

Analyse bioéconomique des innovations d'intensification écologique en systèmes agropastoraux de l'Ouest du Burkina Faso

Mahamoudou KOUTOU^{1*}, Bruno BARBIER²,
Kalifa COULIBALY³, Souleymane KARAMBIRI⁴,
Boundia Alexandre THIOMBIANO⁵, Patrice TOE⁵

Résumé

Dans la zone cotonnière ouest-burkinabè, les systèmes agricoles basés sur l'utilisation des intrants chimiques éprouvent des difficultés sur les plans économique, social et environnemental. Cet article présente les résultats de l'analyse bioéconomique des innovations d'intensification écologiques à l'échelle d'une exploitation typique d'agro-éleveur de l'Ouest du Burkina Faso. Les données collectées sur des parcelles expérimentales en milieu paysan auprès de 57 agro-éleveurs ont été analysées à l'aide d'un modèle d'optimisation. Les résultats montrent que le scénario optimal préconise la culture du niébé avec engrais micro dosé et l'emboûche bovine avec une ration journalière composée de 1,7 kg maïs grain, 1,7 kg de tourteau de coton, 0,6 kg de gousses de *piliostigma reticulatum*, 1 kg de fanes de légumineuses, et 4 kg de chaumes de céréales. Ces pratiques augmentent le revenu de 21% en année très sèche. Cependant, leur adoption reste limitée par les contraintes de capital, de main-d'œuvre et de terre. Pour favoriser la diffusion des innovations écologiques, l'accès à un crédit spécifique par les producteurs est nécessaire.

Mots clés : agro-éleveur, écologisation des pratiques, modèle micro-économique, profit, zone cotonnière

Bioeconomic analysis of ecological intensification innovations in agropastoral systems in western Burkina Faso

¹Département Sciences Agronomiques et environnementales ; Centre Universitaire de Tenkodogo (CUT), Université Thomas Sankara (UTS), Ouagadougou, Burkina Faso

² Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Unité mixte de recherche en gestion de l'eau (UMR G-EAU), 34398, Montpellier Cedex 5, France

³ Département d'agronomie, Institut du développement rural (IDR), Université Nazi Boni, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

⁴ Université SIB Sié Faustin (U2SF), Gaoua, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

⁵ Département de sociologie et économie rurales, Institut du développement rural (IDR), Université Nazi Boni, 01 BP 1091. Bobo Dioulasso 01. Burkina Faso

*Auteur correspondant : Mahamoudou KOUTOU, madkout@yahoo.fr; ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-3324-1196>

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v45i01.2281>

Abstract

In the cotton-growing area of western Burkina Faso, agricultural systems based on the use of chemical inputs are experiencing economic, social and environmental difficulties. This study presents bioeconomic analysis of ecological intensification innovations of a typical agro-breeder farm from western Burkina Faso. The data collected on experimental plots in a rural setting with 57 agro breeders were analyzed using an optimization model. The farm would adopt bean with proportioned micro-fertilizers and cattle fattening, thanks to a daily feed made of 1,7 kg corn grain, 1,7 kg of cotton oil cake, 0,6 kg pods of *piliostigma reticulatum*, 1 kg of a leguminous straw and 4 kg of cereal straw. These practices increase the income of 21% after a very dry rainy season. However, their adoption remains limited by constraints of capital, labour and land. To support the diffusion of ecological innovations access to capital by producers should be improved.

Keywords: agro breeder, ecological practices, micro economic model, profit maximization, cotton belt

Introduction

Les tentatives d'amélioration de la productivité des systèmes agropastoraux ont longtemps été dominées par les approches dites de la « révolution verte » qui consistent entre autres à diffuser des variétés améliorées, des engrais de synthèse et des pesticides (Faure, 2007).

Dans les savanes cotonnières ouest-africaines, l'adoption des pratiques de production promue par la révolution verte s'est traduite par une pression foncière et l'abandon des pratiques endogènes de renouvellement de la fertilité du sol (jachère, associations culturales), limitant ainsi les capacités productives des sols (Coulibaly *et al.* 2012a ; FAO, 2011). Les systèmes agricoles de la zone éprouvent des difficultés sur les plans économique, social et environnemental (Pretty *et al.*, 2011).

La demande croissante en produits agricoles et animaux appelle à un changement de paradigme. Pour mieux répondre aux enjeux actuels et futurs de l'agriculture, de nombreux acteurs (bailleurs de fonds, institutions internationales, organisations non gouvernementales (ONG) et chercheurs) plaident pour une certaine modification des systèmes agropastoraux (Bonny, 2011). Parmi les possibilités, l'intensification écologique répond au douzième objectif du développement durable (ODD) « faire plus et mieux avec moins » (FAO, 2011). L'intensification écologique consiste à privilégier certaines évolutions, voire transformations, des façons de produire considérées plus durables, notamment celles qui minimisent les impacts négatifs sur l'environnement, mais en ne s'interdisant pas l'usage

subsidaire des intrants de synthèse (Griffon, 2010). Elle utilise les fonctions des écosystèmes, les processus écologiques, mais aussi l'information et le savoir, en remplacement dans la mesure du possible, des intrants classiques notamment ceux de synthèse.

Dans la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso, l'intensification écologique a été promue par plusieurs projets de recherche-développement via le renforcement de l'intégration agriculture-élevage (Vall *et al.*, 2006 ; Coulibaly *et al.*, 2012b ; Semporé *et al.*, 2015). Cependant, l'adoption des innovations agricoles écologiques par les producteurs suppose qu'elles soient compétitives économiquement par rapport aux systèmes de culture conventionnels (Bonny, 2011). Des études ont comparé les performances technico-économiques entre pratiques écologiques et conventionnelles (Nchoutnji *et al.*, 2010 ; Coulibaly *et al.*, 2012b) et d'autres ont simulé leurs bilans céréaliers, fourragers, minéraux et économiques *ex-ante* à l'échelle de l'exploitation (Zongo, 2010 ; Semporé *et al.*, 2015). Mais, très peu simulent l'impact de plusieurs pratiques de production agropastorale écologiques expérimentées en milieu réel.

Dans la commune de Koumbia à l'ouest du Burkina Faso, trois types d'exploitations agricoles dominent : les agriculteurs, les agro-éleveurs et les éleveurs (Vall *et al.*, 2006). Les agro-éleveurs ont plus de capacités en termes de ressources (revenu, terre, main-d'œuvre) que les autres types (Semporé *et al.*, 2015 ; Koutou *et al.*, 2016). Ils sont plus aptes à conduire des changements dans leur système de production. Cet article présente l'impact d'un certain nombre d'innovations écologiques expérimentées en situation réelle entre chercheurs, techniciens et agro-éleveurs à l'échelle d'une exploitation typique d'agro-éleveur.

I. Matériel et méthodes

I.1. Description de la zone d'étude

Les expérimentations des innovations écologiques et la collecte des données se sont déroulées à Koumbia. Ce village a été choisi parce qu'il était un des sites du projet CORAF/OID (Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles / Options d'Intensification Durable). D'une superficie estimée à 9 700 hectares, le village de Koumbia se situe dans la province du Tuy, département de Koumbia, sur la route nationale 1, à 34 km au sud-ouest de Houndé

(chef-lieu de la province) et à 67 Km à l'est de Bobo-Dioulasso. Les coordonnées géographiques de Koumbia sont latitude 12°42'207'', longitude 4°24'010'' et altitude 290 m. Le nombre d'exploitations agricoles familiales est estimé à 800 (Dabiré *et al.*, 2011). On distingue quatre principaux types de sols : des sols caillouteux gravillonnaires, ou *sambia* en Bwamu, des sols limono-sablonneux ou *tientien* en Dioula et *hamanifori* en Bwamu, des sols argilo-sableux, ou *hamanabri* en Bwamu et des sols argileux ou *manhon* en Bwamu. La commune de Koumbia est caractérisée par une forte pression foncière (42 habitants au km² et 45 UBT au km²) (Figure 1). Située entre les isohyètes 800 et 1 200 mm, le climat est de type sud-soudanien avec 4 mois pluvieux (Hauteur d'eau de pluie > 100 mm), 2 mois médians, et 6 mois secs (Hauteur d'eau de pluie < 30 mm). Le régime des pluies est unimodal, avec une saison des pluies centrée sur les mois de juillet et d'août.

Selon la classification actuelle de la FAO, la zone agro-climatique est de type semi-aride. Les cultures pratiquées sont essentiellement le coton et le maïs. Le cheptel compte environ 2 710 têtes de bovins et 2 255 de petits ruminants (Blanchard, 2008). L'alimentation des animaux est fournie par les pâturages souvent complétée par des sous-produits agroindustriels en saison sèche. La zone communale réservée aux pâturages et les pistes à bétail sont de plus en plus cultivées, créant des tensions entre agriculteurs et éleveurs. L'arrivée des migrants en provenance du nord à la recherche de terres fertiles et de pâturages a augmenté la pression sur les ressources. Les défrichements ont progressé rapidement avec l'adoption de la traction animale et des herbicides favorisée par la culture cotonnière (20 à 30% des terres mises en cultures), faisant reculer les réserves sylvo-pastorales. Les parcelles sont cultivées en « continu » avec dominance de la rotation coton/maïs et utilisation des engrais de synthèse et des pesticides (Coulibaly *et al.*, 2012b).

1.2. Démarche participative

Une démarche de recherche-action en partenariat a été mobilisée (Vall *et al.*, 2016). La recherche action repose sur quatre principes (i) une rencontre entre une volonté de changement et une intention de recherche ; (ii) un objectif dual qui est de résoudre un problème et de faire avancer les connaissances fondamentales ; (iii) un travail conjoint entre chercheurs, techniciens et producteurs (iv) un cadre éthique négocié et accepté par tous (Chia, 2004).

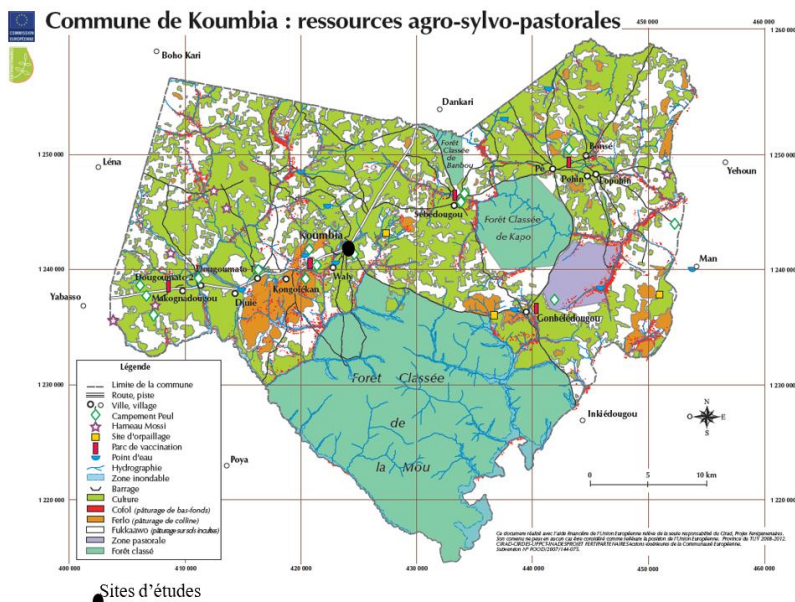


Figure 1 : Carte de la commune de Koumbia

La Recherche action en partenariat (RAP) est une recherche action (RA) qui vise à la fois la production de connaissances nouvelles, la résolution d'un problème identifié par les acteurs et le renforcement des capacités de ces acteurs pour une plus grande autonomie. Le partenariat entre l'équipe technique et les producteurs se traduit par l'élaboration d'un cadre éthique (responsabilités/engagements réciproques des membres du collectif) et d'un cahier de charge pour la mise en place des expérimentations (responsabilités/engagements expérimentateurs et équipe technique). Des concertations régulières sont organisées entre les membres du collectif pour se partager les connaissances (savoirs, expériences, etc.) et les résultats techniques. L'implication des parties prenantes à toutes les étapes faciliterait la compréhension et l'adoption des résultats. La démarche se décline en trois phases

I.2.1. Phase 1 : Exploration et formalisation du partenariat

La situation initiale des exploitations agricoles familiales a été réalisée pour mieux cerner les préoccupations des producteurs. Un diagnostic participatif a été conduit à travers la méthode active de recherche participative suivie d'enquête exploitation. Des analyses multi variés ont été utilisées pour caractériser les exploitations, analyser leurs

pratiques de production.

Au terme de cette première phase du processus de recherche, un collectif d'acteurs appelé comités de concertation villageois (CCV) composé de chercheurs/techniciens, population villageoise, membres des groupements de producteurs est constitué et le travail a évolué vers la conception en partenariat des solutions.

1.2.2. Phase 2 : Conception en partenariat des solutions

Les comités de concertation villageois (CCV), acquis de projets antérieurs, ont testé en milieu réel avec l'appui des chercheurs et techniciens (co-construction) des innovations censées répondre aux besoins des producteurs. A partir des options possibles identifiées lors des diagnostics, les acteurs ont sélectionné des options réalisables en fonction des ressources matérielles, humaines et temporelles. Ces expérimentations ont été suivies sur les plans technique et économique pour évaluer leurs effets sur les revenus. Des visites commentées ont été organisées au profit des producteurs pour évaluer les résultats *in situ*. Un modèle d'optimisation des revenus a été utilisé pour analyser les résultats.

1.2.3. Phase 3 : Bilan et désengagement

Dans cette phase, le rôle de la démarche de recherche-action en partenariat dans la facilitation de l'adoption des innovations a été analysée. A partir d'une étude de cas, une enquête a été conduite auprès de producteurs impliqués dans la recherche de solutions à leurs problèmes à travers cette démarche depuis 2005. Ce résultat a fait l'objet d'un autre article.

1.3. Protocole expérimental

Les options de changement réalisables choisies par les membres du CCV traitent de la production de fourrage, la valorisation des fourrages cultivés et naturels en embouche bovine et ovine, la réduction des doses d'engrais de synthèse et la valorisation de la fumure organique issue des ateliers d'embouche dans les cultures. Un cahier des charges spécifiant les engagements réciproques, le but à atteindre, les opérations à conduire a été élaboré pour tester les options choisies. Des producteurs volontaires ont expérimenté ces options selon les protocoles et les cahiers de charge co-élaborés en deux campagnes (2012/2013 et 2013/2014).(Tableau I).

Tableau I : Synthèse des protocoles expérimentaux des innovations agropastorales écologiques

Options de changement	Protocoles	Agro-éleveurs	Superficie (ha)	Animaux
Production de fourrage en saison pluvieuse				
Cultures pures	Traitement 1 : Mucuna sans amendement (pratique locale)	5	0,125	-
	Traitement 2 : Mucuna + engrais minéral phosphore appliqué en micro-dose de 2g poquet ¹	5	0,125	-
	Traitement 3 : Niébé sans amendement (pratique locale)	4	0,125	-
	Traitement 4 : Niébé + engrais minéral phosphore appliqué en micro-dose de 2g poquet ¹	4	0,125	-
Cultures associées	Traitement 1 : maïs/mucuna +NPK (150 kg /ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée)	4	0,125	-
	Traitement 2 : maïs / mucuna + NPK + urée en application en micro-dose (2,5g NPK +1,5g d'urée /poquet	4	0,125	-
	Traitement 3 : maïs/pois d'angle + NPK + urée en application en micro-dose (2,5g NPK +1,5g urée/poquet	4	0,125	-
	Traitement 4 : maïs / pois d'angle + NPK (150/kg) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée)	4	0,125	-
Valorisation des fourrages cultivés et naturels en saison sèche				
Embouche ovine	Ration ovine 1 composée de maïs (0,4375kg), tourteau coton (0,4375kg), gousses de <i>piliostigma</i> broyées (0 kg), fanes légumineuses (0,325kg), chaumes de céréales (0,5kg)	4	x	12
	Ration ovine 2 composée de maïs (0,350kg), tourteau coton (0,350kg), gousses de <i>piliostigma</i> broyées (0.175 kg), fanes légumineuses (0,325kg), chaumes de céréales (0,5kg)	7	x	15
	Ration ovine 3 composée de maïs (0,250kg), tourteau coton (0,25kg), gousses de <i>piliostigma</i> broyées (0,375kg), fanes légumineuses (0,325kg), chaumes de céréales (0,5kg)	5	x	13
Embouche bovine	Ration bovine 1 composée de maïs (2kg), tourteau coton (2kg), gousses de <i>piliostigma</i> broyées (0kg), fanes légumineuses (1 kg), chaumes de céréales (4 kg)	5	x	8
	Ration bovine 2 composée de maïs (1,7kg), tourteau coton (1,7kg), gousses de <i>piliostigma</i> broyées (0,6kg), fanes légumineuses (1 kg), chaumes de céréales (4 kg)	4	x	8
	Ration bovine 3 composée de maïs (1.5kg), tourteau coton (1,5kg), gousses de <i>piliostigma</i> broyées (1kg), fanes légumineuses (1 kg), chaumes de céréales (4 kg)	3	x	8
Valorisation de la fumure organique en saison pluvieuse				
Cultures pures	T1 = maïs + NPK (150/kg) + urée (50 kg/ha)	6	0,125	-
	T2 = maïs + FO (5t/ha) + 1/2 dose (NPK + urée)	6	0,125	-
Cultures associées	T1 = maïs / mucuna + NPK (150/kg) + urée (50 kg/ha)	6	0,125	-
	T2 = maïs / mucuna + FO (5t/ha) + 1/2 dose (NPK + urée)	6	0,125	-

I.4. Collecte et analyse des données

Les données ont été collectées à travers une enquête auprès des 57 exploitations agricoles familiales et par le suivi des parcelles et des ateliers expérimentaux d’embouche. Elles renseignent sur les caractéristiques de l’exploitation, les quantités et coûts des intrants

utilisés, les temps de travaux, le coût de la main-d'œuvre, le prix des produits agricoles, l'autoconsommation, les contraintes de production agricole, le coût de l'alimentation et de soins de santé des animaux. Le suivi des exploitations a permis de mesurer en fin de campagne agricole les rendements en grains et en fourrage des principales cultures et les gains de poids journaliers des animaux dans les ateliers en saison sèche.

Les valeurs moyennes des données ont été calculées et introduites dans un modèle microéconomique de type programmation mathématique dynamique, dans le logiciel GAMS (*general algebraic modeling system*). Le modèle a été appliqué à une exploitation agricole représentative du groupe des agro-éleveurs suivis dans l'étude.

I.5. Evaluation des options de changements expérimentées

I.5.1. Cadre théorique du modèle d'analyse

Les modèles micro-économiques sont utilisés pour reproduire le fonctionnement des exploitations agricoles. Ils servent de petits laboratoires virtuels pour simuler les conséquences d'une grande variété d'expériences (Barbier, 1998 ; William et Jeffrey, 1998). Ils ont une place importante dans l'évaluation ex ante de l'interaction dynamique entre les composantes productive, sociale et environnementale du système agricole. Il existe une gamme de techniques et d'approches de simulation des performances bioéconomiques des exploitations agricoles (Le Gal *et al.*, 2010 ; Vayssiere *et al.*, 2011 ; Sempore *et al.*, 2015).

I.5.2. Choix du modèle d'analyse

La programmation mathématique a souvent été utilisée pour évaluer l'impact des pratiques innovantes et pour servir de base de discussion entre chercheurs, praticiens et décideurs politiques. Sa flexibilité donne la possibilité à l'exploitant agricole familial d'élaborer un plan optimal, face aux conditions internes et externes (William et Jeffrey, 1998). Certains auteurs l'ont utilisée pour (i) analyser la durabilité et la viabilité des systèmes de production agricole à l'échelle villageoise (Barbier et Benoit-Cattin, 1997; Barbier, 1998 ; Ouédraogo, 2005) (ii) évaluer l'impact de l'introduction des innovations à l'échelle de l'exploitation agricole (Zongo, 2010 ; Sempore *et al.*, 2015), (iii) élaborer des plans de production à l'échelle de l'exploitation (Adeniyi et Oyewole, 2013).

I.5.3. Formulation du modèle de programmation mathématique

Le modèle développé est un modèle de programmation mathématique de type bioéconomique c'est-à-dire qu'il contient des équations biophysiques. Le modèle est dynamique avec un horizon de planification (t) de 20 ans et un taux d'actualisation de 5 %. Il distingue cinq états de la nature : année très humide, humide, moyenne, sèche et très sèche. Nous comparons une situation de base et un scénario incluant les cultures innovantes et les rations alimentaires améliorées.

Nous maximisons la valeur actualisée du revenu net, en optimisant la combinaison des activités de culture et d'élevage sous certaines contraintes. Les activités élémentaires incluent plusieurs cultures et types d'élevage avec plusieurs espèces et modes de conduite. Nous avons distingué les pratiques actuelles qui sont conventionnelles et les innovations proposées qui sont plutôt écologiques. Ces activités génèrent des profits et utilisent des ressources qui peuvent être des contraintes pour la production. Ces contraintes portent sur la terre, le travail, le capital, la fumure organique, les aliments humains et animaux. Face aux contraintes, le modèle permet si c'est intéressant sur le plan économique d'acheter des céréales pour la consommation familiale, de louer de la main-d'œuvre, de mobiliser un crédit de campagne, d'acheter des concentrés pour l'alimentation des animaux.

1.5.4. La fonction « objectif » : le revenu net

Les producteurs des zones de savane ont trois principaux objectifs : (i) garantir la sécurité alimentaire, (ii) maximiser leur profit et (iii) avoir un statut social élevé (Adegbedi, 2003). Un revenu maximum permet de répondre aux deux premiers objectifs (Brossier *et al.*, 2003). Le revenu est constitué par les produits de l'exploitation moins des charges diverses. Il est exprimé par la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 Zn = \sum_j [(pv(j) \times VE(j, t)] \\
 - \sum_j [Cint(j) \times X(j, t)] \\
 - \sum_j [pa(j) \times AC(j, t)] \\
 - \sum_j [cms \times HJS(j, t)] - [tict \times CREDCot(j, t)] \\
 + \sum_i [pv(i) \times VANX(i, t)] - [ticm \times CREDMc] \\
 - \sum_i Calim(i) \\
 - \sum_i Csoin(i) - \sum_i [pa(i) \times ACHAN(i, t)] - \sum_i [cms \times HJS(i, t)] \quad (1)
 \end{aligned}$$

Z_n : le revenu net (F CFA)

$VE(j,t)$ et $VANX(i,t)$: quantités de ventes par culture j (kg) et nombre d'animaux vendus par type d'animaux (tête),

$pv(j)$ et $pv(i)$: prix unitaire de vente par kilogramme de cultures et par animal vendu (F CFA),

$X(j,t)$: surface cultivée par culture (ha),

$Cint(j)$: coûts des intrants par ha des cultures (F CFA),

$Calim(i)$ et $Csoin(i)$: Coûts des concentrés alimentaires et de soins par animal d'élevage et d'embouche (F CFA),

$AC(j,t)$ et $ACHAN(i,t)$: quantité de produits agricoles (kg) et nombre d'animaux achetés (tête),

$pa(j)$ et $pa(i)$: prix d'achat par culture et par animal (kg),

$CREDCot(j,t)$ et $CREDMc$: crédit intrants coton et autre crédit de la campagne agricole (F CFA),

cms : coût de la main-d'œuvre journalière (F CFA),

$HJS(j,t)$ et $HJS(i,t)$: nombre d'hommes jours salariés pour les cultures et l'élevage par campagne agricole (unité),

$tict$ et $timc$: taux d'intérêt crédit intrants coton et crédit (F CFA).

1.5.5. Contraintes possibles de l'exploitation

Terre

La *terre* désigne les surfaces des différents types de sols possédés ou acquis par achat, emprunt ou location par le producteur en hectare. Elle devient de plus en plus rare à cause de la pression foncière (Vall *et al.*, 2006). La somme des superficies cultivées doit être inférieure ou égale à la superficie disponible pour l'exploitation.

$$\sum_j X(j,t) + JACH(t) \leq std \quad (2)$$

Avec $X(j,t)$: superficie cultivée (ha)

$JACH(t)$: superficie en jachères (ha)

std : superficie arable disponible (ha)

Travail

Dans les exploitations agricoles familiales, le travail est essentiellement

réalisé par la main-d'œuvre familiale (Brossier *et al.*, 2003). Avec la diversification des activités agricoles et le développement de l'orpaillage, la main-d'œuvre devient une contrainte pour les productions agropastorales (Koutou *et al.*, 2016).

$$\sum_j [W(j,t) \times X(j,t)] + \sum_i [W(i,t) \times ANX(i,t)] \leq ActiF + HJS(j,t) + HJS(i,t) \quad (3)$$

$W(j,t)$ et $W(i,t)$: main-d'œuvre par ha de cultures et par tête d'animal élevé (homme/jour),

$X(j,t)$ et $ANX(i,t)$: surface cultivée par culture (ha) et nombre d'animaux de l'exploitation (tête),

$ActiF$: nombre d'actif de l'exploitation (unité),

$HJS(j,t)$ et $HJS(i,t)$: nombre d'hommes jours salariés (auquel l'exploitation a accès) pour les cultures et l'élevage (unité).

Capital financier

Le capital désigne les besoins financiers pour l'achat des ressources (intrants, main-d'œuvre salariée, animaux d'embouche, etc.). Il est constitué de l'autofinancement à partir des revenus propres de l'exploitation, mais surtout du crédit intrant coton lié à la superficie emblavée en coton et éventuellement d'autres crédits. Les faibles revenus des producteurs font que leur capital est limitant (Koutou *et al.*, 2016). Les possibilités monétaires au comptant et à crédit que possède l'exploitation pour le financement des activités de culture et d'élevage doivent être inférieures ou égales à l'autofinancement et aux crédits accessibles.

$$\sum_j [Cint(j) \times X(j,t)] + \sum_j [cms \times HJS(j,t)] + \sum_i Calim(i) + \sum_i Csoin(i) + \sum_i [cms \times HJS(i,t)] \leq AUTOF + CREDCot(j,t) + CREDMC \quad (4)$$

$Cint(j)$: coûts des intrants cultures par ha (F CFA)

$X(j,t)$: surface cultivée par culture (ha)

cms : coût de la main-d'œuvre journalière (F CFA)

$HJS(j,t)$ et $HJS(i,t)$: nombre d'hommes jours salariés pour les cultures et l'élevage (unité)

$Calim(i)$ et $Csoin(i)$: coûts des aliments et de soins des animaux d'élevage et d'embouche (F CFA)

$AUTOF$: montant de l'autofinancement (F CFA)

$CREDCot(j, t)$ et $CREDMC$: montant de crédit intrants coton et autre crédit (F CFA)

Fumure organique

Dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso, avec la mobilité du troupeau et le manque de biomasse, les quantités de fumure organique produites ne couvrent pas les besoins des exploitations agricoles, malgré la diversité des modes de production (Blanchard *et al.*, 2014). La quantité apportée sur les cultures ne peut pas excéder la quantité produite.

$$\sum_i [dorg(j, t) \times X(j, t)] \leq \sum_i [dej(i, t) \times ANX(i, t)] \quad (5)$$

Avec $dorg(j)$: dose de fumure organique (kg/ha)

$X(j, t)$: superficies de la culture j (ha).

$Dej(i)$: déjections journalières produites par animal (kg)

$ANX(i, t)$: nombre d'animaux en fin d'année (tête)

Alimentation humaine

Les céréales constituent la base de l'alimentation familiale. Avec la baisse des rendements des cultures, certaines exploitations agricoles éprouvent des difficultés à couvrir leurs besoins alimentaires. Néanmoins, la majorité des exploitations vendent des céréales lorsqu'elles dégagent un surplus, ou en cas de besoin urgent d'argent pour couvrir les dépenses familiales (santé, éducation, événements sociaux), ou achètent les céréales pour compléter leur ration (Zongo, 2010).

La contrainte de consommation de céréales stipule que l'exploitation doit couvrir ses besoins en céréales avec sa production ou par achat complémentaire.

$$\sum_{ri} [AU(rj, t) + AC(rj, t)] \geq \sum_{ri} [conspers(rj) \times Nbpers] \quad (6)$$

$$\sum_{ri} AU(rj, t) = \sum_{ri} [rdtG(rj) \times X(rj, t)] - \sum_{ri} VE(rj, t) \quad (7)$$

Avec $AU(rj, t)$ la quantité de céréales autoconsommée (kg)

$AC(rj, t)$: la quantité de céréales achetée (kg)

conspers(rj) : consommation de céréales par personne (kg)

Nbpers : nombre de personnes de l'exploitation (u)

RdtG (rj) : rendements des céréales (kg.ha⁻¹)

X(rj,t) : superficie des cultures céréalières (ha)

VE(rj,t) : quantité de céréale vendue (kg)

Alimentation animale

Les troupeaux de l'exploitation sont composés de bovins et de petits ruminants. Dans la zone cotonnière, il y a une insuffisance de fourrages surtout en saison sèche (Vall *et al.*, 2006). Pendant la saison sèche chaude, l'alimentation des animaux d'élevage se fait grâce à la vaine pâture. Les bœufs de trait, les bovins et ovins d'embouche sont principalement alimentés avec les stocks de résidus de culture (céréales, fanes de légumineuses) et des sous-produits agroindustriels (tourteau et graines de coton, grains de céréales, sous-produits de meunerie,...).

$$\sum_{rj} [Rdtpail(rj) \times X(rj,t)] \geq cons(i) \times ANXP(i,t) \quad (8)$$

Avec *Rdtpail(rj)* : rendement paille des céréales (kg.ha⁻¹)

X(rj,t) : superficie des cultures céréalières (ha)

cons (i) : besoins en matière sèche, en énergie (UF) et en matières azotées digestibles par jour par animal (kg)

ANXP(i,t) : nombre d'animaux présents sur l'exploitation (tête)

II. Résultats

II.1. Adoptabilité des cultures innovantes par l'exploitation d'agro éleveur

L'exploitation d'agro-éleveur modélisée est représentative de celles enquêtées et suivies. Elle compte 16 personnes dont 9 actives. Elle pratique la polyculture et l'élevage. Le modèle de base reflète bien la réalité d'une exploitation d'agro-éleveur de l'ouest du Burkina Faso. En l'absence d'innovations agropastorales écologiques (scénario 0), l'exploitation consacre annuellement en moyenne à l'horizon de planification 34,9% de l'assolement au coton, 40,6% au maïs, 11% au sorgho et 8,4% à la jachère. Le soja, l'arachide et le riz en occupent ensemble 5%. Cette tendance se maintient sur l'horizon de planification

pour toutes les cultures, sauf le sorgho pour lequel les surfaces passent de 20% de l’assolement en 2013 à 11% entre 2014 et 2032. Les superficies réduites ont été affectées au coton avec fumure organique, qui passe de 5 à 6% et au maïs qui va de 33% en année 1 à 41% sur le reste de l’horizon de planification. Le coton et le maïs sont actuellement les principales cultures des agro-éleveurs. En introduisant les innovations agropastorales écologiques (scénario 1), l’exploitation n’abandonne aucune de ses cultures habituellement pratiquées. Parmi les sept pratiques innovantes de cultures expérimentées (Tableau I), seule une est adoptée dans la solution optimale à partir de 2014 jusqu’en 2032 (Figure 2) : le niébé avec engrais minéral phosphaté appliqué en micro-dose (2g.poquet⁻¹). Les nouveaux assolements sont 31,1% de coton, 39,3% de maïs, 13,5% de sorgho, 7,7% de niébé avec engrais micro dosé et 3,3% de jachère. L’arachide, le soja et le riz restent cultivés dans la solution optimale de façon marginale (5,1%). Cette tendance se maintient sur l’horizon de planification. L’adoption de la culture innovante intervient en 2014 à partir de laquelle, on note une réduction de 3,8% des superficies en coton, 1,3% pour le maïs, 5,1% pour la jachère et une augmentation de 2,5% pour le sorgho comparativement au modèle de base.

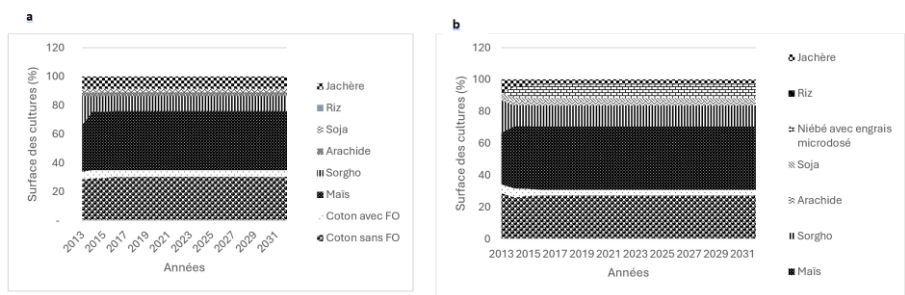


Figure 2 : Allocation des terres selon le modèle de base (a) et après introduction des innovations (b)

II.2. Adoptabilité des rations d’embouche améliorées

Parmi les rations ovines et bovines proposées (Tableau I), le modèle adopte seulement l’embouche bovine à partir de 2014 dans la solution optimale, avec la ration bovine 2 (grain de maïs : 1,7 kg, tourteau de coton : 1,7 kg, gousses *P. reticulatum* : 0,6 kg, fanes légumineuses : 1 kg, chaumes céréales : 4 kg comme meilleure ration). Aucune ration ovine n’est adoptée. Avec le scénario de base (S0), l’exploitation vend un bovin par an à partir de 2014 ; 2 ovins par an en 2014 et 2015 et 4

en 2032. Le scénario de base reflète un élevage naisseur. Avec le scénario 1, le modèle propose de vendre 5 ovins en 2014 et 3 ovins en 2015 et un bovin engraisé à la ration bovine 2 par an à partir de 2014 . L'exploitation passe d'un élevage naisseur à un élevage d'embouche et le modèle propose de choisir l'embouche bovine à la place de l'embouche ovine.

II.3. Impact des innovations sur la production de fumure organique et les indicateurs environnementaux

Avec le scénario 0, la quantité de fumure organique produite par l'exploitation est estimée à 2 t en 2013 et diminue progressivement jusqu'à 1,8 t jusqu'en 2017, pour se stabiliser sur l'horizon de planification sur cette valeur (Figure 3). Par contre, dans le scénario 1, la quantité de fumure organique passe de 3,5 t en 2013 et diminue jusqu'à 2,4 t en 2016. Les innovations, notamment l'embouche augmentent la fumure organique, pendant les premières années, puis celle-ci se stabilise à un niveau inférieur au scénario de base à partir de 2017. La vente de bovins et de tous les ovins dès les premières années avec l'adoption des innovations a diminué le cheptel.

Les indicateurs environnementaux (carbone et azote du sol) sont déficitaires. Ils évoluent dans le même sens que la production de fumure organique (Figure 3).

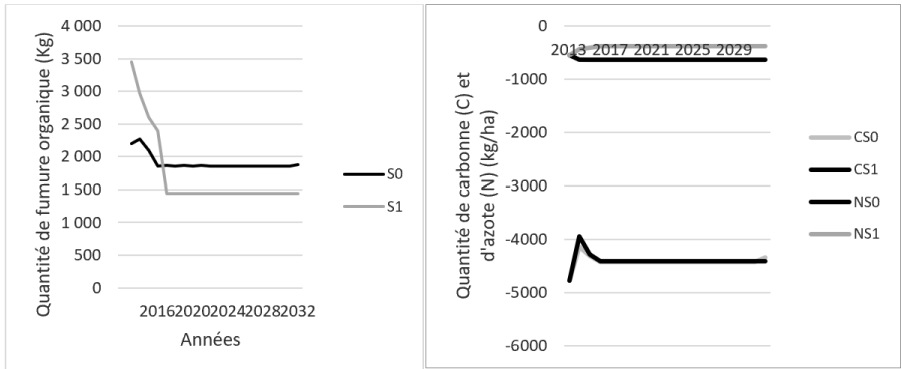


Figure 3 : Effet des innovations écologiques sur la production de fumure organique (a) et les indicateurs environnementaux (b)

II.4. Impact des innovations écologiques sur les besoins céréaliers

L'exploitation modélisée achète essentiellement du mil et du riz comme

compléments céréaliers alimentaires. Les quantités achetées varient en moyenne entre 79 et 407 kg selon les années climatiques, en absence d'innovation (Scénario 0) et de 79 à 207 kg avec l'adoption des innovations (Scénario 1) (Figure 4). Cette tendance s'observe sur l'ensemble de l'horizon de planification. L'achat de céréales complémentaires est plus marqué en année très sèche. L'adoption des innovations augmente légèrement la superficie consacrée à la riziculture (0,04 ha), donc contribue à l'augmentation de sa production.

II.5. Impact des innovations écologiques sur le revenu net

Le revenu monétaire net moyen annuel actualisé sur les vingt années de planification passe de 2 282 259 F CFA en situation de référence (S0), à 2 292 281 F CFA avec introduction des innovations (S1), soit une augmentation de 0,4%. Le revenu net annuel de chacun des 9 actifs de l'exploitation s'élève donc à 254 698 F CFA, soit 698 F CFA/jour avec innovations.

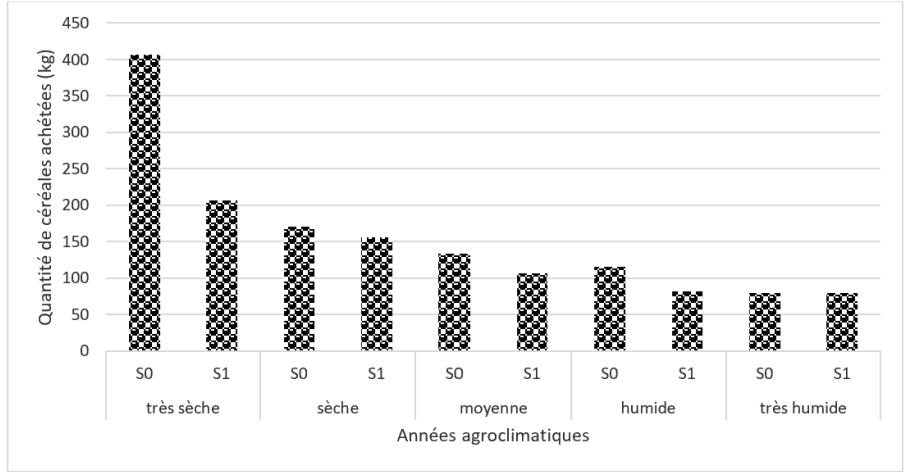


Figure 4 : Quantité complémentaire de céréales achetées par exploitation pour la consommation familiale

L'introduction des innovations permet donc à l'exploitation de rester au-dessus du seuil de pauvreté (500 F cfa/jour). En tenant compte des années climatiques, le revenu monétaire net annuel par exploitation passe de 109 844 F CFA en année très sèche de la situation de référence, à 132 604 F CFA avec innovations soit une augmentation de 21% (Tableau II).

Tableau II : Revenu net moyen actualisé de l’exploitation en F CFA

Années climatiques	agro	très humide	Humide	moyenne	sèche	très sèche	toute année
Scénario CFA)	0 (F	4 762 438	3 387 019	2 209 999	941 995	109 844	2 282 259
Scénario CFA)	1 (F	4 769 994	3 375 486	2 232 343	950 977	132 604	2 292 281
Variation (%)		0,16	-0,34	1,01	0,95	20,72	0,44

II.6. Les principales contraintes mises en évidence par le modèle Capital

L’exploitation est contrainte par le financement des engrais et des pesticides sur certaines cultures. Le crédit est limité aux intrants de la culture cotonnière. Les dépenses de l’activité d’embouche et des autres cultures doivent être supportées par le producteur.

Les prix des concentrés constitutifs de la ration d’embouche sont de 130 F CFA par kilogramme pour le tourteau de coton, 125 F CFA pour les grains de maïs et 70 F CFA pour les gousses de *P. reticulatum*. Si ce dernier concentré peut être récolté en brousse, le tourteau de coton doit nécessairement être acheté et le maïs prélevé dans la production de l’exploitation ou acheté. Le coût d’achat du tourteau de coton est élevé pour le producteur, et les grains de maïs sont prioritairement destinés à la consommation familiale ou à la vente.

Dans la réalité, très peu de producteurs peuvent contracter un crédit pour l’embouche, au regard des garanties nécessaires et des risques encourus par cette activité (mauvaise saison, vol, maladies animales, mévente des animaux embouchés). En raison de leur faible capacité d’autofinancement et l’absence de crédit, les producteurs achètent les animaux maigres moins coûteux, limitent le nombre d’animaux et les cycles d’embouche par an.

Main d’œuvre

La main-d’œuvre est un facteur limitant dans les exploitations d’agro éleveur où la terre n’est pas encore le facteur rare. Les deux périodes de pointe sont la mise en place et l’entretien des cultures (juin à juillet) et pendant la période de récolte (septembre à janvier). Les ouvriers agricoles sont rares et le coût de la main-d’œuvre augmente depuis

quelques années. Il est passé de 500 F CFA homme jour dans les années 2000 à 1500 F CFA de nos jours.

Terre

L'exploitation d'agro-éleveur dispose encore de petites surfaces en jachère de courte durée, utilisées comme pâturage par les animaux de l'exploitation. Avec la croissance démographique et la traction animale qui aide à étendre les surfaces par travailleur, la contrainte de terre va devenir progressivement plus forte.

III. Discussion

III.1 Intérêt des pratiques de production écologiques globalement positif

Les innovations agropastorales écologiques évaluées dans cette étude augmentent le revenu net de l'exploitation de type agro-éleveur et le rendent autosuffisant sur le plan alimentaire, même en année très sèche. L'utilisation des doses réduites de fumure minérale combinées à la fumure organique augmente les revenus et les rendements, surtout en année de mauvaise pluviosité, pour les ménages du plateau central au Burkina Faso (Ouédraogo, 2005).

L'assolement optimal suggéré par le modèle pour une exploitation d'agro-éleveur de l'ouest du Burkina Faso souhaitant maximiser son revenu monétaire net est d'emblaver plus de coton et de maïs que les autres cultures. Ces résultats confirment ceux de Zongo, 2010 pour la même zone. Les cultures fourragères et les associations de culture proposées au modèle ne sont pas sélectionnées dans la solution optimale. Les producteurs préfèrent les légumineuses alimentaires (*Vigna unguiculata*) aux légumineuses fourragères (*mucuna pruriens*) et l'adoption des cultures associées est difficile pour ceux qui pratiquent la culture attelée (Coulibaly *et al.*, 2012a ; Semporé *et al.*, 2015). Le niébé (*Vigna unguiculata*) est une réussite d'introduction de légumineuses dans les systèmes de production, grâce à son caractère multifonctionnel (graine utilisée pour la consommation humaine, fourrage valorisé par le bétail, apport d'azote dans le sol et la rotation avec les céréales qui permet de réduire l'impact du parasite striga) (Tarawali *et al.* 2005). Il a connu un succès au Sud Mali, au Burkina Faso et au Nigéria (Tarawali *et al.* 2005, Coulibaly *et al.*, 2012a).

Sans les innovations, l'exploitation vend un bovin par an à partir de

2014 ; 2 ovins par an en 2014 et 2015 et 4 en 2032. Le scénario de base reflète un élevage naisseur. Avec l'introduction des innovations, le modèle propose de vendre 5 ovins en 2014 et 3 ovins en 2015 et un bovin engraisé à la ration bovine 2 par an à partir de 2014 . Les exploitations vendent prioritairement les petits ruminants pour faire face à leurs charges urgentes. L'exploitation passe d'un élevage naisseur à un élevage d'embouche et le modèle propose de choisir l'embouche bovine à la place de l'embouche ovine avec la ration bovine 2 (grain de maïs : 1,7 kg, tourteau de coton : 1,7 kg, gousses *P. reticulatum* : 0,6 kg, fanes légumineuses : 1 kg, chaumes céréales : 4 kg comme meilleure ration). Les activités génératrices de revenu telles que l'embouche bovine améliorent le revenu de l'exploitation, quelle que soit le type d'année (sèche ou humide) (Sempore *et al.*, 2015). L'embouche bovine présente un intérêt économique pour les exploitations notamment pour les agro-éleveurs (Zongo, 2010).

Avec l'introduction des innovations, la quantité de fumure organique passe de 3,5 t en 2013 et diminue jusqu'à 2,4 t en 2016. Les innovations, notamment l'embouche augmentent la fumure organique, pendant les premières années, puis celle-ci se stabilise à un niveau inférieur au scénario de base à partir de 2017. La vente de bovins et de tous les ovins dès les premières années avec l'adoption des innovations a diminué le cheptel. En outre, l'introduction des légumineuses compense le manque à gagner de fumure organique produite par les animaux.

L'association agriculture élevage considérée comme une option d'intensification écologique permet d'économiser la dose d'engrais de synthèse, de réduire leurs effets négatifs sur l'environnement et de valoriser les légumineuses en alimentation animale. Elle permet d'allier production agricole et gestion des ressources renouvelables (Duru *et al.*, 2014). La valorisation des interactions au sein des agroécosystèmes limite le recours aux intrants externes (Bonny, 2011). Les techniques de conservation des eaux et des sols, de défense et de restauration des sols (cordons pierreux, diguette, zaï mécanisé, etc.) peuvent soutenir ces pratiques écologiques et atténuer les effets de la variabilité climatique (Ouedraogo *et al.*, 2010).

III.2 Les contraintes de l'écologisation des pratiques de production agricole

Dans un contexte de changement climatique, l'intensification écologique devient une voie attrayante pour beaucoup. Mais la rareté relative des certains facteurs de production et les nombreuses

interactions en jeu complexifient sa mise en pratique. L'adoption des pratiques expérimentées en station reste modeste (Bonny, 2011).

Les agro-éleveurs de l'ouest du Burkina Faso demeurent dans une logique d'agriculture conventionnelle basée sur l'utilisation relativement importante d'engrais de synthèse, d'insecticides, d'herbicides, et pour l'élevage ils privilégient un cheptel nombreux et extensif. Ils sont encore peu enclins à produire plus « écologique ».

L'intensification écologique telle que testée dans cet exercice nécessite un peu plus de temps de travail agricole. L'agriculture paysanne souvent perçue comme un modèle adéquat au niveau écologique et socio-économique, repose sur la main-d'œuvre familiale (Bonny, 2011) et moins disponible de nos jours dans la zone. En outre, le crédit bancaire est un important stimulant pour l'adoption des nouvelles technologies (Ouédraogo, 2005).

III.3 Intérêts et limites méthodologiques

L'intérêt de la programmation mathématique réside dans sa capacité à synthétiser le fonctionnement des exploitations, à analyser les pratiques des producteurs et les effets de l'introduction d'innovations sur le système de production et son revenu (Zongo, 2010). C'est une technique efficace et rigoureuse de recherche d'une solution optimale (Adegbedi, 2003). Les sorties du modèle (i) stimulent la réflexion plus stratégique autour des voix d'amélioration du revenu de l'exploitation, après confrontation avec les producteurs (Semporé *et al.*, 2015), (ii) facilitent la communication entre chercheurs et orientent leurs priorités de recherche sur les exploitations agricoles (Le Gal *et al.*, 2010) et (iii) orientent les décideurs dans l'élaboration de politiques de soutien aux agro-éleveurs (Zongo, 2010). Cependant le modèle ne prend pas les arrières-effets de la matière organique du sol sur les rendements (Duru *et al.*, 2014). En outre, l'absence d'analyse de sensibilité face aux variations des prix des intrants, des produits ou des disponibilités fourragères limite la généralisation des résultats.

Conclusion

Les systèmes agropastoraux des zones cotonnières d'Afrique de l'Ouest font face à une dégradation progressive des ressources naturelles et aux limites des modèles fondés sur les intrants minéraux. Dans ce contexte, l'intégration agriculture-élevage et les innovations agroécologiques

apparaissent comme des alternatives pertinentes pour concilier productivité et durabilité.

Les résultats issus des simulations bioéconomiques montrent que certaines pratiques agroécologiques peuvent améliorer le revenu net et renforcer la résilience des exploitations, notamment en conditions de stress hydrique. Toutefois, ces effets restent conditionnés par les hypothèses du modèle et varient selon les caractéristiques des exploitations. L'adoption de ces innovations est limitée par des contraintes économiques, techniques et institutionnelles. Leur diffusion nécessite donc des interventions combinant actions au niveau des exploitations et amélioration de l'environnement institutionnel, notamment en matière d'accès aux intrants, de conseil agricole et de mécanismes d'incitation.

Enfin, les résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des limites liées à la modélisation et aux données, ce qui exige des analyses complémentaires basées sur des observations empiriques de long terme.

Remerciements

Nous remercions les membres du dispositif de recherche et d'enseignement en partenariat sur «l'Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest» (DP-ASAP). Nous sommes également reconnaissants à tous les producteurs qui ont volontairement participé aux différentes enquêtes et expérimentations et ont partagé leurs savoirs.

Conflit d'intérêt

Tous les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt »

Contribution des auteurs

KM a collecté et analysé les données, produit le draft du manuscrit, BB a appuyé l'analyse des données et la rédaction du draft, CK a mis en place les expérimentations, suivi et collecté les données, KS, TBA et TP ont corrigé et finalisé le manuscrit

Financement

Cette recherche a été financée par la coopération Australienne (AUSAID) dans le cadre du projet CORAF/OID (Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles / Options d'Intensification Durable).

Références bibliographiques

Adegbidi, A. E. B., 2003. Elaboration du plan de production agricole en milieu paysan dans l'agriculture pluviale du Bénin. Une analyse de l'incidence de la pluviométrie dans la zone cotonnière du Nord-Bénin ; Thèse de doctorat, Université de Groningen, Pays-Bas. 350 p.

Adeniyi O. R et Oyewole T.G., 2013. Resources management for income optimization in smallholder food crop farms in South-Western Nigeria, *Tropicultura*, 2013, 31, 2, 121-128.

Barbier, B. 1998. Induced innovation and land degradation: Results from a bioeconomic model of a village in West Africa. *Agricultural Economics*, 19, 15-25.

Barbier B., et Cattin B. M., 1997. Viabilité à long et moyen termes d'un système agraire villageois d'Afrique Soudano-sahélienne : le cas de Balla au Burkina Faso, *Economie rurale* 239, 30-39.

Blanchard M., Coulibaly K., Bognini S., Dugué P., Vall E., 2014. Diversité de la qualité des engrais organiques produits par les paysans d'Afrique de l'Ouest : quelles conséquences sur les recommandations de fumure ? *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 18 (4) : 512-523.

Bonny S, 2011. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cahier Agriculture* 20 : 451-62. doi : 10.1684/agr.2011.0526

Brossier J., Chia E. Marshall E. et Petit M., 2003. Gestion de l'exploitation agricole familiale : éléments théoriques et méthodologiques, éditions Educagri, 214p.

Chia, E., 2004. Principes, méthodes de la recherche en partenariat : une proposition pour la traction animale. *Élevage et médecine vétérinaire des pays tropicaux* 57 (3-4) : 233-240.

Coulibaly, K., Vall E, Autfray P., Nacro H. B. et P. M. Sedogo. 2012a. Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs

de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso ; *International. Journal of Biological and Chemical. Sciences.* 6 (3): 1069-1080

Coulibaly K., Vall E., Autfray P. et Sedogo P.M., 2012b. Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso: potentiels et contraintes *Tropicultura* 30, 3, 147-154

Dabiré B. H., Magnini S. et Sanou B. W., 2011. Le nouveau régime foncier rural du Burkina Faso a l'épreuve de stratégies locales d'anticipation : Cas des villages de Koho, Koumbia et de Yéguéresso. Rapport définitif, décembre 2011, 36 p.

Duru M., Fares M., Therond O., 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. *Cahiers Agricultures* 23 : 84-95. doi : 10.1684/agr.2014.0691.

FAO, 2011. Produire plus avec moins : Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne. Rome, Italie, FAO 112 p.

Faure G., 2007. *L'exploitation agricole dans un environnement changeant : Innovation, aide à la décision et processus d'accompagnement.* Dijon, France : Université de Bourgogne, 215p.

Griffon M, 2010. Après la révolution verte, peut-on promouvoir une agriculture économe, intensive et à forte valeur environnementale ? Académie d'Agriculture de France, 250e anniversaire, Colloque « Système alimentaire mondial : quels enjeux pour le 21e siècle ? », 25 novembre 2010. http://www.academie-agriculture.fr/detail-seance_242.html <http://www.academie-agriculture.fr/mediatheque/seances/2010/20101125communication1.pdf>.

Koutou, M., M. Sangaré, M. Havard, A. Toillier, L. Sanogo, T. Thombiano et D. S. Vodouhe. 2016. Sources de revenus et besoins d'accompagnement des exploitations agricoles familiales en zone cotonnière ouest du Burkina Faso ». *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 20 (1) : 42-56

Koutou, M., Vall E., Chia E., Traoré L. et Andrieu N., 2010. Implication des acteurs locaux dans la conception des innovations et l'évaluation de leur impact : le cas des systèmes agropastoraux du Tuy (Burkina Faso) ; In : Acte du Symposium international sur innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire ; Montpellier du 28 Juin

au 1er Juillet 2010. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00522574/fr/>.

Le Gal, P. Y., Mérot, A., Moulin, C. H., Navarrete, M. & Wery, J. 2010. A modelling framework to support farmers in designing innovative agricultural production systems. *Environmental Modelling and Software*, 25, 258-268.

Nchoutnji I, Dongmo A. L., Mbiandoun M. et Dugué P., 2010. Accroître la production de la biomasse dans les terroirs d'agro-éleveurs: cas des systèmes de culture à base de céréales au Nord Cameroun, *Tropicultura*, 28, 3, 133-138

Ouédraogo M., Dembélé Y. et Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21(2) : 87-96

Ouédraogo S., 2005. Intensification de l'agriculture dans le plateau central du Burkina Faso : Une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies. Thèse de doctorat, Université de Groningen, 336p.

Pretty J., Toulmin C., Williams S., 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9, 5-24.

Sempore A. W., Andrieu N., Le Gal P. Y, Nacro H. B. Sedogo M. P., 2015. Supporting better Crop-Livestock integration on small-scale west African farms : A simulation based approach, *Agroecology and sustainable food systems*, <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2015.1089966>

Tarawali, S., Okike, I., Kristjanson, P.K., Singh, B.B. and Thornton, P. (2005b) Dual-purpose cowpea for West Africa. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers*, Dublin, 2005. p. 317.

Vayssiére J., Vigne M., Alary V., Lecomte P., 2011. Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification. *Agricultural Systems* 104, 146–161.

Vall E., Dugué P., Blanchard M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cahiers Agricultures*, 15, 72-79.

Vall E., Chia E., Blanchard M., Koutou M., Coulibaly K., Andrieu N, 2016. Concevoir en partenariat des systèmes agricoles innovants, *Cahiers agriculture*, 25: 15001; DOI: 10.1051/cagri/2016001

William A. M. et Jeffrey V., 1998. Adoption et impact des nouvelles

technologies : Manuel et exercices en GAMS. Document préparé pour le cinquième atelier de suivi et de formation sur l'impact économique de la recherche agricole au Sahel Ouagadougou, Burkina Faso, 22 novembre - 5 décembre, 52p.

Zongo B., 2010. Intérêt de la programmation linéaire pour l'analyse des pratiques des producteurs et la conception des innovations : cas des villages de Koumbia et Kourouma à l'Ouest du Burkina Faso. DEA, IDR/UPB, 60p.