

Le coton biologique au Paraguay. 2. Production et contraintes agronomiques

Pierre Silvie ⁽¹⁾, José Martin ⁽¹⁾, Julie Debru ⁽²⁾, Maurice Vaissayre ⁽¹⁾

⁽¹⁾ CIRAD. UPR Systèmes de culture annuels. F-34398 Montpellier (France). E-mail : pierre.silvie@cirad.fr

⁽²⁾ AgroParisTech. 16, rue Claude Bernard. F-75000 Paris (France).

Reçu le 15 juin 2009, accepté le 21 octobre 2009.

En culture cotonnière biologique, la fertilité des sols et la maîtrise des bioagresseurs sont les deux contraintes agronomiques majeures. Au Paraguay, la filière cotonnière biologique se développe depuis 2003. Le présent article fait suite à une étude exploratoire qui a été réalisée en 2008 dans le but d'appréhender la construction de la filière et d'identifier des contraintes économiques et organisationnelles. Ce deuxième article rapporte une analyse de la production et des contraintes agronomiques. L'étude a été effectuée en période de récolte du coton sous la forme d'entretiens avec les acteurs institutionnels et les producteurs. Avec plus de 200 tonnes de coton-graine produites dès 2006-2007, le Paraguay est devenu le deuxième producteur de coton biologique sud-américain derrière le Pérou. En 2007-2008, le rendement moyen enregistré de 492 kg·ha⁻¹ de coton-graine a été sous-estimé en raison d'importantes fuites de production vers la filière conventionnelle. Les pratiques de gestion de la fertilité des sols, de fertilisation de la culture et de lutte contre les ravageurs, notamment contre le charançon des capsules *Anthonomus grandis*, s'inscrivent dans un système de culture avec rotation sans brûlis, avec fumier de ferme, cultures d'engrais verts et des intrants fermiers, diversément préparés et appliqués. Leur efficacité, jugée bonne par les prescripteurs et les utilisateurs, n'a pas été formellement étudiée. Dans tous les cas, des recherches sont nécessaires pour identifier les processus biologiques mis en œuvre lorsqu'ils sont peu ou pas connus, pour appréhender qualitativement et quantitativement la variabilité des pratiques paysannes et enfin pour intégrer leurs effets à différentes échelles d'espace et de temps.

Mots-clés. Coton biologique, production, rendements, système de culture, fertilité des sols, gestion des ravageurs, *Anthonomus grandis*, intrants fermiers, Paraguay.

Organic cotton production in Paraguay. 2. Agronomic limitations for a novel industry. Two main limiting factors to organic cotton production are soil fertility and pest (arthropods and diseases) management. Paraguay has begun to produce organic cotton since 2003. An exploratory study was carried out in order to have a better knowledge of the way the organic cotton production has developed and to identify economic (first paper) and agronomic limitations (this paper). In addition, this paper provides an analysis of the production of cotton-seed. The study was achieved in 2008 during the cotton harvest period by interviewing the actors from the farm to the industrial level. With more than 200 tons of cotton-seed produced since 2006-2007, Paraguay has reached the second position of South-American producers of organic cotton, behind Peru. In 2007-2008, the recorded average yield of 492 kg·ha⁻¹ of cotton-seed has been underestimated because of sales of organic cotton to the conventional industry. Fertilization and insect pest management, especially for the boll weevil *Anthonomus grandis*, were based on biological approaches at the whole cropping system level. Management practices included the use of made-in-farm inputs with, according to users, a fair level of efficacy but whose actual effects are mostly poorly known. We recommend in-depth studies firstly to identify the biological pathways involved when necessary, secondly to assess the qualitative and quantitative diversity of farmers practices, and thirdly to integrate their impacts at different space and time scales.

Keywords. Organic cotton, production, yields, cropping system, soil fertility, pest management, *Anthonomus grandis*, farm-made fertilizers and pesticides, Paraguay.

1. INTRODUCTION

Dans de nombreux pays producteurs de coton, la culture cotonnière est à la limite de la rentabilité et ses impacts sociaux et environnementaux ne peuvent plus être ignorés (Abba et al., 2006 ; Pichot et al., 2006).

Dans les pays en développement, où le coton est produit sur de petites surfaces et en régime pluvial par une petite agriculture familiale, les rendements tendent à plafonner, voire à décroître. La baisse de la fertilité des sols est une des causes invoquées (Vaissayre et al., 2008), certains auteurs parlent même d'exploitation

minière des sols (Van der Pol, 1990). Une autre cause soulignée par de nombreux auteurs dans le monde est la baisse de l'efficacité des insecticides à la suite de l'apparition de résistances chez certains ravageurs du cotonnier (Tang et al., 1988 ; Armes et al., 1996 ; Martin et al., 2005).

Face à cette crise, la recherche agronomique s'est mobilisée (Pichot et al., 2006). Dans certains bassins cotonniers, les bonnes relations entre la recherche agronomique et les organismes de développement ont conduit à changer les pratiques paysannes, notamment celles de protection contre les ravageurs, avec la mise en œuvre de traitements ciblés et sur seuil (Ferron et al., 2006). Les changements dans les pratiques de gestion des sols sont en revanche plus difficiles à mettre en œuvre (Vall et al., 2006 ; Balarabé et al., 2008 ; Uphoff, 2008). Les travaux de recherche en cours privilégient la voie agroécologique qui vise à insérer plus harmonieusement la culture cotonnière dans des paysages agricoles à biodiversité entretenue, afin de favoriser les régulations écologiques et de réduire l'usage des intrants conventionnels (Deguine et al., 2008).

L'*International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM, www.ifoam.org/growing_organic/definitions) souligne que l'agriculture biologique ne se limite pas à exclure les intrants chimiques de synthèse et les semences génétiquement modifiées au profit d'intrants biologiques ou préparés à la ferme. Elle s'inscrit pleinement dans la voie agroécologique et vise la durabilité de l'écosystème agricole. De ce fait, dans les zones cotonnières des pays en développement, l'adoption de l'agriculture biologique est présentée par ses promoteurs comme une option de sortie de crise (Ferrigno et al., 2008).

Cependant, les contraintes génériques liées à la production de coton biologique sont pour la plupart bien identifiées (ICAC, 2003 ; Ton, 2003) : absence de variétés adaptées, difficulté à produire des semences biologiques, difficulté à mettre au point localement des techniques de remplacement aux fertilisants et aux pesticides de synthèse, complexité de l'organisation et coût élevé de la certification, manque d'information sur les coûts de production. La faisabilité et la rentabilité de la culture biologique sans fertilisants ni pesticides de synthèse font d'ailleurs l'objet de controverses (Matthews et al., 2006) et disposer de terres fertiles est souvent présenté comme une condition préalable nécessaire (Diallo, 2008 ; Ferrigno et al., 2008).

D'après Ferrigno et al. (2008), la production de fibre de coton certifié biologique impliquait 22 pays en 2007-2008 et représentait 0,55 % de la production globale de coton, mais elle était en hausse de 60 à 152 % selon les pays par rapport à la campagne 2006-2007. La production de coton biologique est pour l'essentiel le fait d'agricultures familiales paysan-

nes, en général soutenues par des organisations, souvent non gouvernementales (ONG). De plus, la culture cotonnière biologique est souvent associée au commerce équitable.

En Amérique du Sud, les trois pays producteurs de coton biologique, le Pérou, le Paraguay et le Brésil, ont des situations très contrastées. Sur le plan phytosanitaire, le Pérou bénéficie de conditions favorables, du fait de l'absence du redoutable charançon des capsules *Anthonomus grandis* Boheman, ou *picudo* (Duthurburu, 2001 ; Lizárraga et al., 2008). À l'inverse, cet insecte, qui fait d'ailleurs l'objet de plans d'éradication aux États-Unis, constitue un problème sérieux au Brésil et au Paraguay depuis son introduction accidentelle en Amérique du Sud en 1983 (Anon., 1997). Au Brésil, sa présence explique probablement la faiblesse de la production dans les États du Nord-Est, notamment le Ceará et même au Sud du pays dans les projets pionniers de l'État du Paraná (de Souza et al., 2005).

Au Paraguay, la culture biologique du cotonnier se développe depuis 2001. Elle alimente une nouvelle filière textile biologique, allant jusqu'à la confection et l'exportation de produits haut de gamme. Une étude exploratoire réalisée en 2008 et rapportée par Martin et al. (2010) a permis de décrire la construction de la filière et d'en relever les contraintes d'ordre organisationnel et économique. Cette même étude a permis de relever des contraintes d'ordre agronomique, notamment en matière de gestion de la fertilité des sols et de protection contre les ravageurs du cotonnier. Ces contraintes sont décrites dans cet article, qui présente en préalable une analyse de la production et des rendements, assortie de comparaisons avec le Pérou et le Brésil et aussi avec des projets de culture cotonnière biologique en Afrique et en Asie soutenus par l'ONG internationale *Helvetas*.

2. MODALITÉS ET CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les modalités de l'étude *per se* sont décrites dans Martin et al. (2010). L'étude s'est déroulée en période de récolte de février à mai 2008 principalement sous forme d'entretiens avec des agriculteurs, des entreprises et des institutions impliquées directement ou indirectement dans la production de coton biologique. De la documentation et des informations quantitatives ont également été recueillies.

Le Paraguay est un pays austral de basse altitude au climat subtropical relativement favorable à l'agriculture pluviale, avec une pluviométrie de 1000 à 1500 mm par an et une petite saison sèche de deux à trois mois en période hivernale (juillet-août). Les risques de gel sont faibles mais non nuls. Deux cycles de culture annuels sont possibles, un cycle d'été et un cycle d'hiver.

La culture du coton, qu'il soit conventionnel ou biologique, est essentiellement assurée par de petites exploitations familiales, contrairement au soja et à la viande bovine qui sont produits dans de grandes propriétés. Ces petites exploitations utilisent pour la plupart la traction animale, elles disposent en général d'un cheval et/ou d'une paire de boeufs. Comme le maïs, le manioc, les haricots ou le sésame, le coton est une culture d'été. Il est semé en octobre et récolté quatre mois plus tard. La récolte est manuelle et dure environ un mois en période pluvieuse (mars). Les cultures d'hiver sont surtout des engrais verts et des plantes de couverture dont l'usage est promu par des projets en faveur de l'agriculture de conservation soutenus par le Ministère de l'Agriculture.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse de la production et des rendements en coton-graine

La production de coton certifié biologique a démarré en 2003 avec 25 tonnes de coton-graine et a dépassé 200 tonnes en 2007 et 2008, soit une croissance moyenne de 35 % sur la période 2003-2007 (**Tableau 1**). Ce niveau de production situe le Paraguay comme deuxième producteur sud-américain de coton biologique, derrière le Pérou.

Les rendements moyens sont à considérer avec prudence. Le rendement élevé de 1852 kg·ha⁻¹ de coton-graine obtenu en 2003-2004 n'a jamais été reproduit par la suite. Il est le résultat de conditions de production particulières, proches du jardinage, avec 0,3 ha en moyenne par producteur, au lieu de 0,8 à 0,9 ha pour les campagnes suivantes (**Tableau 1**). Le rendement de 602 kg·ha⁻¹ enregistré en 2006-2007, campagne marquée par une sécheresse en cours de cycle et une pression parasitaire élevée, semble correspondre à la réalité d'une structure de production plus dispersée

avec davantage de producteurs (**Tableau 1**) bénéficiant d'un suivi moins rapproché par rapport aux deux premières campagnes. En revanche, le rendement de 492 kg·ha⁻¹ enregistré en 2007-2008 serait largement sous-estimé à cause de fuites de production vers la filière conventionnelle (Martin et al., 2010). Ces fuites seraient la cause de la baisse de production (-6,6 %) enregistrée en 2007-2008 (**Tableau 1**), alors qu'une augmentation de production était attendue. En effet, d'une part les surfaces étaient en hausse sans augmentation concomitante de la surface par producteur (**Tableau 1**) et d'autre part, les conditions climatiques et sanitaires ont été favorables et nettement meilleures qu'en 2006-2007 (absence de sécheresse et de pullulation de ravageurs). En outre, les autorisations de récolte délivrées dans le cadre des procédures de certification aboutissaient à une espérance de rendement moyen de 850 kg·ha⁻¹ de coton-graine, presque deux fois plus élevée que le rendement final enregistré (**Tableau 1**).

Alors qu'en filière cotonnière conventionnelle, l'estimation des rendements est imprécise à cause du manque de fiabilité de l'évaluation des surfaces, en filière biologique, c'est l'incertitude sur la production 2007-2008 qui a rendu l'estimation du rendement imprécise. Cette situation s'explique par les circonstances particulières d'une campagne marquée par une pression d'achat très élevée de la part de la filière conventionnelle et, donc, de ventes substantielles de coton biologique à la filière conventionnelle (Martin et al., 2010). Cependant, compte tenu d'une part du rendement moyen enregistré en 2006-2007 (600 kg·ha⁻¹) et d'autre part, des conditions de culture favorables de 2007-2008 cohérentes avec le niveau de rendement attendu d'après les autorisations de récolte (850 kg·ha⁻¹), nous pouvons admettre que les rendements réels de la campagne 2007-2008 ont été supérieurs à 600 kg·ha⁻¹ et proches de 850 kg·ha⁻¹ de coton-graine. Les variations autour de ces valeurs auraient couvert, d'après les autorisations de récolte, une gamme de rendements de

Tableau 1. Évolution de la production de coton-graine certifié biologique au Paraguay (données fournies par *Aratex Orgánica*) — *Evolution of organic cotton-seed production in Paraguay (data provided by Aratex Orgánica)*.

Campagnes agricoles	Production collectée (t) (1)	Surface (ha) (2)	Nombre d'exploitations	Surface par producteur	Espérance de rendement* (kg·ha ⁻¹)	Rendement enregistré (kg·ha ⁻¹) (1) / (2)
2002-2003	25	-	-	-	-	-
2003-2004	50	27	89	0,30	-	1852
2004-2005	80	-	-	-	-	-
2005-2006	110	-	-	-	-	-
2006-2007	228	379	448	0,85	-	602
2007-2008	213	433	557	0,78	850	492

- : données non disponibles — *unavailable data* ; * moyenne établie sur 350 ha, sur la base des autorisations individuelles de récolte (démarche certification) établies en période d'ouverture des capsules — *mean calculated for 350 ha on the basis of individual harvest authorizations (certification procedure) determined during the cotton boll opening period* (Martin et al., 2010).

500 à 600 kg·ha⁻¹ dans les terres les plus dégradées du département de Guaira à plus de 1000 kg·ha⁻¹ dans des zones plus favorables, en particulier dans les parcelles sur précédent canne à sucre (Martin et al., 2010).

La comparaison de cette situation avec d'autres expériences dans le monde en conditions familiales nous apporte d'autres enseignements. Sur le plan entomologique par exemple, malgré la présence du charançon *picudo* au Paraguay et dans le pays voisin, les rendements de coton biologique paraguayens sont plus élevés qu'au Brésil. Dans ce dernier pays, les rares projets documentés font état de rendements très faibles : de Souza (2008) rapporte des rendements de 100 à 300 kg·ha⁻¹ dans le Ceará brésilien. L'intensité des attaques du charançon est très variable, selon les régions et les campagnes agricoles et cette variabilité spatio-temporelle des populations mériterait d'être mieux caractérisée afin de définir les régions les plus appropriées pour une production durable.

D'autres comparaisons peuvent être tentées entre continents. Une comparaison avec les projets soutenus par l'ONG *Helvetas* en Afrique ou en Asie montre la progression continue de la culture du coton biologique depuis le début des années 2000 (**Tableau 2**), aussi bien du point de vue du nombre de producteurs que de la surface cotonnière. Au Mali et au Burkina Faso, l'essor très marqué peut s'expliquer par le soutien fort

d'ONG internationales et par les politiques agricoles nationales. En général, les surfaces par exploitation sont petites, le plus souvent proche de 0,4 ha. Les rendements restent modestes, de quelques centaines de kilos de coton-graine par hectare.

Les variations de productions et de rendements observés rendent compte de situations diverses parfois très contrastées, non seulement en relation avec la pression des ravageurs mais également en fonction de facteurs non agronomiques comme les modalités d'organisation et de soutien de la filière. La prise en compte de ces nombreux facteurs, pas toujours étudiés, est cependant indispensable pour lancer un projet de développement de la culture du cotonnier biologique dans une région donnée.

3.2. Systèmes de culture et pratiques culturales

Au Paraguay, l'agriculture biologique a notamment pour but de rendre viable et durable l'exploitation agricole en diversifiant les productions d'auto-consommation et les cultures valorisables sur les marchés biologiques locaux ou d'export, tout en diminuant la dépendance des producteurs vis-à-vis des intrants extérieurs. L'agriculture biologique s'appuie notamment sur la valorisation maximale des ressources locales.

Tableau 2. Évolution de la production du coton biologique dans les projets *Helvetas* en Afrique et en Asie — *Evolution of organic cotton production in African and Asian Helvetas projects* (Helvetas, 2008).

Pays	Année	Production coton-graine (t)	Production fibre (t)	Surfaces (ha)	Rendement coton-graine (kg·ha ⁻¹)	Nombre de producteurs	Surface par producteur (ha)
Mali	2002	47	20	118	400	174	0,68
	2003	81	34	170	475	385	0,44
	2004	169	68	298	568	561	0,53
	2005	386	160	740	522	1748	0,42
	2006	613	260	1663	369	3469	0,48
	2007	798	335	2331	342	3847	0,61
	2008*	1346	563	3365	400	6516	0,52
Burkina Faso	2004	12	5	30	430	72	0,42
	2005	150	61	322	466	663	0,49
	2006	343	143	756	453	1133	0,67
	2007	990	436	1996	496	2836	0,70
	2008*	2972	1219	5943	500	7275	0,82
Sénégal	2004	9	4	51	186	101	0,50
	2005	17	5	51	338	128	0,40
	2006	7	3	26	263	75	0,35
	2007	28	12	86	327	215	0,40
	2008*	35	14	87	400	469	0,19
Kirghizistan	2004	72	24	39	1834	38	1,03
	2005	166	60	98	1695	225	0,44
	2006	287	35	140	2053	392	0,36
	2007	463	166	273	1696	649	0,42
	2008*	880	300	442	1991	837	0,53

Sources : Helvetas, 2008 ; Frank Eyhorn, communication personnelle — *personal communication*. * : estimations — *estimations*.

La rotation des cultures est de règle et le brûlis est proscrit. Les associations de cultures sont recommandées et pratiquées à des degrés de complexité divers. Le semis avec travail minimum du sol en présence d'un mulch de résidus d'engrais verts est encouragé, notamment pour protéger le sol contre l'érosion et limiter la prolifération des adventices. De nombreuses préparations liquides à base de plantes et de matières naturelles diverses sont fabriquées à la ferme pour la nutrition ou la protection des plantes. Certaines sont recommandées et leur usage est devenu populaire. Ces recettes et leurs usages sont détaillés dans les manuels des principaux organismes promoteurs de l'agriculture biologique paraguayenne (Arasy Orgánica, 2006 ; Nicholls et al., 2007 ; Paredes, 2007).

Au Paraguay, les sols de défriche sont relativement fertiles (Braud et al., 1977) mais la culture continue avec labour et brûlis des résidus de récolte a fait apparaître des déficiences en phosphore et en potassium, des bilans organiques et minéraux déficitaires et de l'acidification avec des taches de toxicités aluminique et manganique (Anon., 1989). Le Ministère de l'Agriculture (www.mag.gov.py/pmrn) a lancé plusieurs programmes pilotes de conservation des sols pour l'agriculture familiale paysanne. Les amendements calcaires et magnésiens sont ainsi conseillés, comme les engrais minéraux NPK, les cultures d'engrais verts et le travail minimum du sol avec ou sans herbicide (glyphosate). L'agriculture biologique applique grosso modo les mêmes principes de gestion des sols, en excluant les intrants de synthèse et en incorporant d'autres intrants biologiques ou minéraux autorisés. Elle bénéficie aussi de la dynamique créée par ces programmes, notamment pour l'approvisionnement en semences d'engrais verts.

En culture biologique de coton, les agriculteurs utilisent des fumures organiques appliquées au sol et des bio-fertilisants fermiers en pulvérisation foliaire. En période de transition entre la culture conventionnelle et la culture biologique certifiée, une analyse de sol est souvent réalisée. Lorsque le pH du sol est inférieur à 5,2, l'apport de calcaire ou de calcaire magnésien est recommandé. Cependant, nous n'avons pas rencontré de cas de suivi pluriannuel du statut chimique du sol avec répétition des analyses de sol quelques années après.

Rotation des cultures et engrais verts. En dehors des zones de culture de la canne à sucre où le coton est intercalé entre deux cycles de canne à sucre avec travail du sol, le coton est souvent cultivé après un maïs dans lequel est implanté avant récolte un engrais vert comme la légumineuse annuelle mucuna cendrée (*Stizolobium cinereum* Piper & Tracy). Le coton peut aussi être cultivé après un manioc associé à *Canavalia*

ensiformis (L.) DC. (légumineuse rampante à grosses graines). D'autres légumineuses tropicales comme le guandu ou pois d'angole (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) et la crotalaire érigée (*Crotalaria juncea* L.) sont parfois utilisées. Après le coton, suit un engrais vert d'hiver avant une culture d'autoconsommation (maïs, manioc, haricot) ou de rente (sésame). Ces engrais verts d'hiver sont des plantes de climat tempéré : avoine noire (*Avena strigosa* Schreb.), lupin blanc (*Lupinus albus* L.), navet fourrager (*Raphanus sativus* L. var. *oleifera* Metzg.). Ils sont semés seuls ou en mélange. L'avoine et le navet sont semés à la volée sur les résidus de coton, les graines étant ensuite légèrement incorporées par un passage de rouleau à cornières tracté par une paire de bœufs. Le lupin est semé à la canne planteuse (grosses graines). Ces cultures sont ensuite détruites avant la mise en place de la culture suivante par un ou deux passages de rouleau à cornières ou par un fauchage à la machette.

Le mucuna cendré grimpe sur les tiges sèches du maïs mûr et peut couvrir totalement le sol s'il est semé au bon moment, sur sol relativement propre et avec une densité suffisante. Il réduit l'enherbement de la culture suivante et, en cas de gelée hivernale, laisse un mulch rapidement décomposé et recyclé. En l'absence de gelée, il doit être détruit avant le semis du coton, manuellement à la machette ou avec un rouleau à cornières. Le mulch de résidus de maïs et mucuna est le plus souvent laissé en couverture et le coton est semé à la main ou à la canne planteuse dans des sillons étroits ouverts en traction animale.

De nos entretiens avec les producteurs de coton biologique, il est apparu que les bénéfices des engrais verts étaient dans l'ensemble bien connus mais que leur usage restait assez limité. Le mucuna était pratiquement le seul engrais vert pour lequel les producteurs sont presque devenus autosuffisants. Parmi les trois engrais verts d'hiver, les agriculteurs préféraient le lupin blanc à cause de ses graines faciles à récolter. Des groupements d'agriculteurs se sont même lancés dans la production et la commercialisation de semences, l'utilisation de semences extérieures n'étant pas toujours possible car elle dépend de leur disponibilité sur les marchés et des possibilités financières des organismes d'appui ou des agriculteurs eux-mêmes. Toutefois, l'uniformité de la couverture du sol et la production de biomasse des engrais verts sont souvent très variables. Par exemple, nous avons fréquemment observé des champs de maïs-mucuna avec de fortes irrégularités d'implantation du mucuna, présageant de futurs défauts de couverture, précurseurs de problèmes d'enherbement, voire de nutrition, dans la culture de coton.

Les fumures organiques. Les fumures organiques apportées au sol sont des fumiers et des composts de

ferme. La recommandation est l'épandage avant semis de 5 t par ha par an de fumier ou l'application au pied des cotonniers de 300 kg·ha⁻¹ de compost de lombric après la levée. En réalité, les producteurs de coton biologique sont loin d'appliquer ces recommandations. En effet, même si tous les producteurs ont des animaux d'élevage (bovins ou équins, porcs et volailles), la quantité et la qualité des fumiers de ferme sont très variables. Leur effet sur la recharge du sol en matière organique et en éléments minéraux ne peut être que très variable, comme l'a observé Berger (1996) au Burkina Faso.

L'utilisation de lombri-compost est déjà connue en Inde (Eyhorn et al., 2005) et au Pérou (Lizárraga et al., 2008). Son utilisation est encore marginale au Paraguay et ne concernait en 2008 que quelques producteurs pilotes encadrés par l'ONG *Alter Vida*. Le lombri-compost est fabriqué à la ferme en quelques mois à partir de fumier et de résidus végétaux tels que des feuilles mortes ou les résidus de fabrication d'essence d'orange amère. Ajoutons que l'agriculture biologique permet l'utilisation d'engrais minéraux naturels, comme le phosphate de roche ou le sulfate de potasse. L'ONG *Alter Vida* préconise leur incorporation au lombri-compost à raison de 50 à 100 kg pour 300 kg de

compost lorsque l'analyse de sol en indique le besoin (Paredes, 2007).

Les bio-fertilisants préparés à la ferme. Le Supermagro est le plus populaire des bio-fertilisants liquides utilisés au Paraguay. C'est un produit de fermentation enrichi en minéraux dont la formule originale est due à Monsieur Edelvino Magro (*Instituto Biodinâmico*, Brésil). Il en existe plusieurs variantes en usage en Argentine et dans d'autres pays latino-américains. Son utilisation est indiquée pour toutes les cultures, y compris les fruits et les légumes, en sols dégradés ou en production intensive. Outre son rôle nutritif, il aurait un rôle protecteur contre des maladies en raison de sa composition microbiologique. Au Paraguay, certains utilisateurs lui prêtaient également un rôle de répulsif des petits insectes.

L'ONG *Alter Vida* a adapté la recette du Supermagro pour la culture du coton (**Tableau 3**). Sa préparation dure trois mois et nécessite aussi des intrants non disponibles à la ferme, qui sont fournis par les entreprises et institutions qui soutiennent la culture de coton biologique, notamment le fût en plastique de 250 l réutilisable et les sels minéraux tolérés en agriculture biologique. Après filtration, il peut être

Tableau 3. Formule paraguayenne pour la préparation du bio-fertilisant Supermagro — *Paraguayan formula of the bio-fertilizer Supermagro* (Paredes, 2007).

Étapes	Jour	Ingrédients	Quantité
Apport initial (dans un fût en plastique de 250 l avec un couvercle à vis percé d'un trou d'échappement des gaz de fermentation)	0	Fumier de bovin frais	30 kg
	0	Eau (non chlorée)	Compléter à 120 l
	fermer et laisser fermenter 5 j		
Apports suivants	tous les 5 j jusqu'au 55 ^e j	Lait (ou lactosérum)	1 l
		Mélasses (ou jus de canne à sucre)	1 l
		Sang de bœuf	100 ml
		Farine d'os (ou coquilles d'œufs écrasées)	200 g
		Chaux hydratée	2 kg
Compléments	5	Sulfate de zinc	1 kg
	10	Sulfate de zinc	1 kg
	15	Chlorate de calcium	2 kg
	20	Sulfate de magnésium	300 g
	25	Sulfate de cobalt	50 g
	30	Molybdate de sodium	100 g
	35	Sulfate de cuivre	300 g
	40	Sulfate de fer	300 g
	45	Borax (ou Acide borique)	750 g (ou 500 g)
	50	Borax (ou Acide borique)	750 g (ou 500 g)
	55	Fumier bovin frais	20 kg
	55	Eau (non chlorée)	20 l
Apport final	60	Eau (non chlorée)	Compléter à 200 l
Conditionnement final (après 30 j de fermentation)	90	Filtration et transvasement en bidons fermés à stocker à l'ombre	

conservé un an dans des récipients fermés et stockés à l'abri de la lumière. Il est appliqué à des dilutions de 1 à 5 % tous les 3 à 5 jours, avec les pulvérisateurs à dos à pression entretenue en usage au Paraguay.

D'autres bio-fertilisants liquides fermiers préconisés par *Alter Vida* sont aussi en usage au Paraguay : du Supermagro non enrichi en oligoéléments, plus rapide à préparer et l'urine de vache. Celle-ci diluée à 5 % après 3 jours de stockage en vase clos fournirait à la culture de l'azote ammoniacal et augmenterait la résistance face aux maladies ; elle aurait aussi un effet répulsif vis-à-vis de certains ravageurs, notamment les mouches blanches *Bemisia tabaci* (Gennadius).

Les entretiens nous ont confirmé que l'utilisation des bio-fertilisants fermiers s'est généralisée. Cependant, comme pour les engrais verts et les engrais organiques solides, la fabrication et l'utilisation (fréquences et doses) des bio-fertilisants liquides sont très variables et par conséquent leurs effets sur la culture et sur la fertilité des sols doivent l'être aussi. Ces variabilités restent méconnues, même si des essais analytiques commencent à être réalisés comme celui d'Araújo et al. (2008) sur les effets d'un Supermagro associé à un compost sur de jeunes caféiers en serre.

3.3. Maîtrise des ravageurs et des maladies

La culture cotonnière est soumise à la pression de nombreux ravageurs associés à un important cortège d'ennemis naturels (Michel et al., 1985 ; 1987 ; Michel, 1989). Les producteurs de coton biologique ont surtout mentionné les insectes comme le *picudo* *A. grandis*, les dégâts dus aux coléoptères Curculionidae *Eutinobothrus brasiliensis* Hambleton et *Conotrachelus denieri* Hustache, les chenilles phyllophages dont *Alabama argillacea* Hübner, les chenilles carpophages qui s'attaquent aux organes florifères et fructifères *Heliothis virescens* F. et *Pectinophora gossypiella* Saunders. Les maladies du cotonnier, comme la fusariose, la maladie bleue, la bactériose et la ramulariose qui font l'objet d'évaluation par les sélectionneurs, n'ont pas été citées par les producteurs lors de nos enquêtes. Elles paraissent faire l'objet d'attention seulement au semis.

Les producteurs de coton biologique utilisent des techniques diverses pour traiter les semences et protéger la culture, les insecticides biologiques autorisés et les « préparations maison » à base d'extraits de plantes ou d'insectes malades, dont certaines considérées efficaces contre le *picudo*.

Traitement des semences. PMRN (2008) préconise l'enrobage de 25 kg de semences avec une préparation composée de 2 kg de cendres, 0,5 l d'urine de vache et 10 l d'eau. L'effet sur les maladies et insectes de début de cycle n'a pas fait l'objet d'études publiées.

Traitement aérien à base d'extraits végétaux. Pour lutter contre les ravageurs, les producteurs emploient des préparations à base de plantes macérées dans de l'eau ou de l'urine de bovin. Ces plantes sont le plus souvent connues et recensées sous leurs noms vernaculaires en langue guarani (**Tableau 4**). La préparation la plus employée est un mélange fermenté d'urine de bovin et de feuilles et graines de lilas des Indes (*Melia azedarach* L.) et de *Philodendron bipinnatifidum* Schott. ex Endl. (*güembé*). D'autres recettes maison sont également fabriquées pour repousser le *picudo* : urine de vache et ricin, *güembé*, *candelon* et *kaa-tay*, *pyno guazú* ou ortie, oignon, ail, *paraíso*, *ajenjo*. Les préparations sont des macérations courtes (24 h) à appliquer rapidement ou des macérations longues (50 j) utilisées durant tout le cycle cultural, voire conservées jusqu'à la campagne suivante. Employées comme répulsifs, elles sont pulvérisées jusqu'à trois fois par semaine en cas de forte attaque d'un ravageur.

Ces préparations n'ont fait l'objet d'aucune évaluation rigoureuse. Malgré la connaissance empirique des plantes à usage insecticide rapportée dans de nombreux pays, comme au Sénégal (Romain et al., 1993), en Amérique latine (Saito et al., 1998 ; 2000 ; Lizárraga et al., 2008) ou en Inde (Eyhorn et al., 2005), peu d'espèces sont finalement employées. Il semble que l'usage d'extraits de plantes est plus important en Amérique latine et en Inde qu'en Afrique subsaharienne (Eyhorn et al., 2005 ; Lizárraga et al., 2008). Au Burkina Faso, le neem (*Azadirachta indica* A.Juss., Meliaceae) est mélangé à l'huile de *koby* (*Carapa procera* DC., Meliaceae) ; ces deux plantes sont les plus employées localement (Helvetas, 2005). Au Mali, ces deux plantes sont parfois associées au *npeku* (genre *Lannea*, Anacardiaceae) ; des essais ont été réalisés contre les insectes piqueurs-suceurs avec des plantes des genres *Physalis* (Solanaceae) et *Hyptis* (Lamiaceae) et avec de l'huile de pourghère (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae) (Diarra et al., 2006). Une formulation artisanale à base de *Securidaca* sp. (*Dioro*, Polygalaceae) a été testée au Mali (Dombia et al., 1997). Des travaux plus approfondis sur l'usage agricole de ces plantes semblent aujourd'hui nécessaires car les effets réels sur les ravageurs visés sont peu documentés.

Traitement aérien à base de biopesticides ou d'ennemis naturels. La formulation BT2X® à base de bactérie *Bacillus thuringiensis* Berliner est utilisée contre les chenilles d'*A. argillacea*. Mais les producteurs ramassent aussi des chenilles mortes à la suite de l'action naturelle d'agents pathogènes, les font macérer dans l'eau puis pulvérisent la préparation sur les cotonniers.

Au semis du coton, le centre CECTEC (*Centro de Educación, Capacitación y Tecnología Campesina*)

Tableau 4. Plantes entrant dans la composition des « préparations maison » destinées à la maîtrise des ravageurs et maladies — *Plants used for the preparations of made-in-farm pesticides.*

Espèce (Famille)	Noms communs en espagnol, guarani (français)	Partie de la plante utilisée	Maladies et ravageurs visés
<i>Alternanthera brasiliana</i> (L.) Kuntze (Amaranthaceae)	<i>Penicilina</i>	feuilles	non précisé (divers)
<i>Allium cepa</i> L. (Liliaceae)	cebolla (oignon)	feuilles	acariens, pucerons, mouche blanche
<i>Allium sativum</i> L. (Liliaceae)	ajo (ail cultivé)	bulbe	champignons foliaires, bactéries
<i>Artemisia annua</i> L. (Asteraceae)	ajenjo (armoise annuelle)	feuilles	pucerons, chenilles et mouche blanche
<i>Capsicum frutescens</i> L. (Solanaceae)	ají, <i>ky'yí</i> (piment de cayenne)	fruits	acariens, cochenilles, chenilles de <i>Spodoptera</i> et <i>Pseudoplusia</i>
<i>Carica papaya</i> L. (Caricaceae)	mamonero (papayer)	feuilles	taches foliaires
<i>Equisetum arvense</i> L. (Equisetaceae)	cola de caballo (prêle des champs)		oïdium et mildiou
<i>Melia azedarach</i> L. (Meliaceae)	paraíso	feuilles ou fruits frais	pucerons, cicadelles, mouche blanche, « bicho negro » (<i>Oxythyrea funesta</i>)
<i>Petiveria alliacea</i> L. (Phytolaccaceae)	apacina, tipi, pipi	racines et feuilles	non précisé
<i>Philodendron bipinnatifidum</i> Schott ex Endl. (Araceae)	<i>güembé</i>	feuilles	non précisé (divers)
<i>Polygonum punctatum</i> Elliot (Polygonaceae)	picantilla, chilillo <i>kaa-tay</i>	feuilles	<i>picudo</i> , pucerons, chenille
<i>Rapanea guianensis</i> Aubl. (Myrsinaceae)	candelon, manteca		non précisé (divers)
<i>Ricinus communis</i> L. (Euphorbiaceae)	tártago, ricino <i>mba'ysyvo</i> (ricin)	semences et feuilles	pucerons, fourmi rouge, charançon, mineuses des feuilles
<i>Ruta graveolens</i> L. (Rutaceae)	ruda (rue officinale)	plante entière	acariens, pucerons, cochenilles, charançons
<i>Urtica dioica</i> L. (Urticaceae)	ortiga <i>pyno guazú</i> (ortie)	plante entière	pucerons, vers du sol

Melia azedarach est un arbre — *Melia azedarach* is a tree.

préconise le mélange au sol d'une poudre à base du champignon entomopathogène *Beauveria* sp. multiplié en laboratoire. Cette pratique est également recommandée au Pérou (Lizárraga et al., 2008). Au Paraguay, malgré la recommandation d'emploi de parasitoïdes d'œufs (trichogrammes), il n'y a pas de biofabriques ni de libération d'ennemis naturels comme au Pérou (Duthurburu, 2001) ou en Californie (Klonsky et al., 1996).

Pratiques culturales. Certaines pratiques recommandées pour la culture conventionnelle restent valables pour le coton biologique : le semis précoce est préconisé en prévention des attaques du *picudo*, ainsi que le semis à la même période pour les producteurs d'une même zone. La collecte au sol des boutons floraux contenant les larves puis leur destruction est une mesure destinée à éviter la propagation de ce ravageur.

L'association du cotonnier avec le haricot et le maïs (1 ligne tous les 5 rangs de cotonnier) est une pratique considérée comme bénéfique pour la conservation des ennemis naturels. Mais aucune étude n'a été conduite au Paraguay sur le rôle attractif de ces plantes associées vis-à-vis des ennemis naturels ou de plantes-pièges des ravageurs du cotonnier.

Pour réaliser ces études de façon scientifique, il faudra par ailleurs certifier les identifications des ravageurs ou ennemis naturels observés. Par exemple, la présence de pucerons est possible sur le haricot. Ces pucerons, qui pourraient être différents du puceron du cotonnier *Aphis gossypii* Glover, constitueraient, lorsqu'ils sont présents, une source d'alimentation pour des prédateurs communs tels que coccinelles, chrysopes, syrphes. Mais il faudra s'assurer que ces prédateurs puissent effectivement réduire les populations de *A. gossypii* sur les autres cultures voisines, comme les cotonniers.

4. CONCLUSION

Au Paraguay, la nouvelle filière de coton biologique fait face à des contraintes de gestion de la fertilité des sols et de protection de la culture, en particulier le charançon des capsules *Anthonomus grandis*. Les pratiques recommandées de fertilisation et de travail minimum du sol peuvent-elles maintenir ou régénérer la fertilité des sols ? Aucune de nos observations ne nous permet de répondre à cette question. Une bonne connaissance des pratiques paysannes et de leur variabilité nous paraît être un préalable à des dispositifs expérimentaux de longue durée destinés à évaluer les performances de ces systèmes de culture et l'évolution de la fertilité des sols. Lançon et al. (2007) ont proposé une méthodologie de comparaison de systèmes de culture complexes qu'il serait possible d'appliquer ici. Nous ne connaissons pas non plus l'impact réel des techniques biologiques de protection contre les ravageurs, que ce soient les préparations locales pulvérisées ou épandues et les techniques culturales. Dans tous les cas, des recherches sont nécessaires d'abord pour identifier les processus biologiques mis en œuvre lorsqu'ils sont peu ou pas connus, ensuite pour appréhender qualitativement et quantitativement la variabilité des pratiques paysannes et enfin pour intégrer leurs effets à différentes échelles d'espace et de temps. À terme, les résultats de ces recherches pourraient faire évoluer les systèmes conventionnels de production cotonnière en les rapprochant de la voie agroécologique.

Remerciements

Les auteurs remercient tous ceux qui ont collaboré à cette étude exploratoire : entreprises et organisations paraguayennes et de coopération internationale citées dans le texte et agriculteurs interviewés restés anonymes. Les auteurs remercient spécialement Olga Segovia et Nelson Páez (*Aratex Orgánica*), Mary Cruz Andueza et Sady Ortiz (*Asociación Jopoi*) pour leur aide matérielle sur le terrain, Simon Ferrigno et Doraliz Aranda (*Organic Exchange*, Londres) pour leur appui financier, ainsi que Frank Eyhorn (*Helvetas*) et Alfonso Lizárraga (*Organic Exchange*, Lima) pour leur contribution documentaire et Cécile Fovet-Rabot (Cirad) pour la relecture du manuscrit.

Bibliographie

Abba A.A., Hofs J.L. & Mergeai G., 2006. Relever les défis environnementaux pour les filières cotonnières d'Afrique de l'Ouest et du Centre. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **10**(4), 351-359, <http://popups.ulg.ac.be/Base/document.php?id=632>, (30/01/09).

Anon., 1989. La recherche cotonnière au Paraguay. *Coton Fibres Trop.*, **44**, 1-80.

Anon., 1997. Cotton in Paraguay. *Cotton Outlook, special edition*, 38-56.

Arasy Orgánica, 2006. *Guía de cultivo para el algodón orgánico*. Asuncion: Arasy Orgánica; GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit).

Araújo J.B.S. et al., 2008. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros. *Coffee Sci.*, **3**(2), 115-123.

Armes N.J., Jadhav D.R. & de Souza K.R., 1996. A survey of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* in the Indian sub-continent. *Bull. Entomol. Res.*, **86**, 499-514.

Balarabé O. et al., 2008. *Structured or spontaneous extension of DMC techniques in small scale cotton based agriculture? The Northern Cameroon case study*, http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7503/37428/file/P7_extension-cameroon.pdf, (30/04/2009).

Berger M., 1996. Fumure organique : des techniques améliorées pour une agriculture durable. *Agric. Dev.*, **10**, 37-46.

Braud M., Centurion C., Debricon P. & Hahn-Horn O.S., 1977. La fertilisation minérale du cotonnier au Paraguay. *Coton Fibres Trop.*, **32**, 1-13.

de Souza I.S., de Oliveira T.S., Lima P.J.B.F. & Lemos J. de J.S., 2005. Manejo agroecológico do algoeoeiro arbóreo: alternativa para a agricultura familiar no semi-arido cearense. *Revista Ceres*, **52**, 787-809.

de Souza M.C.M., 2008. Panorama atual da produção de têxteis de algodão orgânico no Brasil. In: *Proceedings of the 6th International organic trade show and conference, BioFach America Latina & ExpoSustentat, 23-25 October 2008, São Paulo, Brasil*, 4 slides.

Deguine J.-P., Ferron P. & Russell D., 2008. *Protection des cultures. De l'agrochimie à l'agroécologie*. Versailles, France : Éditions Quæ.

Diallo L., 2008. *Les différentes politiques au Burkina Faso visant à différencier la qualité du coton pour mieux le valoriser sur le marché*. Montpellier, France : CIHEAM-IAMM (Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier).

Diarra S., Doumbia S. & Merceron F., 2006. *Programme de coton biologique et équitable au Mali. Rapport annuel Helvetas*. Bamako : Helvetas.

Doumbia S. & Diallo M., 1997. *Programme de promotion de coton biologique et équitable. Rapport annuel Helvetas, Mali*. Bamako : Helvetas.

Duthurburu V.H.E., 2001. *Cultivo ecológico del algodón y otras especies vegetales. CIP n°395*. Lima: SENASA.

Eyhorn F., Ratter S.G. & Ramakrishnan M., 2005. *Organic cotton crop guide. A manual for practionners in the tropics*. Frick, Switzerland: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL).

Ferrigno S. & Lizárraga A., 2008. Components of a sustainable cotton production system: perspectives from the organic cotton experience. In: *Proceedings of the International cotton advisory committee, 67th Plenary*

- meeting, 17-21 November 2008, First open session, 20 november 2008, Ouagadougou, http://www.icac.org/meetings/plenary/67_ouagadougou/documents/english.html, (30/04/2009).
- Ferron P., Deguine J.P. & Ekorong à Mouté J., 2006. Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école. *Cah. Agric.*, **15**, 128-134.
- Helvetas, 2005. *Programme de promotion du coton biologique et équitable au Burkina Faso. Rapport annuel*. Ouagadougou : Helvetas.
- Helvetas, 2008. *Helvetas*. http://www.helvetas.org/wFrancais/topic_themes/biobaumwolle/donnees.asp?navid=40, (16/03/2009).
- ICAC, 2003. Limitations on organic cotton production. *ICAC Rec.*, **21**, 10-15.
- Klonsky K., Tourte L. & Swezey S., 1996. Production practices and economic performance for organic cotton Northern San Joaquin Valley-1995. In: *Proceedings of the Beltwide Cotton Conference 1*, 172-174.
- Langon J. et al., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agron. Sustainable Dev.*, **27**(2), 101-110.
- Lizárraga A. & Corcuera M., 2008. *Recomendaciones para el manejo del algodón orgánico en Lambayeque: una alternativa para el desarrollo sostenible en agricultura*. Lima: Red de Acción en Agricultura Alternativa (RAAA).
- Martin T. et al., 2005. Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa agriculture. *Ecosystems Env.*, **107**, 409-411.
- Martin J., Silvie P. & Debru J., 2010. La culture du coton biologique au Paraguay. 1. Construction de la filière et contraintes économiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**(1), 289-297.
- Matthews G. & Tunstall J.P., 2006. Smallholder cotton production in sub-Saharan Africa: an assessment of the way forward. *Int. J. Pest Manage.*, **52**, 149-153.
- Michel B., 1989. Nouvelle contribution à la connaissance des insectes et arachnides rencontrés en culture cotonnière au Paraguay. *Coton Fibres Trop.*, **44**, 51-54.
- Michel B. & Prudent P., 1985. Acariens et insectes prédateurs du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Paraguay. *Coton Fibres Trop.*, **40**, 219-224.
- Michel B. & Prudent P., 1987. Prédateurs et parasitoïdes du cotonnier au Paraguay. *Coton Fibres Trop.*, **42**, 165-168.
- Nicholls C.I. & Resquin G., 2007. *Bases agro ecológicas para la protección de cultivos*. Asuncion: CECTEC (Centro de Educación, Capacitación y Tecnología Campesina).
- Paredes M., 2007. *Algodón Orgánico en Paraguay. Material educativo para pequeños productores preparado por el Programa Agroecología-Alter Vida*. Asuncion: Alter Vida; Unión Europea; ICCO.
- Pichot J.P., Sedogo M. & Deguine J.P., 2006. De nouveaux défis pour la recherche cotonnière dans un contexte difficile. *Cah. Agric.*, **15**(1), 150-157, http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/agr/e-docs/00/04/16/3F/article.phtml, (30/01/09).
- PMRN (Proyecto de Manejo Sostenible de Recursos Naturales MAG-KfW-GTZ), 2008. Algodón. In: *Sistemas sostenibles de producción para los principales cultivos agrícolas, hortícolas, forestales y agroforestales de la Región Centro del Paraguay*. Asunción: GTZ, 59-78.
- Romain E. & Thiam A., 1993. Expérimentation des plantes insecticides en milieu paysan sénégalais. In: *Protection naturelle des végétaux en Afrique*. Dakar: ENDA-Éditions, 171-192.
- Saito M.L. & Luchini F., 1998. *Substâncias obtidas de plantas e a procura por praguicidas eficientes e seguros ao meio ambiente*. Jaguariúna, Sao Paulo, Brasil: EMBRAPA-CNPMA.
- Saito M.L. & Sramin S., 2000. *Plantas aromáticas e seu uso na agricultura*. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA.
- Tang Z.H., Gong K.Y. & You Z.P., 1988. Present status and countermeasures of insecticide resistance in agricultural pests in China. *Pestic. Sci.*, **23**, 189-198.
- Ton P., 2003. Organic cotton production and trade in sub-Saharan Africa: the need for scaling-up. In: *Proceedings of the 3rd World Cotton Research Conference, Cotton production for the new millenium, 9-13 March 2003, Cape Town, South Africa*. Pretoria, South Africa: Agricultural Research Council, Institute for Industrial Crops, 784-799.
- Uphoff N., 2008. Opportunities for overcoming productivity constraints with biologically-based approaches. In: Uphoff N. et al., eds. *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Raton, FL, USA: CRC Francis & Taylor Group, 693-714.
- Vaissayre M. & Cretenet M., 2008. Risques environnementaux liés à la culture du cotonnier en Afrique francophone : bilan et évolutions en cours. In: *Proceedings of ICAC 67, Ouagadougou Technical Seminar, 20 November 2008, Environmental Risk in Cotton Production*, http://www.icac.org/meetings/plenary/67_ouagadougou/documents/french/os5/os5_f_cirad.pdf, (30/04/09).
- Vall E., Dugué P. & Blanchard M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cah. Agric.*, **15**(1), 72-79, http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/agr/e-docs/00/04/16/3F/article.phtml, (30/01/09).
- Van der Pol F., 1990. Soil mining as a source of farmer's income in southern Mali. In: *Actes du Congrès Savanes d'Afrique, terres fertiles ?, 10-14 décembre 1990, CIRAD, Montpellier, France*. Paris: La Documentation française, 403-418.