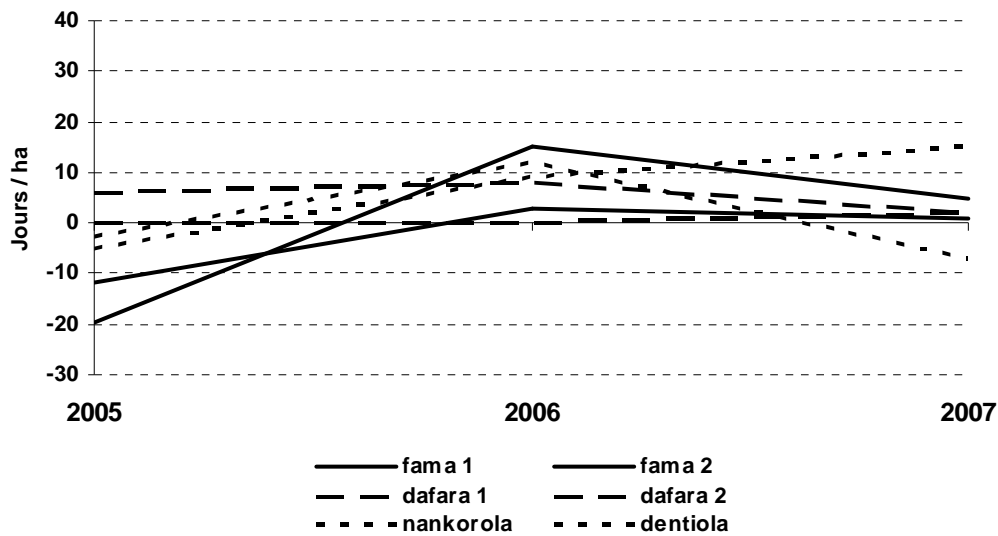
Cependant des gains semblent se réduire avec le temps comme cela est montré notamment sur coton sur la Figure 15 et céréales sur la Figure 16 qui synthétisent sur les 3 années l'évolution des 6 expérimentations pérennisées chez 2 agriculteurs par site.

### Différences de temps de travaux sur Coton (hors récolte) sur SCV par rapport au témoin



➤ Figure 15. Evolution des gains en de temps de travaux en SCV sur coton sur les 6 expérimentations SCV pérennisées de 2005 à 2007.

**Différences de temps de travaux sur Céréales (hors récolte) sur  
SCV par rapport au témoin**

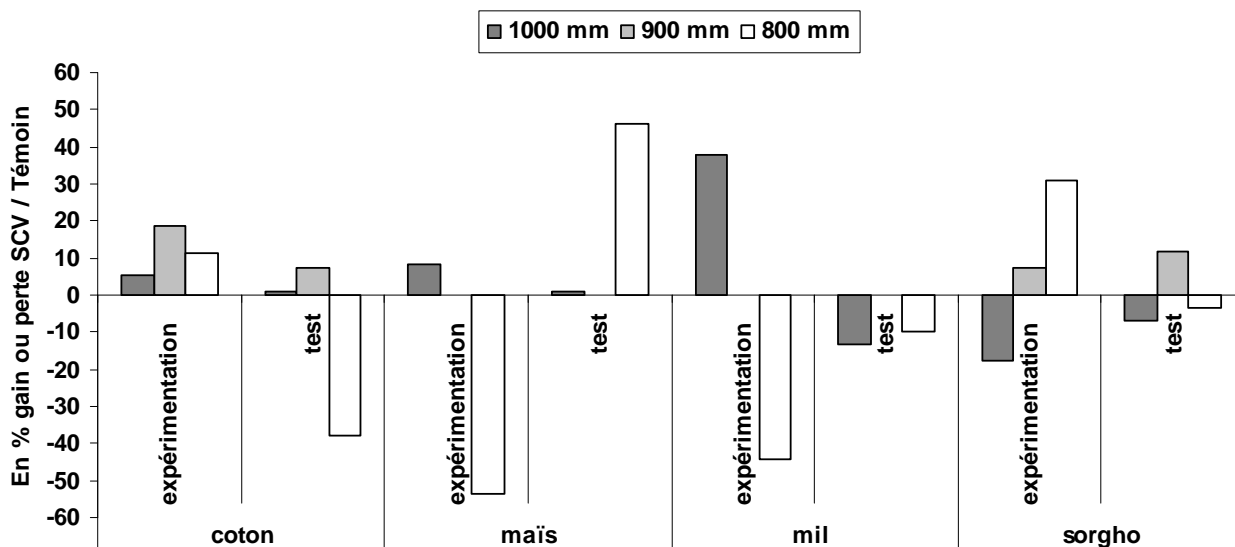


➤ Figure 16. Evolution des gains en temps de travaux en SCV sur céréales sur les 6 expérimentations SCV pérennisées de 2005 à 2007.

#### 6.2.4 Bilan sur les rendements

En terme de rendements les résultats ont présenté en 2007 une forte variabilité et globalement de faibles différences en raison notamment d'une saison des pluies difficile caractérisée par des semis tardifs, suivis d'excès d'eau et un arrêt des pluies relativement brutal (Figure 17). Sur le site à 1.000 mm les résultats sont légèrement en faveur des SCV sur les principales cultures (coton et maïs) et plus mitigés sur les céréales secondaires (mil et sorgho). Sur le site à 900 mm les résultats sur les deux principales cultures (coton et sorgho) sont toujours positifs (gains de 10 à 20% de plus) en faveur aux SCV que cela soit en expérimentations ou en tests. Par contre sur le dernier site (à 800 mm) les résultats sont moins satisfaisants en SCV.

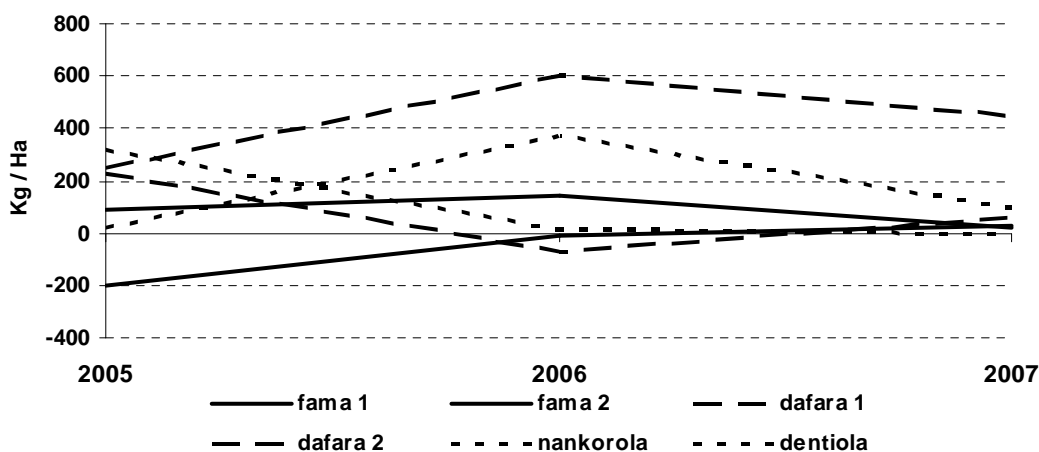
### Gains (ou pertes) de rendement en SCV par rapport au Témoin



➤ Figure 17. Effets moyens des SCV en 2007 par rapport au témoin sur les gains ou pertes en rendements pour les principales cultures sur les 3 sites en milieu réel.

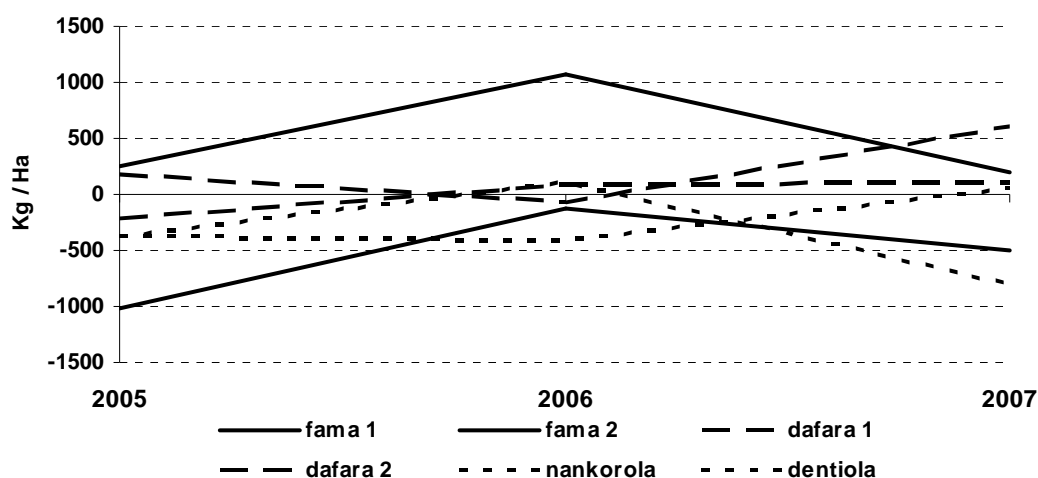
Aucune évolution notable en rendements sur coton n'apparaît sur 3 années où l'on constate chez 5 agriculteurs sur 6 globalement de faibles différences entre les SCV et les témoins. Chez 1 seul agriculteur les SCV ont toujours été nettement supérieurs au témoin les 3 années. Cependant les gains en rendement n'ont pas augmenté avec le temps comme cela est montré notamment sur coton sur la Figure 18 et céréales sur la Figure 19 qui synthétisent sur les 3 années l'évolution des 6 expérimentations pérennisées chez 2 agriculteurs par site.

### Différences de Rendements sur Coton (hors récolte) sur SCV par rapport au témoin



➤ Figure 18. Evolution des différences de rendements en coton sur les 6 expérimentations SCV pérennisées de 2005 à 2007.

**Différences de Rendements sur Céréales (hors récolte)  
sur SCV par rapport au témoin**



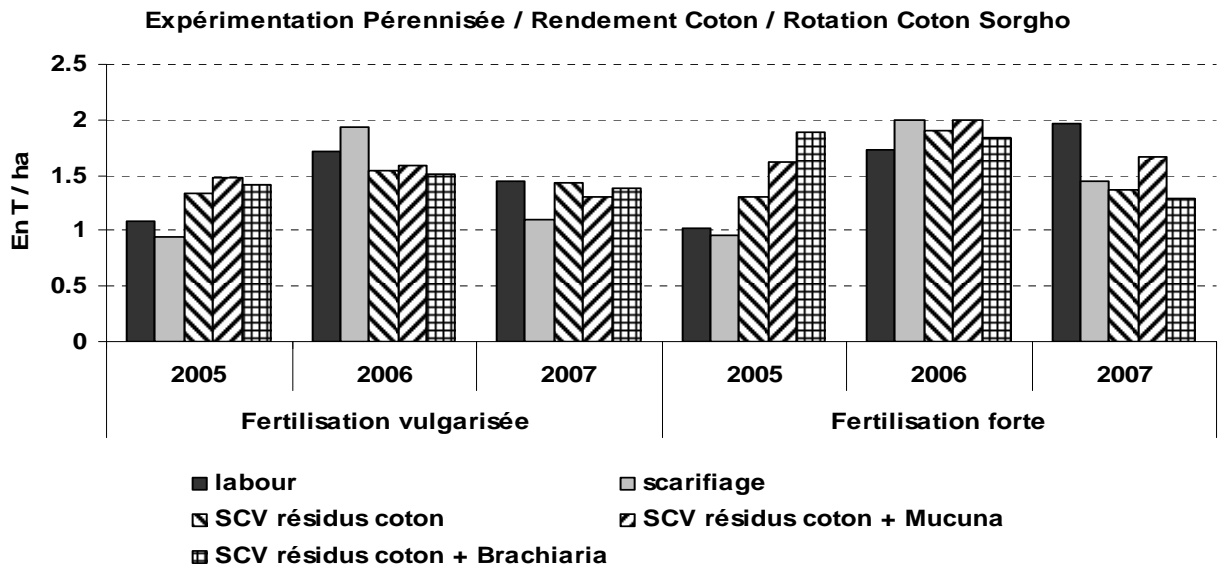
➤ Figure 19. Evolution des différences de rendements en céréales sur les 6 expérimentations SCV pérennisées de 2005 à 2007.

Concernant l'évolution des rendements en céréales sur 3 années on constate globalement de plus fortes fluctuations au niveau des différences de rendement qu'avec le coton (Figure 19). A Fama, le bilan est plutôt positif chez un agriculteur et négatif chez l'autre, comme à Dentiola/Nankorola. A Dafara le bilan est plutôt positif chez les 2 agriculteurs.

## 6.3 Essais en station

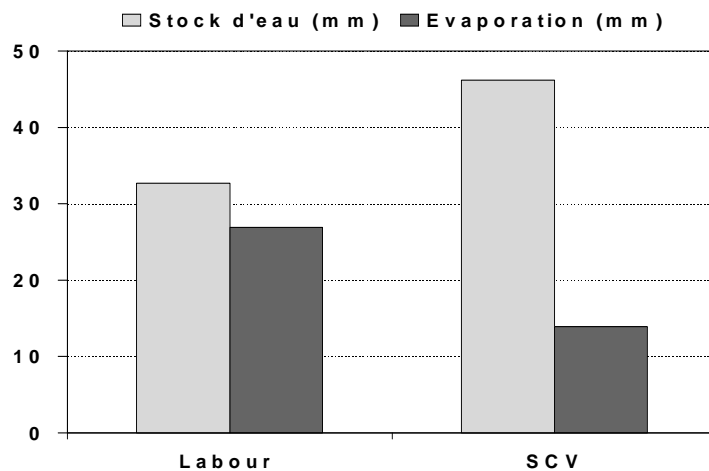
### 6.3.1 Coton à Finkolo

A Finkolo la première année sur coton (Figure 20) des gains importants en SCV ont été obtenus pour les 2 niveaux d'intensification en raison de semis plus précoces et de pluies déficitaires. Par contre en 2006 pour des dates de semis identiques, les systèmes conventionnels ont été meilleurs avec le niveau de fumure vulgarisée et en 2007 aucune différence entre traitements n'a été observée pour les 2 niveaux d'intensification, malgré des semis plus précoces sur SCV. Il semblerait sur ce site que des engorgements en eau en début de campagne ont été ces dernières années préjudiciables au bon développement du coton (sols à texture plus fine qu'à Farako). Les années 2006 et 2007 ont connu des pluviométries globalement très élevées.



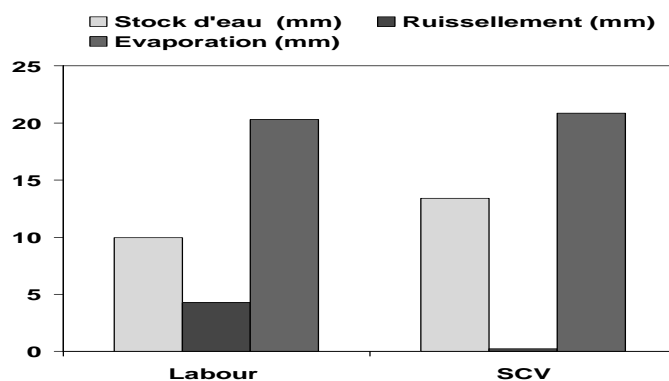
➤ Figure 20. Bilan sur les rendements en coton sur 3 années en expérimentation pérennisée rotation coton/maïs site de Finkolo ; respectivement en 2005, 2006, 2007,

Les Figures 21 et 22 illustrent que la présence du paillage sans travail préalable du sol au moment de la levée du coton en 2006 a augmenté le stock en eau du sol par rapport à un sol nu préalablement labouré. La première figure met en évidence un effet d'atténuation de l'évaporation du sol par réduction de la température du sol sous paillage et la deuxième, un effet sur la réduction du ruissellement par la présence de la même couverture du sol.



➤ Figure 21. Effet du paillage sur le stock en eau sur 1.8 m à la levée du coton à Finkolo en 2006 ; mise en évidence de l'effet sur l'évaporation du sol

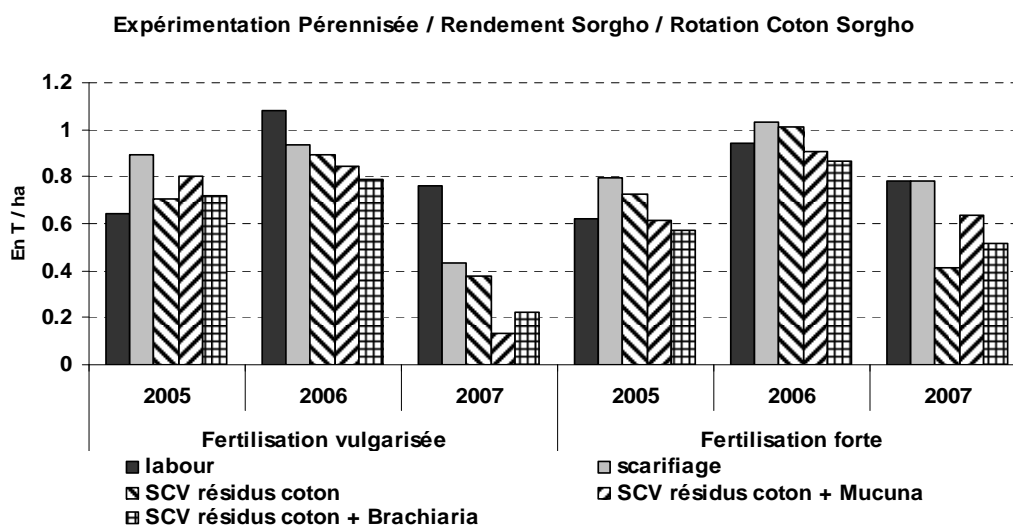




➤ Figure 22. Effet du paillage sur le stock en eau sur 1.8 m à la levée du coton à Finkolo en 2006 ; mise en évidence de l'effet sur le ruissellement.

### 6.3.2 Sorgho à Finkolo

A Finkolo les rendements en sorgho sont globalement faibles les 3 années sur l'ensemble du site et ne dépassent pas 1 T/ha même avec une fertilisation (Figure 23). Ils sont globalement en défaveur des SCV. L'année 2007 s'est notamment caractérisée par des semis tardifs suivis de fortes pluies et une très forte hétérogénéité des levées en défaveur des SCV.

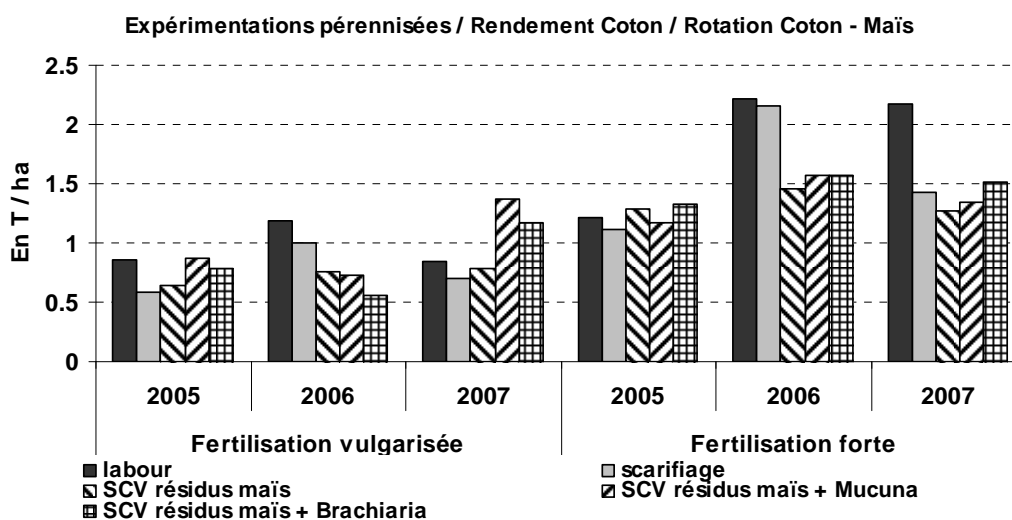


➤ Figure 23. Bilan sur les rendements en sorgho sur 3 années en expérimentation pérennisée rotation coton/maïs site de Finkolo ; respectivement en 2005, 2006, 2007,

### 6.3.3 Coton à Farako

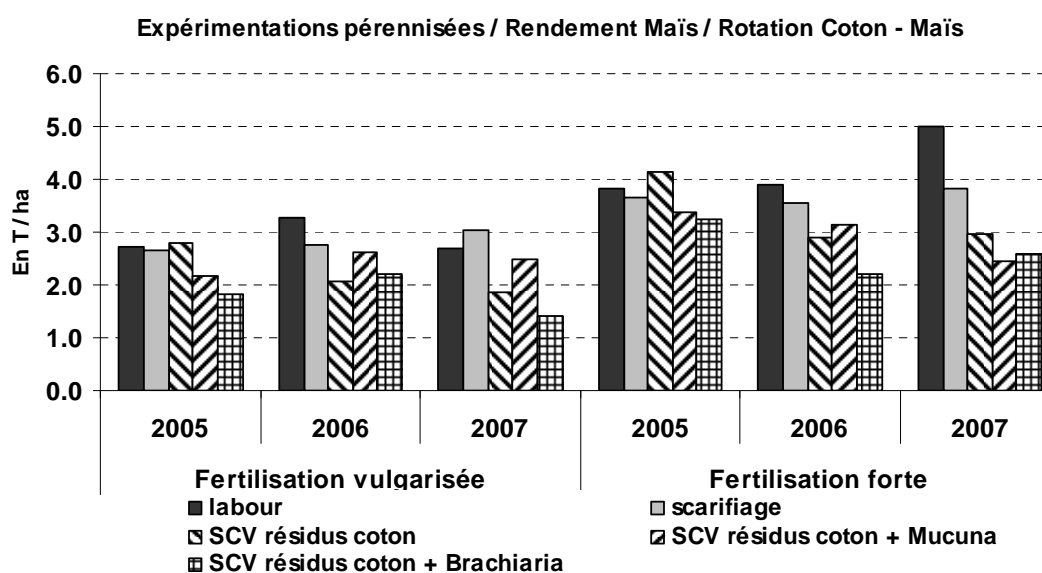
A Farako en 2005 sur coton (Figure 24) dans le cadre d'une rotation coton/maïs, on constatera sur F1 un léger effet du paillage avec un rendement similaire au labour et une amélioration par rapport au scarifiage. En 2006 l'infériorité des SCV par rapport aux deux témoins (labour et scarifiage) est liée à de plus faibles densités liées en raison de phytotoxicité de l'application de l'herbicide résiduel (effet de la texture grossière et du faible taux en MOS). Par contre en 2007 on montre un impact significatif des SCV avec plante de couverture et une tendance à un meilleur comportement avec le précédent Mucuna. Sur F2 il semblerait que le labour soit

supérieur à tous les autres traitements. On suppose que l'enfouissement de la fumure organique et de l'engrais apportés annuellement est à l'origine de ces différences favorables avec le labour. A ce niveau de fertilité aucune différence n'est montrée entre scarifiage et SCV.



➤ Figure 24. Bilan sur les rendements en coton sur 3 années en expérimentation pérennisée rotation coton/maïs site de Farako ; respectivement en 2005, 2006, 2007, 1092, 1309 et 1367 mm.

#### 6.3.4 Maïs à Farako



➤ Figure 25. Bilan sur les rendements en maïs sur 3 années en expérimentation pérennisée rotation coton/maïs site de Farako ; respectivement en 2005, 2006, 2007, 1092, 1309 et 1367 mm.

A Farako (sol pauvre très sableux mais niveau convenable du rendement en maïs) les 3 années sur maïs ont montré un moins bon comportement en SCV pour les 2 niveaux de fumure (Figure 25). Il semble que cela soit en relation avec une gestion peu efficace de la

fertilisation notamment du complexe qui comporte le phosphore vis-à-vis duquel le maïs est très sensible. N'ayant pas observé chez les agriculteurs ce niveau de différence en témoins et SCV, nous pensons qu'il faudrait veiller à enfouir l'engrais au semis en utilisant le semoir-épandeur Fitarelli pour éviter tout risque d'entraînement du complexe par les pluies. Sur ces essais nous avons appliqué à la surface du sol le complexe en 2005 et 2006 et réalisé un enfouissement profond en 2007 à 10 cm au niveau de la ligne de semis.

### **7. Point d'exécution budgétaire**

Alloué : 104 919 406 FCFA

Exécuté : 104 919 406 FCFA

### **8. Budget demandé**

Total Prévu : 182 869 000 FCFA

Versé à IER : 104 919 406 FCFA

Paiements Directs AFD : 32 944 490 FCFA

Total Dépensé : 137 863 896 FCFA

### **9. Valorisation des résultats**

- Congrès International sur l'Agriculture de Conservation Nairobi Octobre 2005 : Poster anglais/français de 2 pages sur objectifs et démarche du Projet SCV

- Atelier sur l'agriculture de conservation Ouagadougou (Burkina Faso) Mai 2006 : Présentation des premiers résultats en station et en milieu paysan.

- Production de posters à un Atelier International en septembre 2007 à Maroua au Cameroun sur les SCV en zone cotonnière et d'une communication commune avec l'APCAM et la CMDT.

- 3<sup>ème</sup> année de thèse pour Fagaye Sissoko avec départ en France début décembre 2007 pour la rédaction et une soutenance prévue fin 2008 ; publications prévues en 2008

- Publications à soumettre dans Cahiers de l'Agriculture :

Statut organique des sols cultivés en zone cotonnière du Mali : Diagnostic, déterminants, conséquences

Gestion des résidus de culture en zone cotonnière du Mali: Modélisation des flux de biomasse à l'échelle de l'exploitation et du terroir, conséquences pour la création de SCV

## 10. Conclusion et perspectives

En milieu paysan le diagnostic permanent à l'échelle de l'exploitation agricole qui consiste à connaître les contraintes et les stratégies des exploitations où sont installés nos essais agronomiques, a permis de renforcer progressivement notre partenariat avec les agriculteurs. Il serait nécessaire pour améliorer leur engagement de multiplier les formations et débats et également de pouvoir créer des échanges entre les différents villages. Un quatrième site pourrait être créé, en zone plus humide, soit au sud de Sikasso ou de Bougouni.

L'étude au niveau de nos 3 villages qui a comparé le statut organique des sols cultivés avec des sols non-cultivés, montre des tendances à un appauvrissement très rapide dès les premières années des sols en C organique en surface, en relation avec la généralisation du travail du sol en culture attelée et des restitutions organiques insuffisantes. Ces sols où la part d'éléments fins (argiles et limons fins, fraction  $<$  à 20  $\mu\text{m}$ ) est faible à très faible ne permet pas une protection suffisante du C des sols au niveau des micro-agrégats censés se former entre les argiles, les produits évolués des MOS et les microorganismes du sol. Avec la mise en culture, ces sols au bout de quelques années ont un très faible potentiel de fourniture en N minéral, autour de 2% du stock actuel (soit pour un taux de 0.3% en C une quantité moyenne en N du sol correspondant à 8 kg/ha/an, soit 16 kg/ha N pour une saison des pluies de 6 mois fourni par l'horizon de surface.

Pour la très grande majorité des exploitations, la mise en culture continue aboutira donc à un appauvrissement de la fertilité des sols qui obligera le agriculteurs pour rester à un niveau de production suffisant à investir plus fortement dans les engrais de synthèse ou à accroître et améliorer leurs produits obtenus par recyclage. Seule cette deuxième voie paraît viable à court terme économiquement mais ne pourrait être généralisée à toutes les exploitations, encore moins à toutes les parcelles cultivées.

L'option SCV permettrait donc de garantir la gestion organique des sols par une conservation *in-situ* des résidus de récolte, beaucoup moins contraignante pour l'individu en termes de pénibilité du travail.

Pour commencer à développer à une petite échelle cette innovation il serait nécessaire de poursuivre la mise au point d'une mécanisation adaptée aux SCV en culture attelée, pour le semis et l'épandage, mais aussi pour la gestion des résidus de culture. Il est hors de question pour les agriculteurs de recourir à l'utilisation de main d'œuvre supplémentaire purement manuelle. La force des SCV est la diminution de la pénibilité du travail.

Au niveau du bilan des acquis techniques on retiendra la mise au point (encore perfectible) de semoirs-épandeurs attelés reproduits localement et une avancée en matière de programmes herbicides. Un des principaux enjeux futurs serait de parvenir à un système de broyage mécanisé et performant des résidus de récolte : débroussailleuse manuelle montée d'une lame girobroyante, confection pour la traction asine d'un girobroyeur à moteur léger, montage d'un girobroyeur classique sur une prise de force de tracteur en motorisé.

Le potentiel de diffusion à court terme des SCV apparaît nettement plus favorable sur le site de Dafara (Ouélessébougou) avec sur SCV par rapport aux systèmes conventionnels, des gains en temps de travaux importants et une légère amélioration des rendements par rapport

aux pratiques conventionnelles. On devrait donc commencer à étudier en zone OHVN le potentiel de diffusion de ces systèmes, et globalement dans toutes les zones où sont associées une moindre mécanisation et la présence d'une forte biomasse après vaine pâture (zone à sorgho).

Il convient cependant de maintenir des dispositifs dans ces zones où les contraintes sont les plus fortes en termes de maintien de la fertilité de sols car les SCV semblent être, hormis une forte amélioration de la qualité des fumiers, la seule autre alternative permettant de conserver les sols sur le long terme. Tant que le coton reste un des piliers économiques de l'exploitation, c'est sur cette culture que les marges d'amélioration techniques sont les plus importantes, et un donc un moteur de l'innovation agricole.

Notre offre doit se diversifier, tendre vers des systèmes à niveau d'intrants réduit le plus possible par une intégration dans les systèmes de plantes de couverture performantes. Cela a été tenté ces 3 dernières années sans succès notable généralisable à l'échelle d'un des sites de recherche en milieu réel. Ce sera ainsi le principal défi à résoudre dès 2008, à savoir celui de convaincre les agriculteurs de recourir systématiquement en SCV à une pratique de cultures en association avec l'intégration au sein de leurs assolements de plantes récoltées ou non dont forcément une partie de la biomasse sera destinée à nourrir leur sol, puis les cultures suivantes. Pour cela il sera nécessaire d'estimer les besoins de base pour nourrir les troupeaux, ainsi que d'estimer les valorisations faites à l'échelle de l'exploitation au niveau de la valorisation domestique des résidus de culture.

## 11. Bibliographie

Amede, T., 2003. Pathways for fitting legumes into East African Highland farming systems: A dual approach. (Grain Legumes and Green Manures for Soil Fertility in Southern Africa: Taking Stock of Progress. Edited by: Stephen R. Waddington).

Bacyé B, Moreau R, Feller C., 1998. Décomposition d'une poudrette de fumier incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argilo-limoneux de bas-fond en milieu soudano-sahélien. *Etude et Gestion des Sols*, 5 : 83-92.

Baker C.J., K.E. Saxton, W.R Ritchie, W.C.T.Chamen, D.C. Reicosky, M.F.S Ribeiro, S.E. Justice and P.R. Hobbs, 2006. No-tillage Seeding in Conservation Agriculture (2<sup>nd</sup> edition). CABI and FAO, London, 326 p.

Balesdent J, Chenu C, Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*; 53: 215-30.

Berger M., 1991. Déficiences minérales sur cotonnier. Note IRCT, Cirac, Montpellier, 4 p.

Berger M., 1996. Fumure organique : des techniques améliorées pour une agriculture durable. *Agriculture et Développement*, N°10, 37-46.

Bosma R., Bengaly K., Traoré M., Roeleveld A., 1996. L'élevage en voie d'intensification: synthèse de la recherche sur les ruminants dans les exploitations agricoles mixtes au Mali-Sud. KIT/IER, Synthèse de production rurale au Mali, Volume 3.

- Breman H., Sissoko K., 1998. L'intensification Agricole au Sahel. L'Harmattan, Paris, 460 p.
- Breman H., Gaborel C., Vaissayre M., Vogelsperger R., 2004. Coton durable : vers une gestion améliorée de la fertilité des sols et des nuisances ; le cas de l'Afrique de l'ouest et du centre. Note IFDC, 6 p.
- Charpentier H et al., 1999. Fixation de l'agriculture au nord et au centre de la Côte d'Ivoire. Agriculture et Développement, 21, CIRAD Montpellier , 4-70.
- Cretenet M, Dureau D, Traore B, Ballo D, 1994. Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali: du diagnostic au pronostic. Agriculture et Développement ; 3 : 4-12.
- Déat, M.; Joly, A.; Dubernard, J.; Sément, G., 1976. Exportations minérales du cotonnier et de quelques cultures tropicales en zone de savane africaine. Coton Fibres Tropicales, 31, 4, 409- 418.
- Debaeke, Philippe ; Aboudrare, Abdellah, 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. European Journal of Agronomy, 21, 4, 433-446.
- Defoer T., De Groote H., Hilhorst T., Kanté S., Budelman A., 1999. Participatory action research and quantitative analysis for nutrient management in southern Mali: a fruitful marriage ? Agriculture, Ecosystems and Environment, 71, 215-228.
- Derpsch R., 2005. Situation of conservation agriculture in the world. In World Congress on conservation agriculture, Nairobi, october 2005, 125-135.
- Deveze J.C. , D.H.Des Fontaines, 2005. Le devenir des agricultures familiales des zones cotonnières africaines : une mutation à conduire avec tous les acteurs. AFD EVA/STR, Paris, 85 p.
- Deveze J.C. , D.H.Des Fontaines, 2005. Le devenir des agricultures cotonnières : cas du Mali. AFD, Paris.
- Diakité L., 2006. Politiques d'approvisionnement des producteurs en intrants agricoles au Mali. Présentation IER/ECOFIL, Bamako le 22/11/06.
- Djouara H., Belières J.F., Kébé D., 2005. Les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali face à la baisse des prix du coton graine. Publication en cours.
- Dufumier M., 2005. Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali. PASE Projet Caractérisation/INA-PG, 83 p.
- Dugué P., 1999. Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure minérale : impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes. Rapport final de l'ATP « Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle du terroir ». CIRAD, Montpellier, 175 p + annexes.

Dutartre P, Bartoli F, Andreux F, Portal J M, Ange A, 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. *Geoderma* ; 56: 459-78.

Ellert B H, Bettany J R, 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*; 75: 529-38.

Fabrizzi, K. P; Garcia, F.O; Costa, J.L; Picone, L.I., 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil & tillage research*, 81, 57-69.

Feller C, 1993. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low-activity caly soil in tropical zones. In: Mulongoy K, Merckx R, ed. *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. IITA/K.U Leuven: Willey-Sayce.

Feller C, Beare M H, 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*; 79: 69-116.

Gaborel C., Crétenet M., Guibert H., 2006. La fertilisation du cotonnier en Afrique subsaharienne. Note IFDC/Cirad, 2 p.

Gigou J, Giraudy F, Doucoure C O, Healy S, Traoré K, Guindo O. Le passage de la culture itinérante à la culture permanente révélé par l'âge des champs au Mali-sud. In : Dugué P, Jouve P, ed. *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Umr Sagert, Cnarc, Montpellier, 2003.

Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 1997; 191: 77-87.

Hien E. Dynamique du carbone dans un Acrisol ferrique du Centre Ouest Burkina : influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Montpellier : ENSAM, 2004.

Hien, V. and Sedogo, M.P., 1993. Etude des effets des jachères de courte durée sur la production et l'évolution du sol dans différents systèmes de culture du Burkina Faso. La jachère en Afrique de l'Ouest (Dans C; Floret et G., Sepentié (Ed). *Collection Colloques et Séminaires*. ORSTOM, Paris): 221-232.

Hoefsloot H., Van Der Pol F., Roelvelde L., 1993. Jachères améliorées: options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest. KIT, Pays-Bas, *Développement Agricole Bulletin* 333, 86 p.

Husson O., 2006. Manuel du semis-direct à Madagascar : les systèmes à proposer en priorité dans les différents milieux de Madagascar. GSDM/TAFA/Cirad, 165 p.

IER, 1988. Rapport Agronomie Programme Coton, Commission Technique Spécialisée des Cultures Industrielles.

Jordan L.S., Shaner D.L., 1979. Weed control. In: Agriculture in semi-arid environments, Ecological Studies 34, Springer-Verlag, New-York, 266-296.

Kanté S., 2001. Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali-sud. Tropical Resource Management Papers, Wageningen, Pays-Bas, 236 p.

Kante S, Defoer T, Bithcibaly K. Guide pratique de reconnaissance et de gestion des types de terre au mali sud: zone de grès de Koutiala. Sikasso : IER, 2003.

Kébé, D., 1992. Modélisation de l'impact technico-économique de l'introduction de *Stylosanthes hamata* dans les systèmes agraires villageois au Sud-Mali. *Stylosanthes as a forage and fallow crop.* (Proceedings of the regional workshop on the use of *Stylosanthes* in West Africa held in Kaduna, Nigéria October 1992).

Laurent J.P., Pierre Ruelle, Laurent Delage, Abdelaziz Zaïri, Béchir Ben Nouna, and Tarek Adjimi, 2005. Monitoring Soil Water Content Profiles with a Commercial TDR System: Comparative Field Tests and Laboratory Calibration. *Vadose Zone Journal*, 4, 1030-1036.

Lévêque A. L'influence de paramètres physiques sur la matière organique des sols ferrallitiques du nord de la Côte d'Ivoire. *Cah ORSTOM sér Pédol* 1988 ; 24 : 363-5.

Lorenzi H., 1994. Manual de indentificacao e controle de plantas daninhas. Plantarum, Nova Odessa, Brésil, 300 p.

Mando A, Ouattara B, Somado A E, Wopereis M C S, Stroosnidjer L, Breman H. Long-term effects of fallow tillage and manure application on soil organic matter and nitrogen fractions and on sorghum yield under sudano-sahelian conditions. *Soil Use and Management* 2005; 21: 25-31.

McCown R.L., Haaland G., De Haan C., 1979. The interaction between cultivation and livestock production in semi-arid africa. In: Agriculture in semi-arid environments, Ecological Studies 34, Springer-Verlag, New-York, 297-332.

Moseley W.G., 2005. Global cotton and local environmental management: the political ecology of rich and poor small-hold farmers in southern Mali. *The geographical journal*, 171, N°1, 36-55.

Nbukpo K.K., Keita M.S., 2005. L'impact sur l'économie malienne du nouveau mécanisme de fixation du prix du coton graine. Note IER/Cirad.

Oades J M. The retention of organic matter in soils. *Biochemistry* 1988; 5: 35-70.

Ouedraogo E, Mando A, Brussaard L, Stroosnidjer L. Tillage and fertility management effects on soil organic matter and sorghum yield in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research* 2007; 94: 64-74.

Parton W J, Schimel D S, Cole C V, Ojima D S, 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 1173-79.



- Personne, Erwan; Perrier, Alain; Tuzet, Andrée, 2003. Simulating water uptake in the root zone with a microscopic-scale model of root extraction. *Agronomie*, 23, 153-168.
- Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du sahara. MINCOOP/Cirad, 444 p.
- Rapidel B., Sanogo D., Morize M., 2003. Synthèse sur l'étude des stratégies paysannes de gestion de la fertilité des sols. IER, 15 p.
- Renou A., Rapidel B., Ballo D., Yattara A., 2002. Synthèse sur les effets des variations de densité de plantation du cotonnier. Note IER/Cirad, Bamako, 7 p.
- Roose, E., 2004. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. *Bulletin du réseau érosion*, 28(N°2): 87-97.
- Roose, E., 1979. Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique très désaturé sur sédiments argilo-sableux sous culture et sous forêt dense humide subéquatoriale du sud de la Côte d'ivoire Adiopodoumé : 1964 à 1976. Cahier. ORSTOM, série. Pédologie, vol. XVII, no 4, 59-281.
- Sakala, W. and Mhango, W., 2003. Green manure and food legumes research to increase soil fertility and maize yields in Malawi: A review. *Cimmyt(Grain Legumes and Green Manures for Soil Fertility in Southern Africa:Taking Stock of Progress)*: 95-101.
- Samaké O, Smaling E M A, Kropff M J, Stomph T J, Kodio A., 2005. Effects of cultivation on spatial variation of soil fertility and millet yields in the Sahel of Mali. *Agr Ecosyst Environ* , 109: 335-45.
- Schulze D, Nagel J L, Van Scoyoc G E, Henderson T L, Baumgardner M F, 1993. Significance of organic matter in determining soil colors. In: Bigham J M, Ciolkosz E J, ed. *Soil color*. Madison, USA: SSSA.
- Serrarens D., Jim L. MacIntyre, Jan W. Hopmans, Luis H. Bassoi, 2000. Soil moisture calibration of TDR multilevel probes. *Scientia Agricola*, 57, 2, 349-354.
- Shukla M K, Lal R, Ebinger M., 2006. Determining soil quality indicators by factors analysis. *Soil and Tillage Research* ; 87: 194-204.
- Sissoko F. et Autfray P., 2006. Projet PASE SCV, Rapport d'activités 2005, IER/Cirad Sikasso, 96 p + annexes.
- Sissoko F. et Autfray P., 2007. Projet PASE SCV, Rapport d'activités 2006, IER/Cirad Sikasso, 77 p + annexes.

Sissoko F., 2007. Rencontre CMDT/OHVN/IER, Ntarla, mai 2007.

Soumare M., 2004. Contribution à la prévision de l'aire de diffusion de variétés de sorgho au Mali. DEA Paris X INA-PG, 92 p.

Taonda S J B, Bertrand R, Dickey J, Morel J L, Sanon K, 1995. Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina-Faso. Cah Agri ; 4 : 363-9.

Vanlauwe, B. et al., 2003. Enhancing the contribution of legumes and biological nitrogen fixation in cropping systems: experiences from West Africa. (Grain Legumes and Green Manures for Soil Fertility in Southern Africa: Taking Stock of Progress. Edited by: Stephen R. Waddington): 3-13.

Zech W, Senesi N, Guggenberger G *et al.*, 1979. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 1979; 79: 117-61. Jordan L S, Shaner D L. Weed control. In: Billings W D, Golley F, Lange O L, Olson J S, ed. *Agriculture in semi-arid environments*. Springer-Verlag, Berlin.