



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Le semis direct sous couverture végétale : une opportunité de mise en place rapide du cotonnier en culture pluviale au Mali

Fagaye SISSOKO^{1*}, Sidiki DIARRA² et Mamadou TRAORE²

¹ Institut d'Economie Rurale (IER), Programme coton, BP 16, Sikasso, Mali.

² Institut d'Economie Rurale (IER), Programme coton, BP 262, Sotuba, Mali.

*Auteur correspondant ; E-mail: fagaye_sissoko@yahoo.fr; Tél : +223 66 79 81 71 / + 223 77 03 35 40

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre des activités du projet C4 + Togo "Renforcement technologique et diffusion des bonnes pratiques agricoles pour le coton dans les pays du Coton-4 et au Togo". Les auteurs remercient l'Etat Malien et la Coopération Brésilienne pour le financement du projet.

RESUME

En zone soudano-sahélienne, la productivité des cultures est limitée par la disponibilité de l'eau et la fertilité des sols. Le cotonnier en est particulièrement affecté lors de sa culture. L'objet de cette étude est d'évaluer l'effet du semis direct sous couverture végétale sur le rendement du cotonnier. Deux variétés de cotonnier (NTA MS334 et BRS 293) ont été utilisées pour comparer 6 systèmes de culture. Le dispositif statistique utilisé a été un Split plot. Les données collectées ont concerné les échantillons de sol, les délais de levée des cotonniers, les densités, les hauteurs, les nombres de capsules et les rendements en graine. La levée a été plus rapide dans les systèmes de culture en semis sous couverture végétale. La densité à la récolte des cinq systèmes en SCV a été de 65 076 plants ha⁻¹ contre 60 564 en SC. Les systèmes de culture n'ont pas eu d'effets statistiquement significatifs sur les rendements en coton graine, mais une différence significative a été observée entre les deux variétés. Le SCV est possible en zone soudano-sahélienne, la levée est plus rapide et permet d'améliorer la densité et le rendement (2 452 kg ha⁻¹ contre 2 373 kg ha⁻¹ en SC) des cultures.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Systèmes de culture, cotonnier, densité, capsules, rendement.

Direct sowing under cover crop: an opportunity for rapid establishment of rainfed cotton in Mali

ABSTRACT

In Sudano-Sahelian zone, crop productivity is limited by water availability and soil fertility. The purpose of this study is to evaluate the effect of direct sowing under cover crop on cotton yield. Two cotton varieties (NTA MS334 and BRS 293) were used to compare 6 cropping systems. The statistical design used was a split plot. The data collected concerned soil samples, cotton plant emergence times, densities, heights, number of bolls and cotton yields. Emergence was faster in seedling cropping systems under cover crop. Harvest density in the five SCV systems was 65 076 plants ha⁻¹ versus 60 564 plants ha⁻¹ in SC. The cropping systems had no

statistically significant effect on seed cotton yields, but a significant difference was observed between the two varieties. SCV is possible in Sudano-Sahelian zone, emergence is faster and improves crop density and yield (2 452 kg ha⁻¹ compared to 2 373 kg ha⁻¹ in SC).

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Cropping systems, cotton, density, bolls, yield

INTRODUCTION

La culture du coton (*Gossypium hirsutum* L.) est la locomotive de l'agriculture dans la zone cotonnière du Mali. Elle joue un rôle important dans l'économie du pays (Camara, 2015). Cependant, la baisse des rendements constatée au cours des dernières décennies est attribuable à certaines contraintes (aléas climatiques, dégâts des ravageurs et dégradation des sols) avec un impact sur la sécurité alimentaire, la réduction des revenus des exploitations agricoles, l'exode rural et les conflits entre agriculteurs et éleveurs (Deveze et Hally des Fontaines, 2005).

La zone cotonnière du Mali est située entre les isohyètes 800 et 1200 mm (Kouressy et al., 2019). Le cotonnier est cultivé en pluvial strict, en rotation avec le maïs, le sorgho et le mil (Sissoko et al., 2015). Le cotonnier consomme environ 600 mm d'eau durant son cycle de développement (Cetin et Bilgel, 2002). Le cumul pluviométrique enregistré pendant l'année est très souvent supérieur aux besoins en eau de cette culture. Il n'est pas un bon indicateur de l'eau disponible pour la culture du cotonnier. La distribution spatio-temporelle des pluies qui est un élément essentiel pour la croissance et la productivité des plantes cultivées est souvent très irrégulière.

Le semis direct sous couverture végétale est une pratique de l'agriculture de conservation (AC) basée sur une gestion intégrée des sols, de l'eau et des ressources biologiques combinées à l'utilisation des herbicides et des engrais minéraux (Giller et al., 2015). Elle est fondée sur trois principes qui sont censés améliorer les processus biologiques en surface et en profondeur du sol. Celles-ci sont : (1) perturbation mécanique minimale ou nulle du sol ; (2) couverture organique permanente du sol (constituée d'une

culture en croissance ou d'un paillis mort de résidus de culture) et (3) rotations des cultures.

Dans la pratique, les agriculteurs n'adoptent pas tous les principes de l'AC pour diverses causes, telles que l'accès limité aux intrants (herbicides, semences de cultures de couverture), les contraintes de main-d'œuvre ou les ressources pour cultiver des cultures de rente (Baudron et al., 2007). Dans les conditions du Mali, c'est surtout la gestion des résidus de récolte qui pose problème avec la divagation des animaux pendant la saison sèche.

Dans les régions semi-arides, le paillage s'est révélé efficace pour réduire le risque de mauvaises récoltes au niveau des champs grâce à une meilleure captation et utilisation des précipitations (Scopel et al., 2004 ; Bationo et al., 2007). Dans les semis sous couverture végétale (SCV) pratiqués au Mali, la quantité de biomasse disponible dans les parcelles varie entre 3,5 et 7,4 tonnes. ha⁻¹. Cette importante biomasse permet d'enrichir le stock de matière organique (MO) du sol et contribue à la rétention de l'humidité du sol (Turnel et al., 2015). La présence d'un couvert végétal avant le semis de la culture, stimule l'activité biologique du sol en créant des habitats pour les auxiliaires. Enfin, la couverture végétale protège le sol contre les aléas climatiques en limitant les phénomènes d'érosion, de ruissellement et de battance des sols (Naudin et al., 2010 ; Sissoko et al., 2013). Ainsi, le SCV est considéré comme une solution de rechange à l'agriculture conventionnelle qui pratique le travail du sol (Gowing et Palmer, 2008). Dans le cadre d'une série d'expériences menées dans des zones subhumides, semi-arides et subhumides sèches d'Afrique orientale, Rockstrom et al. (2008), ont montré que les pratiques de travail minimal du sol permettaient d'accroître le rendement des

cultures, même lorsque le paillage des résidus végétaux était faible ou nul.

Concernant la dégradation des sols, les causes majeures sont entre autres, le rythme élevé de la croissance démographique amplifiant la pression sur les terres arables et les terres marginales ainsi que l'extension annuelle des superficies cultivées et la réduction des pâturages et des friches (Odrú, 2013 ; Fleury, 2016). En zone cotonnière du Mali, les superficies exploitées en culture cotonnière sont passées de 28 360 ha en 1960 à 698 158 ha en 2018, soit une augmentation moyenne annuelle de 40,72% (Traoré, 2018).

Pour la restauration de la fertilité des sols, les systèmes de culture en zone cotonnière se caractérisaient dans un passé récent, par un temps de mise en culture de trois à cinq ans, alternant avec un temps de jachère qui dépassait généralement dix ans, pour permettre la restauration naturelle du couvert végétal et de la fertilité des sols (Fairhurst, 2015). De nos jours, le système de jachère de longue durée n'est plus possible avec la pression démographique.

Pour couvrir les besoins d'une population en pleine croissance, des alternatives de gestion durable de la fertilité des sols et de l'eau ont été développées et introduites en milieu réel parmi lesquelles, le SCV. Cette technique utilisée au Brésil permet de diminuer l'effet de l'érosion éolienne et hydrique et d'améliorer les rendements (Scopel, 2004). L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'effet du semis direct sous couverture végétale sur le rendement du cotonnier.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

L'expérimentation a été conduite de 2014 à 2018 au Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRRA) de SOTUBA situé dans la commune I du district de Bamako avec une latitude de 12°66'38'' Nord et une longitude de 7°92'22'' Ouest sur une altitude de 320 m. Le climat est de type soudano sahélien avec deux saisons (une saison pluvieuse de juin à octobre et une saison sèche de novembre à mai).

Le cumul de la pluviométrie moyenne des dix dernières années a été de 920 mm en 70 jours de pluie, tandis que celui de la période de l'expérimentation (2014-2018) a été de 838,6 mm en 71 jours de pluie (Tableau 1).

Matériel

Pour la réalisation de cette expérimentation, deux variétés de cotonnier à haut potentiel de rendement ont été cultivées (BRS 293 et NTA MS334). La variété BRS 293 est originaire du Brésil et a été introduite au Mali en 2009 tandis que la variété NTA MS334 est une création du programme coton de l'Institut d'Economie Rurale (IER) du Mali. Quelques caractéristiques morpho-physiologiques, agronomiques et technologiques des deux variétés figurent dans le Tableau 2. La fertilisation minérale du cotonnier a été faite avec l'engrais coton (14N-18P₂O₅-18K₂O+6S+1B₂O₃) et l'urée (46% de N). La protection phytosanitaire du cotonnier a été faite avec les matières actives Emamectine Benzoate 19,2 g/l en Emulsion Concentrée (EC) pour les deux premiers traitements insecticides et Cyperméthrine 72 g/l + Acétamipride 32 g/l (EC) pour les quatre derniers traitements.

Méthodes

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été un Split-plot avec les systèmes de culture comme facteur principal et les variétés en facteur secondaire, le tout répété 4 fois. Les systèmes de culture comparés comportaient les 6 niveaux suivants : T1= résidus de maïs ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte. Deux variétés ont été utilisées comme facteur secondaire : V1 : NTA MS334 et V2 : BRS 293. La superficie totale de l'essai a été de 4 227,4 m², soit 91,9 m x 46 m. La superficie des parcelles élémentaires a été de 144 m² (18 lignes de semis), soit un écartement

de 14,4 m x 10 m. Les graines de coton ont été semées dans des poquets de trois centimètres de profondeur aux écartements de 0,80 m entre les lignes de semis et 0,30 m entre les poquets sur la ligne de semis. Le démariage a été réalisé à 2 plants par poquet 15 jours après le semis. Trois sarclages et un buttage ont été réalisés dans les parcelles du système conventionnel (T6) au cours du cycle de développement végétatif des cotonniers. Des petites raies ont été tracées le long de la ligne de semis. L'engrais coton (14N-18P₂O₅-18K₂O+6S+1B₂O₃) a été appliqué 14 jours après la levée (JAL) des cotonniers dans des raies en ligne continue puis minutieusement refermées. L'engrais coton a été apporté à la dose de 200 kg.ha⁻¹ dans toutes les parcelles élémentaires. Dans les parcelles des systèmes de culture avec résidus de récolte en couverture, un apport supplémentaire de 50 kg d'urée ha⁻¹ a été fait au moment de l'apport de l'engrais coton. Au 45^e JAL, un apport complémentaire d'urée de 50 kg.ha⁻¹ a été fait dans toutes les parcelles élémentaires.

Échantillonnage du sol et analyse physico-chimique

Trois fosses pédologiques de 1,5 m de profondeur, 1,5 m de longueur et 0,80 m de largeur ont été ouvertes sur une superficie d'un hectare pour la description du profil pédologique en 2014. Trois points de prélèvement de sol à la tarière ont été faits dans

chacun des quatre répétitions de l'essai et un échantillon composite a été constitué pour les profondeurs 0-20 cm et 20-40 cm en 2014. Huit échantillons ont été envoyés au laboratoire de Sotuba pour des analyses physiques et chimiques : pH eau, azote totale (N), phosphore total et assimilable (P), potassium assimilable (K), calcium (Ca), magnésium (Mg) et capacité d'échange cationique CEC).

Collecte des données

La date à laquelle 50% des poquets théoriques ont levé a été notée. Cette date a été déterminée par parcelle élémentaire en passant tous les jours après l'apparition de la première plantule. Le comptage a été réalisé sur 20 poquets successifs sur les 4 lignes centrales. Les estimations de densités de peuplement ont été effectuées sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire après le démariage et à la récolte. Les hauteurs de cotonniers ont été estimées sur vingt (20) plants dans chaque parcelle élémentaire à la récolte. Le nombre de capsules a été déterminé sur 5 plants dans chaque parcelle élémentaire. Le rendement a été déterminé à partir du poids de coton graine récolté sur les quatre lignes centrales de chaque parcelle élémentaire.

Analyse statistique

L'analyse de variance a été faite à l'aide du logiciel StatBox 6.5 et le test de Newman et Keuls au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes.

Tableau 1 : Dates de semis, quantités de pluie enregistrées au mois de juin, cumul annuel et nombre de jours de pluie à Sotuba de 2014 à 2018.

Années	Dates de semis	Mois de juin			Cumul annuel	Nombre de jours de pluies
		1 ^e décade	2 ^e décade	3 ^e décade		
		mm				jours
2014	19 juin	117,1	35	60,0	881,6	69
2015	13 juin	12,1	58,3	0,0	782,7	75
2016	23 juin	49,0	15,0	103,5	833,5	76
2017	08 juin	74,8	10,2	47,7	857,6	59
2018	01 juin	19,1	31,1	42,2	837,8	78

Tableau 2 : Caractéristiques morpho-physiologiques, agronomiques et technologiques des deux variétés de cotonnier utilisées dans l'expérimentation à Sotuba de 2014 à 2018.

Caractéristique	NTA MS 334	BRS 293
Morpho-physiologiques		
Nombre moyen de BV	1,7	1,9
Hauteur (cm)	129,6	124,9
Agronomiques		
Rendement coton graine (kg/ha)	1504,9	1731,0
Rendement égrenage (%F sc.)	43,2	43,0
PMC (g)	3,9	4,0
Seed index (g)	8,2	7,6
Technologie fibre (CERFITEX, Ségou)		
Longueur (mm)	28,7	28,9
Uniformité (%)	81,7	82,3
Indice micronaire	4,2	3,8
Maturité (%)	90	90
Ténacité (g/Text)	28,6	29,1
Allongement (%)	5,6	6,0
Réfectance (%)	76,4	77,4
Indice de Jaune (+b)	9,8	9,6

BV : branche végétative, PMC : poids moyen capsulaire, Seed index : indice de semences

RESULTATS

Type de sol et caractéristiques physico-chimiques des sols

L'examen du profil pédologique a permis de découvrir une succession de couches expliquant la formation et l'évolution du sol qui a été classé comme sol ferrugineux tropical avec une hydromorphie de profondeur. L'analyse granulométrique effectuée a montré qu'en surface (0 – 20 cm) le sol est sablo-limoneux avec 14,6 g/100g d'argile, 37,4 g/100g de limon et 47,9 g/100g de sable. En profondeur (20 – 40 cm), il est limoneux avec 19,4 g/100g d'argile, 39,3 g/100g de limon et 40,6 g/100g de sable. Le pH eau moyen de la couche 0-20 cm a été de 6,1 tandis que dans la couche 20-40 cm, il a été de 6,4 (Tableau 3). Ces pH sont légèrement acides ($6 < \text{pH} < 6,6$). La teneur en azote total était faible aussi bien en surface (0,03 g/100g) qu'en profondeur (0,02 g/100g). La capacité d'échange cationique était faible 5,1 Cmol^+ /kg dans l'horizon 0-20 cm et 5,7 Cmol^+ /kg dans l'horizon 20-40 cm.

Effet du système de culture, de la variété et de l'année sur le nombre de jours entre le semis et la levée des cotonniers

Le nombre moyen de jours entre le semis et la levée a varié entre 3,8 et 9,0 jours. L'analyse statistique a montré un effet significatif entre les systèmes de culture sur le nombre de jours entre le semis et la levée en 2014. Deux groupes homogènes ont été

obtenus. Le premier groupe est constitué par les systèmes de culture T1 et T6 (Tableau 4). Le second groupe est composé des autres systèmes de culture (T2, T3, T4 et T5) avec un nombre moyen de jours variant entre 3,8 et 4,6 entre le semis et la levée. Au cours de la même année, l'analyse statistique a montré une différence entre les deux variétés. La levée a été plus rapide dans les parcelles avec la BRS 293 (Tableau 4).

En 2015, l'analyse statistique a montré un effet significatif entre les systèmes de culture, cinq groupes homogènes ont été obtenus. Aucune différence n'a été observée entre les variétés.

Pendant les cinq années d'expérimentation, aucune différence significative n'a été observée entre l'interaction systèmes de culture et variétés (Tableau 4).

Effet du système de culture, de la variété et de l'année sur la densité des cotonniers après le démariage

Pendant les cinq années d'expérimentation (2014-2018), la densité moyenne dans les systèmes de culture a varié entre 54 398 et 81 771 plants ha^{-1} . C'est seulement en 2018 que l'analyse statistique a montré une différence significative ($p = 0,000$) entre les systèmes de culture sur le nombre de plants ha^{-1} après le démariage. Quatre groupes homogènes ont été obtenus et la plus faible

densité a été observée dans les parcelles du système de culture T6 (Tableau 5).

A part l'année 2017, une différence significative a été observée entre les variétés sur le nombre de plants ha⁻¹. Les meilleures densités ont généralement été observées dans les systèmes de culture avec la variété BRS 293 (Tableau 5). Pendant les cinq années d'expérimentation, aucune interaction n'a été significative.

Effet du système de culture, de la variété et de l'année sur la densité des cotonniers à la récolte

Les systèmes de culture comparés ont eu des effets statistiquement significatifs sur le nombre de plantes ha⁻¹ à la récolte en 2015 ($p = 0,007$) et en 2018 ($p = 0,005$) (Tableau 6). Les plus faibles densités ont été obtenues en 2015 dans les parcelles du système de culture T1 qui ont été statistiquement équivalentes aux densités des systèmes de culture T4 et T6. En 2018, les plus faibles densités ont également été obtenues dans les parcelles du système de culture T6 qui ont été statistiquement équivalentes aux densités du système de culture du T1 (Tableau 6). Les interactions (Systèmes de culture x variétés) n'ont pas été significatives sur le nombre de plants ha⁻¹ à la récolte.

A l'exemption de l'année 2018, une baisse moyenne de 4 à 8 % du nombre de plants ha⁻¹ a été constatée dans les parcelles de tous les systèmes de culture entre le démariage et la récolte.

Effets du système de culture, de la variété et de l'année sur les hauteurs des cotonniers

Au cours des cinq années d'expérimentation, la hauteur des cotonniers a varié entre 90 et 150 cm. A part l'année 2016, les systèmes de culture n'ont pas eu d'effets significatifs sur la croissance des plantes, comme l'indique les valeurs moyennes obtenues (Tableau 7).

Une différence significative a été observée entre des deux variétés sur la hauteur des cotonniers, sauf en 2015 (Tableau 7). En moyenne, les cotonniers de la variété NTA MS334 ont été plus grands que ceux de la variété BRS 293.

Aucune interaction (systèmes de culture x variétés) n'a été significative pendant les cinq années d'expérimentation (Tableau 7).

Effet du système de culture, de la variété et de l'année sur le nombre de capsules par plant

Le nombre moyen de capsules par plant a varié entre 9,70 et 22,75 (Tableau 8). L'analyse statistique n'a pas montré de différence significative entre les systèmes de culture sur le nombre de capsules par plant (Tableau 8). Sauf en 2014, des différences significatives ont été observées entre les variétés sur le nombre de capsules par plants. Le nombre élevé de capsules a toujours été obtenu avec la variété BRS 293. E, 2014, le nombre moyen le plus élevé de capsules par plant (18,61) a été observé.

Aucune interaction (Systèmes de culture x variétés) n'a été significative (Tableau 8).

Effet du système de culture, de la variété et de l'année sur les rendements obtenus

Aucune différence significative n'a été obtenue entre les systèmes de culture sur le rendement (Tableau 9). Cependant, une différence significative a été obtenue entre les deux variétés sur le rendement en coton graine au cours de chacune des années. Les meilleurs rendements ont toujours été obtenus avec la variété BRS 293. Les écarts de rendement entre la variété NTA MS334 et la variété BRS ont varié entre 251 et 629 kg ha⁻¹ en fonction des années (Tableau 9).

Tableau 3 : Caractéristiques chimiques des échantillons de sol prélevés à Sotuba en 2014.

Couches (cm)	pH eau	N	P total	P ass	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CEC
		g/100g		mg/kg		cmol ⁺ /kg		
0 – 20	6,1	0,03	121,2	4,3	2,0	0,9	0,20	5,1
20-40	6,4	0,02	113,5	1,2	2,5	1,1	0,10	5,7

N : azote ; P ass : Phosphore assimilable ; Ca : Calcium ; Mg : Magnésium ; K : Potassium ; CEC : Capacité d'Echange Cationique.

Tableau 4 : Nombre de jours entre le semis et la levée des cotonniers en fonctions des systèmes de culture et des variétés pendant les cinq années de l'étude à Sotuba.

Système de culture	2014			2015			2016			2017			2018		
	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy
T1	7,5	6,3	6,9 a	9,0	7,8	8,4 a	7,0	7,0	7,0 a	6,3	6,3	6,3 a	7,5	6,5	7,0 a
T2	4,5	4,0	4,3 b	5,5	5,0	5,3 c	4,0	4,0	4,0 b	4,0	4,0	4,0 b	4,0	4,0	4,0 b
T3	3,8	3,8	3,8 b	4,0	4,0	4,0 d	4,3	4,3	4,3 b	4,0	4,0	4,0 b	4,5	4,5	4,5 b
T4	4,8	4,5	4,6 b	4,0	4,0	4,0 d	4,0	4,0	4,0 b	4,0	4,0	4,0 b	4,3	4,3	4,3 b
T5	4,3	4,0	4,1 b	4,5	4,5	4,5 cd	4,3	4,3	4,3 b	4,3	4,3	4,3 b	4,8	4,8	4,8 b
T6	7,8	6,8	7,3 a	7,8	6,5	7,1 b	7,3	6,8	7,0 a	7,0	6,5	6,8 a	7,8	7,3	7,5 a
Moyenne	5,4 a	4,8 b	5,1	5,8	5,3	5,5	5,1	5,0	5,1	4,9	4,8	4,9	5,5	5,2	5,3
Probabilité traitement			0,000			0,000			0,000			0,000			0,000
Probabilité variété			0,008			0,056			0,484			0,589			0,160
Probabilité interaction			0,402			0,456			0,764			0,904			0,464
Ecart type			0,67			0,88			0,40			0,52			0,61
CV (%)			12,96			15,94			7,91			10,66			11,39

T1= résidus de maïs (conservation des résidus sur la parcelle après la récolte) ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte ; Signification : les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents ; CV% : Coefficient de Variation en pourcentage ; Moy = moyenne.

Tableau 5: Nombre de plants après le démariage en fonctions des systèmes de culture et des variétés pendant les cinq années de l'étude à Sotuba.

Système de culture	2014			2015			2016			2017			2018		
	NTA MS334	BRS 293	Moy												
T1	64294	58565	61429	62083	79271	70677	71150	73734	72442	67509	66314	66912	62731	68866	65799 b
T2	67882	58507	63194	72396	80208	76302	65506	70200	67853	66498	65028	65763	75868	79398	77633 a
T3	73332	63252	68287	74375	81562	77969	65032	71677	68354	64108	64706	64407	71933	74132	73032 ab
T4	69792	65741	67766	68958	80000	74479	62975	72943	67959	63879	64614	64246	68692	73264	70978 ab
T5	71007	61921	66464	72292	78958	75625	68460	73892	71176	64844	64844	64844	72049	74074	73061 ab
T6	61863	56829	59346	64062	81771	72917	68513	72627	70570	65625	62684	64154	54398	64583	59491 c
Moyenne	68027 a	60802 b	64415	69028 b	80295 a	74661	66939 b	72512 a	69726	65411	64698	65055	67612 b	72386 a	69999
Probabilité traitement			0,136			0,086			0,727			0,931			0,000
Probabilité variété			0,003			0,001			0,012			0,494			0,000
Probabilité interaction			0,948			0,103			0,938			0,886			0,107
Ecart type			3647			2589			1934			1084			6417
CV (%)			11,9			6,70			10,42			9,40			8,13

T1= résidus de maïs (conservation des résidus sur la parcelle après la récolte) ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte ; Signification : les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents ; CV% : Coefficient de Variation en pourcentage ; Moy = moyenne.

Tableau 6: Nombre de plants à la récolte en fonctions des systèmes de culture et des variétés pendant les cinq années de l'étude à Sotuba.

Systèmes de culture	2014			2015			2016			2017			2018		
	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy	NTA MS334	BRS 293	Moy
T1	60185	54919	57552	56875	73333	65104 c	62869	69146	66007	65349	63557	64453	65683	68634	67159 ab
T2	62442	54109	58275	68958	74375	71667 ab	59072	64346	61709	64430	62730	63580	74132	75926	75029 a
T3	66782	58507	62645	69687	76563	73125 a	59072	67827	63449	61719	62086	61903	74884	74363	74624 a
T4	66551	61400	63976	61771	73750	67760 bc	58597	68143	63370	61259	61581	61420	72396	73843	73119 a
T5	65799	59028	62413	66042	74792	70417 ab	61814	69884	65849	62408	62546	62477	72338	72685	72512 a
T6	57870	53183	55527	58854	75521	67187 bc	61762	70200	65981	58869	59421	59145	61111	62095	61603 b
Moyenne	63272 a	56858 b	60065	63698 b	74722 a	69 210	60531 b	68258 a	64394	62339	61987	62163	70090	71259	70674
Probabilité traitement			0,163			0,007			0,731			0,396			0,005
Probabilité variété			0,005			0,001			0,001			0,593			0,379
Probabilité interaction			0,992			0,051			0,987			0,783			0,377
Ecart type			4535			7795			6841			4960			6421
CV (%)			12,30			4,60			10,62			7,98			9,09

T1= résidus de maïs (conservation des résidus sur la parcelle après la récolte) ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte ; Signification : les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents ; CV% : Coefficient de Variation en pourcentage ; Moy = moyenne.

Tableau 7 : Hauteurs moyennes des cotonniers en fonction des systèmes de culture et des variétés de 2014 à 2018 à Sotuba.

Systèmes de culture	2014			2015			2016			2017			2018		
	NTA MS334	BRS 293	Moy												
T1	112	104	112	142	136	139	120	102	111 b	143	128	136	136	123	129
T2	135	128	131	136	133	134	125	123	124 a	150	130	140	135	131	133
T3	130	118	124	138	135	137	115	97	106 b	149	134	141	134	126	130
T4	131	118	125	144	136	140	106	105	105 b	143	133	138	133	124	128
T5	122	113	117	134	131	132	117	90	104 b	134	123	128	128	123	126
T6	137	114	125	136	138	137	114	99	106 b	144	130	137	127	123	125
Moyenne	129 a	116 b	122	138	135	137	116 a	103 b	109	144 a	130 a	138	132 a	125 b	129
Probabilité traitement			0,064			0,582			0,009			0,107			0,324
Probabilité variété			0,001			0,216			0,000			0,000			0,005
Probabilité interaction			0,824			0,939			0,183			0,939			0,865
Ecart type			9,19			2,12			0,11			0,08			0,07
CV (%)			9,80			6,80			10,06			6,07			5,75

T1= résidus de maïs (conservation des résidus sur la parcelle après la récolte) ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte ; Signification : les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents ; CV% : Coefficient de Variation en pourcentage ; Moy = moyenne.

Tableau 8 : Nombre de capsules par plant en fonction des systèmes de culture et des variétés de 2014 à 2018 à Sotuba.

Systèmes de culture	2014			2015			2016			2017			2018		
	NTA MS334	BRS 293	Moy												
T1	16,15	20,30	18,22	10,30	11,25	10,77	14,08	18,33	16,21	13,33	15,02	14,18	11,85	13,65	12,8
T2	14,55	21,55	18,05	9,70	14,35	12,02	14,75	16,75	15,75	13,15	16,75	14,95	12,65	14,60	13,6
T3	15,30	21,10	18,20	11,35	11,35	11,35	14,42	17,33	15,88	14,23	17,33	15,78	12,85	14,60	13,7
T4	17,05	21,35	19,20	13,50	13,60	13,55	14,00	17,00	15,50	13,26	17,00	15,13	12,50	13,45	13,0
T5	15,80	22,75	19,27	10,45	15,25	12,85	13,92	17,00	15,46	13,62	17,00	15,31	13,65	13,40	13,5
T6	15,05	22,35	18,70	10,75	12,75	11,75	13,33	17,42	15,38	13,03	15,05	14,04	12,85	13,60	13,2
Moyenne	15,65 b	21,57 a	18,61	11,0 b	13,1	12,05	14,08 b	17,31 a	15,69	13,43 b	16,36 a	14,90	12,73 b	13,88 a	13,30
Probabilité traitement			0,944			0,127			0,931			0,148			0,439
Probabilité variété			0,001			0,002			0,000			0,000			0,007
Probabilité interaction			0,840			0,084			0,809			0,614			0,554
Ecart type			2,21			1,05			1,75			1,44			1,15
CV (%)			8,60			1,40			11,13			9,64			8,61

T1= résidus de maïs (conservation des résidus sur la parcelle après la récolte) ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte ; Signification : les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents ; CV% : Coefficient de Variation en pourcentage ; Moy = moyenne.

Tableau 9 : Rendements obtenus en fonction des systèmes de culture et des variétés de 2014 à 2018 à Sotuba.

Système de culture	2014			2015			2016			2017			2018		
	NTA MS334	BRS 293	Moy												
T1	2876	3536	3206	2531	2542	2536	2231	2700	2466	1756	2436	2096	1690	2102	1896
T2	3148	3993	3571	2302	2656	2479	2294	2832	2563	1746	2339	2043	1742	1671	1707
T3	3073	3773	3423	2531	2667	2599	2057	2611	2334	1654	2183	1919	1781	2134	1957
T4	3160	3782	3471	2396	2865	2630	2083	2479	2281	1861	2436	2148	1605	1927	1766
T5	3322	4230	3776	2125	2677	2401	2004	2294	2149	1838	2528	2183	1494	1900	1697
T6	3183	3414	3299	2281	2656	2469	2041	2442	2242	1792	2505	2148	1665	1746	1706
Moyenne	3127 b	3788 a	3458	2361 b	2677 a	2519	2118 b	2560 a	2339	1775 b	2404 a	2089	1663 b	1914a	1788
Probabilité traitement			0,112			0,677			0,690			0,359			0,526
Probabilité variété			0,001			0,001			0,008			0,000			0,000
Probabilité interaction			0,645			0,497			0,990			0,818			0,137
Ecart type			85			223			547			251			340
CV (%)			11,8			12,2			23,38			12,02			18,98

T1= résidus de maïs (conservation des résidus sur la parcelle après la récolte) ; T2 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* ; T3 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Stylosanthes hamata* ; T4 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Cajanus cajan* ; T5 = résidus de maïs + *Brachiaria ruziziensis* + *Mucuna cochinchinensis* ; T6 = système conventionnel, exportation des résidus après la récolte ; Signification : les chiffres suivis des mêmes lettres ne sont pas statistiquement différents ; CV% : Coefficient de Variation en pourcentage ; Moy = moyenne.

DISCUSSION

En zone soudano-sahélienne, le cumul annuel de la pluviométrie ne semble pas être un bon indicateur de la disponibilité de l'eau pour les cultures, car sa distribution spatio-temporelle est très souvent mauvaise. L'analyse de la pluviométrie du mois de juin, le plus propice au semis du cotonnier, a montré une très grande variabilité entre les décades de la même année, avec souvent des décades sans pluie. La date optimale de semis du cotonnier se situe dans la deuxième décade du mois de juin à Sotuba. Si les quantités de pluies enregistrées pendant cette période sont faibles, les semis sont réalisés dans la troisième décade du mois de juin. Quand la pluie est bien répartie, le cotonnier a besoin d'environ 600 mm d'eau durant son cycle de culture (Cetin et Bilgel, 2002).

Les valeurs obtenues après l'analyse des échantillons de sol sont supposées être les plus faibles qu'on puisse observer au cours de l'année selon les travaux réalisés par Sissoko (2009). Les valeurs de pH eau supérieures à 6 dans ce sol, n'ont pas d'effet négatif sur la vie microbienne et sur les formes chimiques des éléments nutritifs du sol selon Bertrand et Gigou (2000). Le pH eau n'est certainement pas le seul paramètre permettant de bien apprécier des propriétés du sol. D'autres paramètres comme la Capacité d'Echange Cationique, les bases échangeables, la teneur en matière organique etc. peuvent fournir des informations intéressantes. Les paramètres évalués (pH, azote, phosphore total et assimilable, le potassium, le calcium, le magnésium, et la capacité d'échange cationique) montrent que les sols de la zone d'étude sont pauvres.

Les difficultés de germination sont très souvent liées à l'insuffisance d'humidité dans le sol. La conservation de la biomasse en couverture sur le sol permet de mieux conserver l'humidité (Scopel et al., 2004 ; Sissoko, 2009 ; Dugué et al., 2015 ; Ouattara et al., 2018). La différence en nombre de jours entre un semis réalisé sous couverture végétale et un semis en système conventionnel peut atteindre 4 jours. Cette vitesse à la levée peut impacter la densité de poquets et de plants par hectare.

Certains auteurs ont montré qu'il n'y a pas de relation précise entre le nombre de poquets à la récolte et le rendement obtenu dans les différents systèmes de culture. Entre 30000 et 40000 poquets.ha⁻¹, les rendements varient fortement entre 1 et 2,3 t.ha⁻¹ en fonction des systèmes de culture. Bednarz et al. (2000) ont montré que le rendement n'est pas influencé par des densités variantes entre 2,5 à 23 poquets/m². Rapidel et al. (2006) ont obtenu des rendements statistiquement équivalents avec des densités variant entre 34000 et 48300 plants.ha⁻¹. Ceci s'explique par l'ajustement du pourcentage des capsules sur les différentes positions qui annule l'effet de la forte densité. Sekloka et al. (2016) ont trouvé qu'à faible densité, les cotonniers sont plus florifères et retiennent mieux leurs capsules, les nombres moyens de sites fructifères par plants et les taux de rétention sont plus élevés à 42000 plants.ha⁻¹ qu'à 125000 et 167000 plants.ha⁻¹. A l'inverse Smith et al. (1979) ont montré que la production de coton graine est significativement différente pour des fortes densités (170 000 poquets.ha⁻¹) comparés aux faibles densités (34 000 poquets.ha⁻¹).

Les systèmes de culture n'ont pas eu d'effet sur la hauteur des cotonniers à récolte.

Au Burkina Faso, Sourgou (2018) a obtenu les mêmes résultats sur deux sites d'étude à Houndé et à Bondokuy. Cependant, à Tiakaré et Kouaré, il a observé les meilleures hauteurs avec le coton en culture conventionnelle. Une différence significative a été constatée entre les deux variétés. La BRS 293 est généralement plus courte de taille.

Le nombre de capsules par plants a été statistiquement équivalent dans les parcelles des différents systèmes de culture. Ce résultat est confirmé par les travaux de Sourgou (2018) qui n'a lui aussi pas obtenu de différence significative entre le nombre de capsules par hectare dans les parcelles en SCV comparées aux parcelles du système conventionnel.

En fonction de l'architecture du cotonnier, le nombre de capsules par plant peut varier. Le meilleur nombre de capsules par plant a été obtenu sur la variété BRS 293 qui a une production plus groupée sur les premières positions des branches végétatives.

Les rendements en coton graine n'ont pas été influencés par les systèmes de culture étudiés. Des observations similaires ont été faites par Swanepoel et al. (2017) qui ont montré que les études de courtes durées ne permettent pas de mettre en évidence des améliorations significatives de la teneur en matière organique du sol et des rendements en agriculture de conservation. Le semis sous couverture végétale est présenté comme la panacée aux problèmes de faible productivité agricole et de dégradation des sols en Afrique subsaharienne (Giller et al., 2009). Cependant, il y a des préalables à la réussite de cette innovation. Le respect de l'itinéraire technique a permis d'avoir des rendements deux fois supérieurs au rendement moyen de la zone de

production du coton au Mali qui est de 984 kg. ha⁻¹ (Traoré, 2018).

Conclusion

Il ressort clairement de ces travaux, les effets positifs du semis direct sous couverture végétale sur les différents paramètres agronomiques des deux variétés de cotonnier utilisées dans cette expérimentation. Le semis direct sous couverture végétale a permis une installation rapide des cotonniers avec des pluies de faibles quantités. Le nombre de plants levés a été amélioré dans les systèmes de semis direct (SCV) par rapport au système conventionnel. Le semis direct sous couverture végétal n'a pas affecté la croissance des cotonniers qui a été normale dans l'ensemble. Aucune différence significative n'a été observée entre les rendements obtenus dans les systèmes de culture. Cela dénote que les systèmes de cultures en SCV permettent de bien produire le coton et d'économiser le labour. Par conséquent, le semis direct sous couverture végétale pourrait être une alternative pour la culture du cotonnier, notamment dans la zone semi-aride où la pluviométrie est de plus en plus erratique avec une grande variabilité spatio-temporelle.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Les co-auteurs Sidiki DIARRA et Mamadou TRAORE ont mis en place les expérimentations. Ils ont également suivi, collecté et saisi toutes les données de cet article. Fagaye SISSOKO a analysé, interprété et rédigé l'article.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les chercheurs de l'Embrapa/Brésil et du programme coton de

l'IER pour la fourniture du matériel végétal et les recommandations pour le suivi du parasitisme.

REFERENCES

- Bationo A, Kihara J, Vanlauwe B, Waswa B, Kimetu J. 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agric. Syst.*, **94**: 13–25. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.08.011
- Baudron F, Mwanza HM, Triomphe B, Bwalya M. 2007. *Conservation Agriculture in Zambia: A Case Study of Southern Province*. African Conservation Tillage Network, Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Development, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Nairobi.
- Bertrand R, Gigou J. 2000. *La Fertilité des Sols Tropicaux*. Maisonneuve et Larose : Paris.
- Bednarz CW, Bridges DC, Brown SM. 2000. Analyse de la stabilité du rendement du coton à travers les densités de population. *Agron. J.* **92** : 128-135. DOI : 10.2134/agronj2000.921128x.
- Camara M. 2015. Atouts et limites de la filière coton au Mali. Thèse de Doctorat, Toulon, p. 321.
- Cetin O, Bilgel L. 2002. Effets of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management*, **54**(1): 1-15. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00138-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00138-X)
- Dugué P, Djamen NP, Faure G, Le Gal PY. 2015. Dynamiques d'adoption de l'agriculture conservation dans les exploitations familiales : de la technique aux processus d'innovation. *Cah. Agric.*, **24**: 60-68. DOI: <http://dx.doi.org/10.1684/agr.2015.0748>
- Deveze JC, Halley des Fontaines D. 2005. *Débats, Echanges, Réflexions en Réseaux Développement Rural au Sud*. Document AFD, Paris.
- Fairhurst T. 2015. Manuel de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols. Consortium Africain pour la Santé des Sols, Nairobi.
- Fleury M. 2016. Agriculture itinérante sur brûlis (AIB) et plantes cultivées sur le haut Maroni : étude comparée chez les Aluku et les Wayana en Guyane Française, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, **11**(2): 431-465. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1981.81222016000200006>
- Gowing JW, Palmer M. 2008. Sustainable agricultural development in sub-Saharan Africa: the case for a paradigm shift in land husbandry. *Soil Use Manage*, **24** (1), 92–99. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00137.x>
- Giller KE, Andersson JA, Corbeels M, Kirkegaard J, Mortensen D, Erenstein O, Vanlauwe B. 2015. Beyond conservation agriculture. *Front. Plant Sci.*, **6**: 870. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00870>
- Giller KE, Witter E, Corbeels M, Tittonelle P. 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crops Research*, **114**(1): 23-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.017>

- Kouressy M, Sultan B, Vaksmann M, Belières JF, Claessens L, Dingkuhn M, Témé N. 2019. Climate Change and Cereal Production Evolution Trend in the Sahel: Case Study in Mali from 1951 to 2010. *Sustainable Agriculture Research*, **8**(2): 68-89. DOI: <https://doi.org/10.5539/sar.v8n2p68>
- Naudin K, Gozé E, Balarabé O, Giller KE, Scopel E. 2010 – Impact of no-tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: a multi-locational on-farm assessment. *Soil and Tillage Research*, **108**(1-2): 68-76. DOI: 10.1016/j.still.2010.03.002
- Naudin K, Bruelle G, Salgado P, Penot E, Scopel E, Lubbers M, De Ridder N, Giller KE. 2015. Trade-offs around the use of biomass for livestock feed and soil cover in dairy farms in the Alaotra lake region of Madagascar. *Agricultural Systems*, **134**: 36-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.003>
- Odrú M. 2013. Flux de biomasse et renouvellement de la fertilité des sols à l'échelle du terroir. Etude de cas d'un terroir villageois sereer au Sénégal. Mémoire de fin d'études. Ecole Supérieure d'Agro-Développement International. Dakar, Sénégal, p. 109.
- Ouattara B, Coulibaly K, Kohio E, Doumbia S, Ouédraogo S, Nacro HB. 2018. Effets du Système de Culture sous couverture Végétale (SCV) sur les flux hydriques d'un sol ferrugineux à l'ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(4): 1770-1783. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.20>
- Rapidel B, Defeche C, Traore B, Lançon J, Wery J. 2006. In-field development of a conceptual crop functioning and management model: A case study on cotton in southern Mali. *European Journal of Agronomy*, **24**: 304-315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.012>
- Rockstrom J, Kaumbutho P, Mwalley J, Nzabi AW, Temesgen M, Mawenya L, Barron J, Mutua J, Damgaard-Larsen S. 2008. Conservation farming strategies in East and Southern Africa: yields and rain water productivity from on-farm action research. *Soil Till. Res.*, **103**: 23–32. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.09.013>
- Sekloka E, Lançon J, Zinsou VA, Thomas G. 2016. Influence des conditions de culture sur la production de capsules chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) en conditions de culture pluviale au Bénin. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **20**(2): 161-170. DOI: 10.25518/1780-4507.12904
- Scopel E, Macena F, Corbeels M, Affholder F, Maraux F. 2004. Modeling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomy*, **24**: 383-395. DOI: 10.1051/agro: 2004029
- Smith CW, Waddle BA, Ramey HH Jr. 1979. Plant Spacings with irrigated Cotton. *Agronomy Journal*, **71** : 858-860. DOI : <https://doi.org/10.2134/agronj1979>
- Sissoko F. 2009. Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone Soudano sahélienne : Cas du coton semé après une culture de

- Sorgho/Brachiaria au Sud du Mali. Thèse de doctorat de SupAgro, Montpellier, p. 169.
- Sissoko F, Affholder F, Autfray P, Wery J, Rapidel B. 2013. Wet years and farmers' practices may offset the benefits of residue retention on runoff and yield in cotton fields in the Sudan–Sahelian zone. *Agricultural Water Management*, **119**: 89–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.012>
- Sissoko F, Coulibaly D, Cissé O, Dugué P. 2015. Évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali. In *AGRAR-2013 1^e Conférence de la Recherche Africaine sur l'Agriculture, l'Alimentation et la Nutrition*. Presses Agronomiques de Gembloux ; 149-159.
- Sourgou L. 2018. Effets du semis direct sous couverture végétale (SCV) sur les rendements du maïs et du cotonnier dans les zones cotonnières du Burkina Faso. Mémoire Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, p. 77.
- Swanepoel CM, Swanepoel LH, Smith HJ. 2017. A review of conservation agriculture research in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 1-10. DOI: 10.1080/0571862.2017.1390615
- Traoré M. 2018. Rapport bilan de fin campagne 2018/2019 de la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles du Mali, p. 61.
- Turnel MS, Speratti A, Baudrin F, Verhulst N, Govaerts B. 2015. Crop residue management and soil health: S systems analysis. *Agricultural Systems*, **134** : 6-16. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.009>.