

Évaluer la durabilité de systèmes de culture en agriculture de conservation à Madagascar (région du lac Alaotra) avec MASC-Mada

Mathilde Sester¹
Damien Craheix²
Gabriel Daudin³
Ninon Sirdey⁴
Éric Scopel³
Frédérique Angevin²

¹ CIRAD
UR AÏDA
BP 230
Antsirabe 110
Madagascar
<mathilde.sester@cirad.fr>

² INRA
UAR 1240 Eco-Innov
Avenue Lucien Brétignières
78850 Thiverval-Grignon
France
<craheix.d@hotmail.fr>
<frederique.angevin@grignon.inra.fr>

³ CIRAD
UR AÏDA
Avenue Agropolis
34398 Montpellier cedex 5
France
<gdaudin@vitaconsult.fr>
<eric.scopel@cirad.fr>

⁴ CIRAD
UMR MOISA
Avenue Agropolis
34398 Montpellier cedex 5
France
<ninon.sirdey@cirad.fr>

Résumé

L'évaluation des systèmes de culture dépend du point de vue et de l'échelle envisagés. Un point de vue agronomique est souvent adopté avec l'évaluation des impacts de différents systèmes à l'échelle de la parcelle, ou un point de vue économique avec les conséquences d'un système de culture sur le fonctionnement de l'exploitation agricole. Des outils ont néanmoins été développés pour permettre une évaluation plus intégrative des systèmes de culture. C'est le cas du modèle MASC® qui permet, par une approche multicritère, d'évaluer la durabilité des systèmes de culture à la fois d'un point de vue environnemental, économique et social. MASC-Mada, développé pour les systèmes de culture pluviaux à Madagascar, a été utilisé pour comparer des systèmes en agriculture de conservation avec des systèmes conventionnels. Les résultats des évaluations, confrontés aux points de vue des agriculteurs, révèlent que les systèmes en agriculture de conservation sont globalement plus durables que les systèmes traditionnels, mais qu'un système mixte alliant utilisation de plantes de couverture et des labours moins fréquents prendrait mieux en compte les aspects sociaux et économiques.

Mots clés : durabilité ; agriculture de conservation ; systèmes de culture.

Thèmes : productions végétales ; méthodes et outils.

Abstract

Assessment of the sustainability of conservation agriculture cropping systems in Madagascar (Alaotra Lake) using MASC-Mada

Evaluating cropping systems depends on the perspective and scale considered. An agronomic point of view is often considered with the assessment of the impacts of the cropping system at the field scale, or an economic point of view with the consequences of implementing a cropping system on the farm. Tools have been developed to enable a more integrative assessment of cropping systems. This is the case of the MASC® model which, using multicriteria evaluation, estimates the sustainability of cropping systems from environmental, economic and social perspectives. MASC-Mada was developed specifically for upland cropping systems in Madagascar. It has been used to compare conservation agriculture cropping systems with conventional cropping systems. The results, confronted to the opinion of farmers, show that conservation agriculture systems are generally more sustainable than conventional systems but a mixed system combining the use of cover crops and less frequent tillage would better take social and economic aspects into account.

Keywords: sustainability; conservation agriculture; cropping systems.

Subjects: vegetal productions; tools and methods.

Tirés à part : E. Scopel

doi: 10.1684/agr.2015.0741

Pour citer cet article : Sester M, Craheix D, Daudin G, Sirdey N, Scopel E, Angevin F, 2015. Évaluer la durabilité de systèmes de culture en agriculture de conservation à Madagascar (région du lac Alaotra) avec MASC-Mada. *Cah Agric* 24 : 123-33. doi : 10.1684/agr.2015.0741

Augmenter la production alimentaire pour faire face à la croissance démographique constitue un défi majeur pour l'agriculture malgache. La saturation des bas-fonds destinés à la riziculture irriguée a conduit les agriculteurs de Madagascar à cultiver les collines avec des systèmes de culture pluviaux à base de maïs, légumineuses, riz pluvial ou manioc. Ces systèmes permettent un accroissement de la surface et de la production agricole. Cependant, les parcelles en cultures pluviales, souvent en pente, sont labourées chaque année. Avec la forte intensité des pluies, ces systèmes sont très sensibles à l'érosion qui peut conduire à une perte importante de la fertilité des sols et à un ensablement des rizières en bas des pentes. Les systèmes SCV (systèmes de culture avec semis direct sous couverture végétale) ont été proposés en premier lieu pour pallier ce problème d'érosion, mais aussi pour améliorer la fertilité des sols et pérenniser l'agriculture pluviale. Les SCV répondent aux fondements de l'agriculture de conservation (FAO, 2010 ; Scopel *et al.*, 2013) : la réduction du travail du sol, une couverture permanente du sol et la mise en place de rotations. Ces systèmes ont été largement diffusés dans la région du lac Alaotra dans le cadre du projet BV-Lac (Bassin versant lac Alaotra, 2003-2013) en postulant qu'ils étaient plus durables du fait de leur impact positif sur la réduction de l'érosion (Douzet *et al.*, 2010) et la fertilité organominérale des sols (Rakotoarisoa *et al.*, 2010). De nombreuses recherches ont alors été menées, principalement sur les systèmes à base de riz pluvial, pour montrer l'effet des SCV sur certains bioagresseurs (Sester *et al.*, 2013; Ratnadass *et al.*, 2013), sur la biologie du sol (Rabary *et al.*, 2008), mais aussi sur les différences de développement des cultures (Dusserre *et al.*, 2012).

L'utilisation des SCV constitue un véritable bouleversement pour les agriculteurs, en premier lieu par l'arrêt du labour qui va à l'encontre des habitudes agricoles à Madagascar. Le fait de laisser les résidus sur le sol pendant toute la contre-saison est également un changement important puisqu'il nécessite de faire un choix avec l'alimentation du bétail. Des études prenant en compte les aspects

sociaux et économiques de l'adoption des SCV ont été réalisées à partir de 2005. Celles-ci ont montré certains points de blocage (le statut des terres, les faibles moyens techniques des agriculteurs et le manque d'argent pour l'achat des intrants) qui pouvaient interférer avec l'acceptabilité sociale des SCV, venant ainsi en limiter l'adoption (Penot *et al.*, 2015).

Les résultats des évaluations discipline par discipline sont parfois contradictoires, ce qui rend difficile une estimation globale de la durabilité de chaque système de culture. Les outils d'évaluation multicritère ont donc été utilisés pour rassembler les résultats des études disponibles et comparer la durabilité des systèmes de culture pluviaux dans la région du lac Alaotra. La durabilité d'un système de culture s'entend comme sa capacité à répondre aux enjeux de l'exploitation agricole à la fois actuels et futurs, d'un point de vue tant économique que social ou environnemental (Sadok *et al.*, 2009).

Pour réaliser cette évaluation, les connaissances accumulées localement par les chercheurs et les techniciens ont été formalisées et combinées dans un nouvel outil d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture appelé MASC-Mada (*Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping Systems – Madagascar*), permettant de porter un regard commun sur la durabilité des systèmes et de le confronter à la perception des producteurs. Nous présenterons les résultats des évaluations *a posteriori* réalisées grâce à cet outil pour comparer les systèmes de culture traditionnels aux SCV déjà diffusés dans la région du lac Alaotra. Nous discuterons également du concept de durabilité dans un contexte d'agriculture de subsistance.

Matériel et méthode

Démarche de conception de l'outil

L'outil d'évaluation multicritère des systèmes de culture pluviaux à Madagascar a été conçu entre 2010 et 2013 pour évaluer leur durabilité et pour devenir un outil d'aide à la décision

pour les conseillers agricoles, les techniciens du développement ou les chercheurs. Il correspondait en cela parfaitement aux objectifs du modèle MASC®, développé pour évaluer *a priori* et *a posteriori* la durabilité des systèmes en grandes cultures en France (Craheix *et al.*, 2012 ; voir aussi la comparaison de différents outils par Surleau-Chambenoit *et al.*, 2013). C'est donc la même démarche de conception qui a été utilisée pour développer MASC-Mada :

- le concept de durabilité a été décomposé en critères plus simples à renseigner, appelés critères de base (*tableau 1*), qui font tous référence à une préoccupation élémentaire du développement durable comme la « marge », la « qualité physique du sol » ou la « toxicité pour le travailleur ». Ces critères de base peuvent être renseignés directement par une valeur qualitative du type « élevé », « moyen », « faible » (ex : « sensibilité à l'érosion ») évaluée par les experts ou grâce à des valeurs quantitatives (ex : « dépenses engagées maximales ») converties grâce à des valeurs-seuils en valeurs qualitatives ;

- le logiciel DEXi (Bohanec, 2011) agrège ensuite progressivement l'information de ces critères pour disposer *in fine* d'une évaluation pour chaque pilier de la durabilité et d'une note de durabilité globale. L'agrégation des critères se fait à l'aide de fonctions d'utilité renseignées par des règles de décision de type « si, alors ». Ces fonctions donnent une importance relative aux critères au moment de l'agrégation (poids des critères). DEXi permet la prise en compte de critères de nature différente (quantitatifs ou qualitatifs) et la gestion d'antagonismes ou de phénomènes de compensation entre critères. Pour les utilisateurs, il permet un contrôle complet des critères pris en compte et de la façon de les agréger.

Dans le cas de MASC-Mada, un collectif d'experts – chercheurs de différentes disciplines (agronomie, amélioration variétale, biologie des sols, entomologie, pédologie, économie, etc.) et opérateurs de projets de développement –, a participé à la conception du modèle en se basant sur les données des travaux de recherche et sur les connaissances expertes issues des observations en milieu paysan.

Tableau 1. Informations sur les critères de base, les modes d'évaluation et les facteurs influençant le niveau de l'indicateur.

Table 1. Information on the basic criteria, evaluation methods and factors influencing the level of the indicator.

Critère de base	Type	Mode d'évaluation	Détails
PILIER ÉCONOMIQUE			
Marge	Qt	Marge brute annuelle MOYENNE (PB - CO)	PB: produit brut ; CO: charges opérationnelles
Potentiel vivrier	Qt	% de production vivrière sur la rotation	Potentiel vivrier de chaque culture
Potentiel fourrager	Qt	% de production fourragère sur la rotation	Potentiel fourrager de chaque culture
Aléa technique lié à l'approvisionnement	Exp	Note maximale attribuée à un facteur (entre 0 et 2)	Disponibilité des ressources nécessaires (semences ou intrants)
Aléa climatique	Exp	Somme des notes attribuées à un facteur (entre 0 et 2)	Tampon climatique, diversité des cultures
Aléa prix	Qt	MOYENNE (MBmoy - MBmin)	MBmoy = marge brute moyenne = (PBmoy - COMoy), MBmin = marge brute minimale = (PBmin - COMax)
Aléa divagation	QI	Moyenne de notes de risque de destruction de la biomasse	% de l'année où la parcelle est couverte et risque d'attirer le bétail en recherche de nourriture
Dépenses engagées max	Qt	MAX (CO)	CO: charges opérationnelles (coût des semences, charges de mécanisation, intrants, etc.)
Dépenses engagées moy	Qt	MOYENNE (CO)	
Demande en temps	Qt	MOYENNE (Top)	Top: temps nécessaire pour réaliser une opération
Calendrier de travail	Qt	MOYENNE (Npic)	Npic: nombre moyen annuel de pics de travail superposés au calendrier du riz irrigué
PILIER AGRONOMIQUE			
Qualité physique	Exp	Arbre d'évaluation spécifique	Labour/travail par les plantes de service, activité biologique
Fertilité chimique	Qt	Bilan N = entrées - sorties	Entrées: fertilisation organique et minérale, N fixé par les légumineuses de la rotation. Sorties: prélèvements par les cultures, érosion
Maîtrise des adventices et du couvert	Exp	Note entre -1 et 1	Présence de labour, type de lutte, nombre de sarclage, qualité de la couverture
Maîtrise des bioagresseurs	Exp	% de cultures "à risque" contrôlées	Cultures "à risque" traitées
PILIER ENVIRONNEMENTAL			
Sensibilité à l'érosion	Exp	Expertise	Labour/qualité couverture/jachère
Bilan C	QI	Moyenne (notes de capacité à produire de la biomasse)	Note, exportation ou non de la production
Qualité de l'eau	QI	Moyenne (notes de toxicité des pesticides)	Note
Effet de la diversité des cultures	Qt	Nombre de cultures différentes	
Pression pesticides	QI	Moyenne (notes de toxicité des pesticides)	Note
Pression des autres pratiques	Exp	Moyenne (notes d'impact des pratiques)	Impacts labour et brulis

Tableau 1. (Suite)

Critère de base	Type	Mode d'évaluation	Détails
PILIER SOCIAL			
Compatibilité foncière	QI	Expertise	% de terres en métayage, années de la rotation sans culture, mode de gestion du sol
Fréquence riz	Qt	Fréquence de riz	
Compatibilité divagation	QI	Moyenne des notes de risque de destruction de la biomasse	Note, part de l'année où la parcelle est couverte
Toxicité pour le travailleur	QI	Moyenne des notes de toxicité des pesticides au cours de la rotation	Note
Pénibilité physique	QI	Moyenne des notes de pénibilité des opérations	Note

Type de critère :

Qt = quantitatif ; QI = qualitatif ; Exp = expertise.

Ces experts ont d'abord été interrogés individuellement sur tous les critères qui, selon eux, devaient être pris en compte dans l'évaluation de la durabilité d'un système et sur la façon de les agréger. L'arbre a été ensuite validé dans une réunion collective. Les pondérations qui permettent de définir les fonctions d'utilité pour l'agrégation des critères ont alors été discutées dans des entretiens individuels et validées dans une réunion.

Description de MASC-Mada

L'arbre utilisé dans le modèle (figure 1) comporte 26 critères de base et 15 critères agrégés selon les pondérations qui leur ont été attribuées, et agencés en quatre branches correspondant aux quatre dimensions choisies pour décrire la durabilité :

- le pilier économique se décompose en trois critères : la marge brute, la demande en travail et le risque pris par l'agriculteur lors de la mise en place d'un système de culture. La marge est calculée sur l'ensemble des cultures de la rotation puis rapportée à une moyenne annuelle. La valeur de l'indicateur est alors établie en fonction de seuils fixés à partir de la marge brute moyenne d'un système de référence. Le risque combine des aspects financiers mais aussi techniques, comme les problèmes d'approvisionnement. En effet, dans la région, certaines semences ou certains intrants peuvent être difficilement disponibles ;

- le pilier agronomique décrit la capacité du système à maintenir un potentiel de production en considérant l'évolution des ressources au sein de la parcelle (qualités physico-chimiques du sol) et la maîtrise des contraintes techniques associées à la conduite du système (maîtrise des couverts, des adventices et des bioagresseurs). Ces aspects, pris en compte dans la branche économique de MASC[®], font l'objet dans MASC-Mada d'un pilier à part entière, car le maintien de la fertilité des sols est considéré comme un enjeu majeur pour les agriculteurs malgaches qui disposent de peu de moyens pour acquérir des engrais et produire du fumier ;

- le pilier environnemental comporte beaucoup moins de critères de base que dans le modèle français du fait de la très faible utilisation des pesticides et des engrais minéraux à Madagascar. En revanche, une place importante est donnée au risque d'érosion engendré par les pratiques agricoles ;

- le pilier social est un indicateur de l'acceptabilité d'un système de culture par la compatibilité avec les règles sociales locales. Par exemple, le fait de laisser des couverts sur les parcelles en contre saison peut poser des problèmes avec les éleveurs transhumants dont les bovins divagent en cette période de manque de fourrage et risquent de brouter les couverts. Dans les villages, des contentieux ont été rapportés à ce sujet (aléa « divagation des animaux »).

Utilisation de l'outil pour les systèmes de culture du lac Alaotra

Des systèmes de culture contrastés ont été choisis pour être évalués et pour tester la sensibilité de l'outil. Ces systèmes sont diffusés et utilisés dans la région et documentés à partir de suivis de parcelles réalisés dans le cadre du projet BV-Lac : rendement, itinéraire technique, etc. Les systèmes évalués varient selon trois facteurs : le mode de conduite de la parcelle (labour, SCV), le niveau de fertilisation (faible ou fort) et la rotation (tableau 2). Les rotations sont de durée variable, de 2 à 7 ans, et l'évaluation de chaque système est réalisée sur cette durée. En SCV, le *Stylosanthes guianensis* (STYLO) a été proposé car il s'agit d'une des légumineuses de couverture les plus adaptées au contexte pédo-climatique de la région du lac Alaotra. Cependant, il a besoin de pousser pendant deux ou trois années pour être efficace et demande une certaine technicité pour semer les cultures suivantes. Sa biomasse aérienne n'est pas exportée et couvre le sol. Un système intermédiaire nommé « système mixte » (trois labours pour une rotation de sept années) (M1), qui n'intègre que partiellement les principes de l'agriculture de conservation, a également été évalué. Il comprend le *Stylosanthes* comme plante de couverture, comme SCV3 (tableau 2).

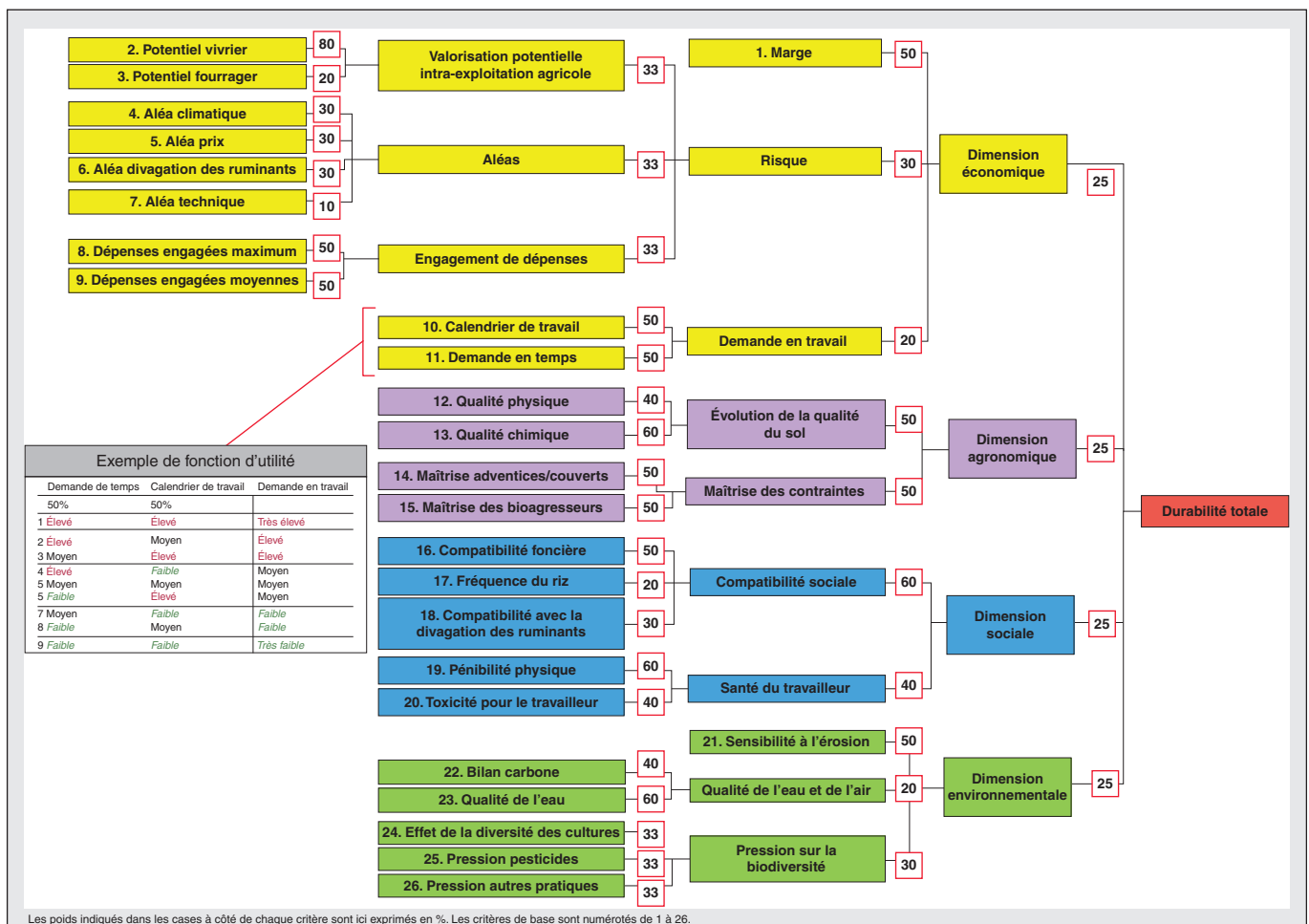


Figure 1. Arbre de durabilité de MASC-Mada.

Figure 1. Decision tree of the durability in MASC-Mada.

L'évaluation donne pour chaque système un arbre présentant les résultats de chaque indicateur en entrée et de chaque critère agrégé aux différents étages de l'arbre.

Consultation des agriculteurs

Pour des raisons pratiques de compréhension des concepts et des questions techniques, les agriculteurs n'ont pas été intégrés à la conception de MASC-Mada. Il nous a cependant paru important d'avoir leur point de vue sur les résultats de l'évaluation des systèmes. Deux réunions de consultation ont été menées dans deux villages de la région du lac Alaotra en janvier 2013, avec sept et quinze personnes pratiquant les SCV. Les résultats des évaluations ont été confrontés avec les avis que les agriculteurs pouvaient

avoir de la durabilité des systèmes. Seuls quatre systèmes de culture ont été présentés pour permettre une meilleure analyse de chacun : le système traditionnel L1, les systèmes SCV1 et SCV3 ainsi que la référence REF. Il a été demandé aux agriculteurs d'attribuer une appréciation du type « très bon », « bon », « moyen », « mauvais », « très mauvais », à chacun des quatre piliers pour chaque système. Les résultats obtenus à l'aide du modèle MASC-Mada leur ont ensuite été présentés.

Résultats

Résultats des évaluations avec MASC-Mada

Il apparaît difficile de comparer les huit systèmes de culture selon la **dimension**

économique car le modèle ne permet pas de les discriminer (figure 2). En revanche, à un niveau inférieur, des différences nettes apparaissent (figure 3). Cela est dû à l'antagonisme des critères qui le composent : risque et marge notamment. Un système très rentable sera souvent un système nécessitant un fort engagement de dépenses et une bonne maîtrise technique, ce qui constituera alors un risque important. Les systèmes L1 et L3 ont respectivement une marge « faible » et « moyenne », alors que le risque pris par l'agriculteur qui les met en place est faible puisqu'ils ne nécessitent pas d'investissement particulier en intrants ni une maîtrise technique importante. En revanche, bien que rentables, les systèmes SCV et mixte entraînent une prise de risque plus importante pour l'agriculteur, de par le besoin de maîtrise technique et la nécessité d'investissement sur le long terme. Le système L2

Tableau 2. Descriptif des systèmes traditionnels et en agriculture de conservation évalués avec MASC-Mada.

Table 2. Description of conventional and conservation agriculture cropping systems evaluated with MASC-Mada.

Nom	Mode de conduite	Rotation	Fertilisation		Rendements estimés (kg/ha) pour chaque année de la rotation							
			Organique*	Chimique (NPK et urée)**	An.1	An. 2	An. 3	An. 4	An. 5	An. 6	An. 7	
REF	Labour + Hersage 1 sarclage/an Exportation 100% graines pailles	RIZ // MAÏS // ARACHIDE	Sur riz et maïs	/	1700	2400	900					
L1		RIZ // RIZ	Tous les ans	/	1800	1800						
L2		RIZ//RIZ	Tous les ans	Tous les ans	2800	2800						
L3		JACHÈRE // JACHÈRE // RIZ // MAÏS // ARACHIDE // MANIOC	Sur riz et maïs	/	-	-	1800	2400	900	8000		
M1	Mixte 1 sarclage/an Exportation 100% graines tous les ans, 100% pailles avant année labour	(labour) MANIOC + STYLO // STYLO // STYLO // (SCV) RIZ // (SCV) MAÏS // (labour) RIZ // (labour) ARACHIDE	Sur riz et maïs	/	8000	-	-	2700	2500	1800	900	
SCV1	SCV 1 sarclage/an Exportation 100% graines, 0% pailles	MAÏS + DOLIQUE // RIZ	Tous les ans	/	2500 + 350 dolique	2000						
SCV2		MAÏS + NIÉBÉ // RIZ	Tous les ans	Tous les ans	2500 + 330 niebe	2700						
SCV3		ARACHIDE + STYLO // STYLO // STYLO // RIZ	Sur riz	/	900	-	-	2600				

// : cultures en rotation ; + : cultures en association.

* La fertilisation organique est faible, comprise selon les cas entre 2 et 4 t fumier/ha.

** La fertilisation chimique est faible, elle est comprise selon les cas entre 40 et 70 kg/ha pour l'urée et entre 30 et 130 kg/ha pour le NPK. Les rendements estimés sont des moyennes issues des bases de données BV-Lac.

présente une marge élevée car il aboutit à un rendement important. Néanmoins, le risque engagé est notable avec un apport de NPK chaque année, donc un endettement de l'agriculteur en début de campagne qu'il faudra rembourser à la récolte. Par ailleurs, le modèle met en évidence que le système SCV3 à fort niveau d'intensification serait moins rentable que son homologue à faible niveau d'intensification (SCV2). L'augmentation de rendement ne compenserait donc pas les charges opérationnelles supplémentaires liées à l'intensification, ce qui implique une marge plus faible pour SCV3 (figure 3). Enfin, d'après le modèle, le risque serait important lors de l'intégration de *Stylosanthes* dans une rotation (systèmes L3 et SCV3). En effet, cette culture implique souvent des difficultés techniques car elle produit une biomasse de couverture importante dans laquelle certaines interventions, comme le semis manuel de la culture suivante, sont difficiles à réaliser. Elle comporte également un aléa de divaga-

tion du bétail important et un nombre d'années de cultures vivrières moindre, puisque plusieurs années en culture pure de *Stylosanthes* (sans gain économique) sont nécessaires au bon fonctionnement du système (Naudin *et al.*, 2011). Les systèmes SCV et mixte obtiennent une évaluation « élevée » à « très élevée » pour le **pilier agronomique** (figure 2). Ces systèmes seraient davantage capables de maîtriser les contraintes (adventices et ravageurs) et de maintenir une bonne qualité du sol. Les deux systèmes intégrant le *Stylosanthes* dans la rotation (M1 et SCV3) reçoivent la meilleure évaluation, bénéficiant de l'amélioration de la fertilité due à cette plante : elle fixe l'azote de l'air, sa biomasse aérienne forme une couverture du sol importante qui, en se décomposant, fournit du carbone et des nutriments au sol. Par ailleurs, l'apport de fertilisation chimique (résumé ici au bilan N) améliore les rendements et la marge mais pas, finalement, le critère fertilité

de la parcelle, comme le montrent les évaluations comparées des systèmes traditionnels L1 *vs* L2 ou SCV1 *vs* SCV2 pour le pilier agronomique. La durabilité du point de vue **environnemental** est beaucoup plus élevée pour les systèmes SCV et mixtes, que pour les systèmes traditionnels, qui sont labourés tous les ans et sont donc sensibles à l'érosion. Seul L3 reçoit une note « moyenne » car il bénéficie de deux années sans travail du sol (jachère) qui abaissent légèrement sa sensibilité à l'érosion. Par ailleurs, il ne représente qu'une très faible pression sur la biodiversité grâce à une faible utilisation de pesticides et une diversité importante dans la rotation. Le point fort des systèmes traditionnels est le **pilier social**. Ils bénéficient d'une bonne compatibilité foncière puisqu'ils n'impliquent pas d'investissement à long terme sur une même parcelle, au contraire des SCV qui nécessitent que l'agriculteur soit le

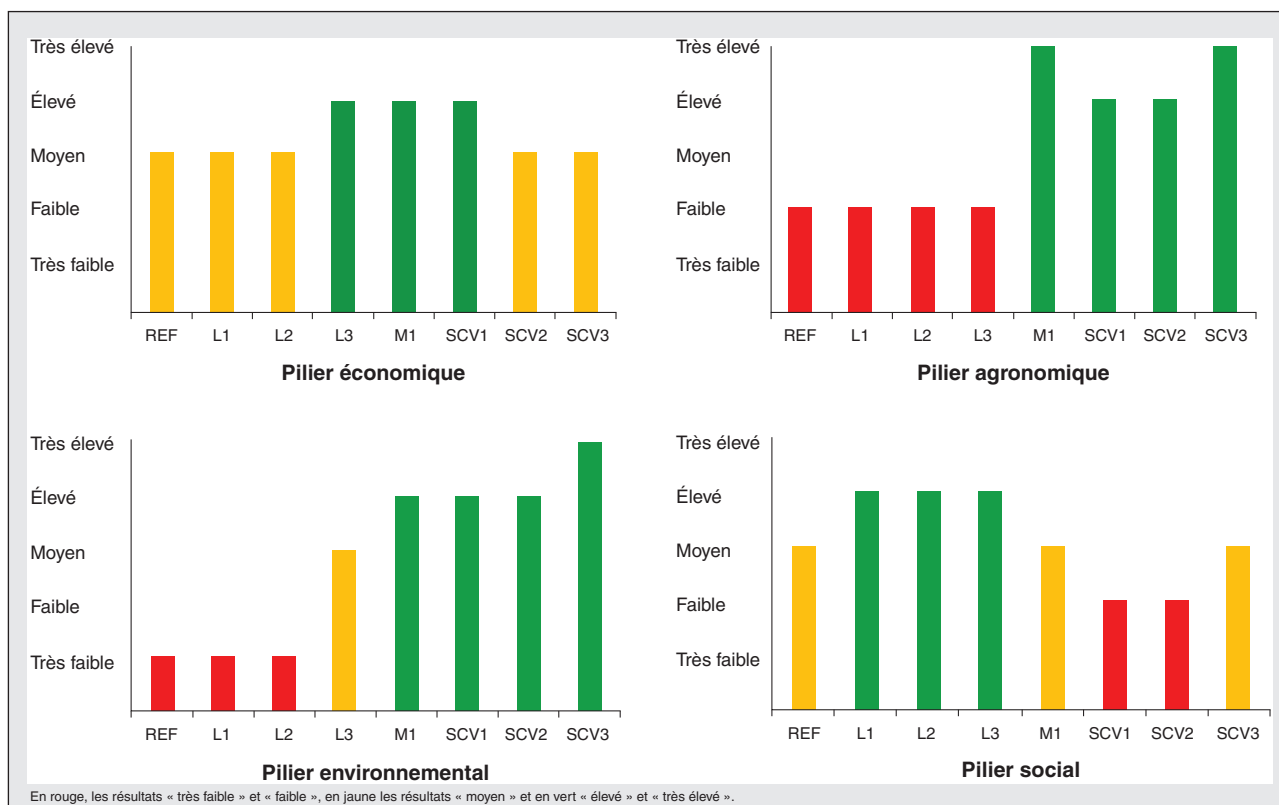


Figure 2. Résultats des évaluations des piliers économique, agronomique, environnemental et social pour les huit systèmes testés.

Figure 2. Results of the evaluations of economic, agronomic, environmental and social pillars for the eight tested cropping systems.

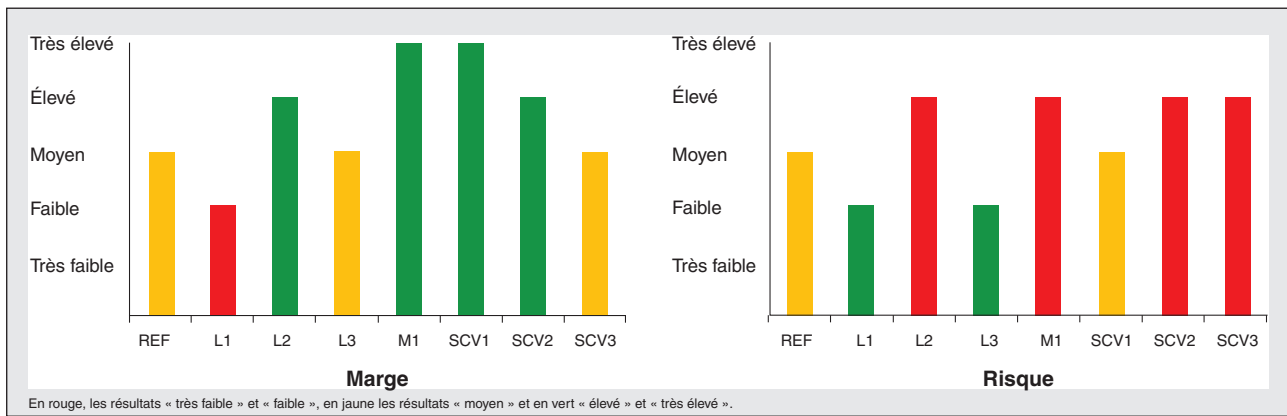


Figure 3. Résultats des évaluations des huit systèmes testés pour les critères Marge et Risque.

Figure 3. Results of the evaluations of the eight tested cropping systems for margin and risk criteria.

propriétaire de la parcelle pour pouvoir valoriser le gain de fertilité obtenu au fil des ans. En outre, les systèmes traditionnels présentent un faible risque de conflits liés à la divagation des animaux, alors que les résidus, assurant la couverture du sol des parcelles SCV en saison sèche, sont très convoités pour l'alimentation du bétail. L'évaluation de l'impact sur la santé du travailleur est mauvaise pour les systèmes traditionnels à cause de la pénibilité du labour manuel, ainsi que pour les systèmes SCV avec maïs associé à cause de la toxicité des herbicides et des produits de traitement des semences.

L'agrégation de ces résultats aboutit à l'évaluation de la durabilité totale des systèmes traditionnels et innovants (figure 4). Les trois SCV ont une meilleure note que les systèmes traditionnels avec labour. Parmi ces derniers, L3 obtient la meilleure note de durabilité car les deux années de jachère permettent d'abaisser le risque d'érosion et la pression sur la biodiversité. L'intégration d'une année de manioc permet par ailleurs d'augmenter la marge. Le système mixte en milieu paysan présente une durabilité totale élevée. Il constitue un bon compromis entre les systèmes strictement SCV et les systèmes traditionnels.

Évaluation par les agriculteurs

L'évaluation par les agriculteurs de la durabilité des quatre systèmes qui leur ont été présentés n'a pu se faire qu'après une explication du concept

de durabilité. Il correspond à la possibilité pour les futures générations de cultiver pour les mêmes parcelles que celles exploitées aujourd'hui, par opposition avec les pratiques qui consistaient à abandonner les terres après quelques années par manque de fertilité. Après explication, les agriculteurs des deux villages sont en général conscients de plusieurs faits :

- le labour des sols en pente conduit à une perte de terre ;
 - les systèmes traditionnels sur les collines conduisent souvent à un abandon de la parcelle qui n'est plus assez productive ;
 - l'importance des rotations de cultures.
- Globalement, la perception par les agriculteurs de la durabilité des systèmes présentés est assez proche des résultats des simulations (figure 5). Dans le premier village, le pilier social

a été difficilement compris, il était plus associé à des problèmes d'approvisionnement en semences. Dans le deuxième, en revanche, les discussions sur les relations entre éleveurs et agriculteurs ont été nombreuses, mettant en avant les difficultés à conserver de la biomasse sur une parcelle en saison sèche alors que l'alimentation manque pour le bétail.

Les résultats des évaluations de durabilité totale ont suscité un peu plus de désaccord, notamment avec le système de référence dont la durabilité totale évaluée par notre outil est équivalente à celle du système avec monoculture de riz (L1), avec le même niveau pour tous les piliers, et même un avantage pour la monoculture pour le pilier social. Les agriculteurs auraient quant à eux attribué une note supérieure au système de référence pour lequel la présence

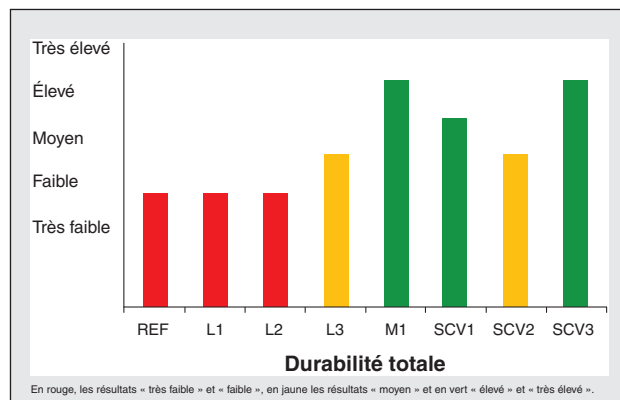


Figure 4. Résultats de l'évaluation globale de la durabilité des huit systèmes de culture comparés.

Figure 4. Results of the general evaluation of sustainability for the eight cropping systems compared.

d'une rotation et l'intégration d'une légumineuse devraient améliorer la durabilité sur le plan agronomique. Néanmoins, l'absence de fertilisation une année sur trois, pour l'arachide, équilibre le pilier agronomique par rapport au système L1 où une fumure organique est apportée chaque année. Ces explications ont été apportées aux producteurs.

Discussion

L'outil MASC-Mada

L'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture permet de combiner et de synthétiser des résultats qui ont été obtenus au lac Alaotra dans des disciplines très variées.

MASC-Mada agrège des données issues d'expérimentations ou d'expertise, qualitatives ou quantitatives. L'évaluation des systèmes qui en résulte facilite la compréhension et les échanges entre les intervenants. Certaines notions reflètent bien la prise en compte par le modèle des contraintes sociales, comme par exemple les critères liés à la divagation

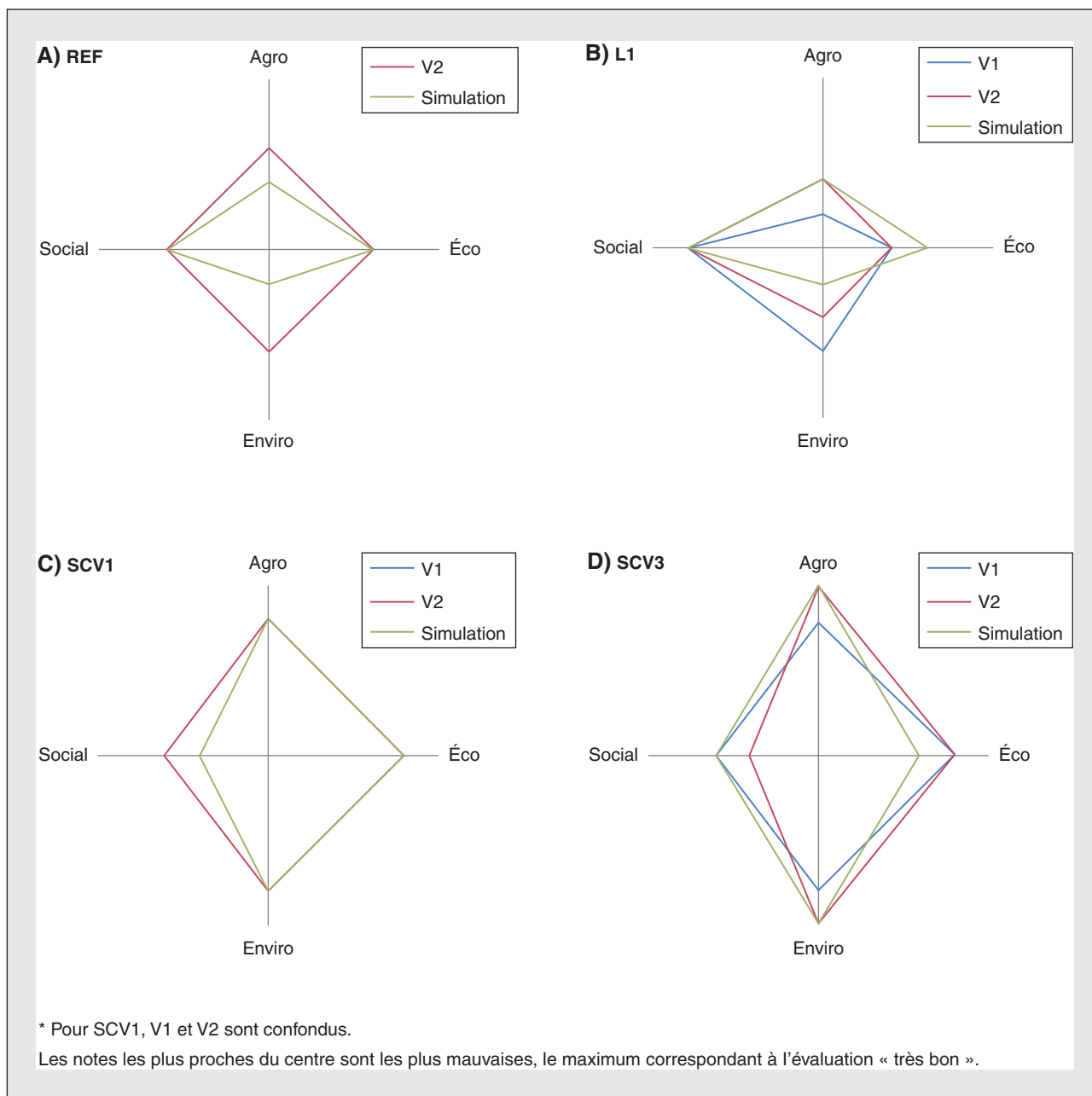


Figure 5. Comparaison des évaluations réalisées par les agriculteurs du village d'Amparihitsokatra (V1) et de celui de Mahatsara (V2) avec les résultats d'évaluation par le modèle.

Figure 5. Comparison of the evaluations of farmers from the villages of Amparihitsokatra (V1) and Mahatsara (V2) with the model evaluations.

des ruminants qui apparaissent dans la dimension économique et dans la dimension sociale, et qui peuvent véritablement être un frein à l'adoption d'un système de culture SCV.

Le modèle permet de discriminer les systèmes entre eux, ce qui témoigne de sa sensibilité. Par ailleurs, les résultats sont apparus cohérents et conformes à l'avis des agriculteurs sollicités.

Durabilité des systèmes évalués

Avec les premières utilisations du modèle, les systèmes en agriculture de conservation apparaissent plus durables que les systèmes traditionnels avec labour chaque année et une faible diversité de cultures. Le critère final de durabilité permet de distinguer des grands types de systèmes de culture mais ne discrimine pas des systèmes avec labour sans jachère (REF, L1 et L2). En revanche, la présence d'une jachère sans aucune intervention (L3) permet d'améliorer la durabilité globale. Les bons résultats du système « mixte » sont intéressants car ce système est plus flexible que les SCV. Il est déjà pratiqué par certains agriculteurs et pourrait perdurer après l'arrêt du projet BV-Lac. Ce système garde certains principes de l'agriculture de conservation mais avec une fréquence réduite du labour et non pas sa suppression. Sa durabilité est améliorée car il combine les points positifs des SCV aux niveaux agronomique et environnemental, tout en étant meilleur pour les piliers économique et social.

L'évaluation du système SCV avec jachère de *Stylosanthes* (SCV3) met en évidence un des intérêts de l'outil. Ce système a été très bien évalué pour sa durabilité totale, ce qui est cohérent avec les résultats que l'on peut trouver dans la bibliographie (Scopel *et al.*, 2013). Cependant, ce système peine à être diffusé en milieu paysan, à cause de critères sociaux qui constituent un blocage trop important. Même si SCV3 permet, grâce au *Stylosanthes*, de maintenir (voire d'améliorer) la fertilité du sol sur le long terme, il n'est pas envisageable pour un agriculteur de cette région de ne rien produire (de commercialisable ou de consommable) sur une parcelle deux années sur quatre. Il tentera au moins de valoriser la

biomasse produite pour l'alimentation des animaux, au risque de surexploiter la couverture (Naudin *et al.*, 2011).

Interaction avec les agriculteurs

L'interaction avec les agriculteurs a été possible bien que l'objectif de durabilité ne fasse pas partie de leurs préoccupations majeures, car ils ont à faire face à une situation d'urgence alimentaire (Penot *et al.*, 2015). Cependant, ceux choisis pour cet exercice devaient connaître les systèmes de culture dont nous parlions à travers leur participation à des projets portant sur l'agriculture de conservation. Ils ont été sensibilisés aux avantages attendus des SCV et aux impacts négatifs du labour sur les sols (journées de formation, expérimentations, etc.), ce qui a certainement influencé leurs points de vue. L'appréciation par les agriculteurs des systèmes SCV et de leur rentabilité est aussi susceptible d'être faussée par le fait que les systèmes ont été diffusés dans le cadre de projets fournissant les semences, s'occupant de l'approvisionnement en intrants et constituant un véritable réseau avec appui de techniciens et de conseillers agricoles. Une évaluation après l'arrêt du projet permettra de vérifier les valeurs de certains critères (aléa technique, valeur des semences des plantes fourragères). En accord avec les observations de Bruges *et al.* (2008), ce résultat met en exergue les différences entre les préoccupations des agriculteurs, plus focalisées sur des critères d'adoption immédiats, et celles des chercheurs, plus orientés vers une approche holistique des performances conduisant à s'intéresser à la notion de durabilité.

Intérêts et limites de la démarche

L'outil MASC-Mada s'est avéré un excellent outil d'animation au moment de sa conception, pendant sa présentation aux chercheurs, mais aussi avec les agriculteurs, encore très peu sensibilisés au concept de développement durable. Les discussions ont été nombreuses autour de l'arbre d'agrégation,

de la hiérarchie des critères et de leurs poids relatifs attribués par les experts. L'outil devrait permettre aux agriculteurs d'orienter leurs choix de systèmes de culture en prenant la durabilité totale comme critère supplémentaire même si nous avons vu que cet aspect est encore peu pris en compte. MASC-Mada pourrait également être utilisé par les organismes de vulgarisation agricole qui souhaitent promouvoir dans une démarche d'accompagnement des systèmes de culture plus durables pour Madagascar.

Conclusion

L'objectif initial de la démarche de conception de MASC-Mada était d'élaborer un outil permettant d'évaluer la durabilité des systèmes de culture en prenant en compte les résultats de travaux disciplinaires d'origines très variées et allant dans des directions parfois contraires. En premier lieu, l'outil devait permettre une animation entre les chercheurs et les acteurs du développement agricole autour de la question de la durabilité sans se limiter aux critères agronomiques ou environnementaux. L'outil peut alors être utilisé par les pouvoirs publics ou les projets de développement pour sélectionner les systèmes qui devraient être favorisés parce qu'ils sont durables. En permettant de détailler les éléments qui supportent cette durabilité, l'arbre d'évaluation peut aussi être un élément explicatif pour les agriculteurs sur les conséquences de certaines pratiques et leur implication dans la durabilité. Dans les conditions du lac Alaotra, le modèle a permis une classification des systèmes de culture et la compréhension des raisons limitant l'adoption de certains systèmes qui auraient pu apparaître durables. Mais il nécessite de nombreuses adaptations pour pouvoir être utilisé dans d'autres contextes, en particulier parce que les différentes régions agricoles malgaches sont très diversifiées avec des contraintes sociales, économiques, agronomiques et environnementales variées. Il peut alors être mobilisé comme un outil d'animation, de formation et d'orientation de la réflexion pour des projets à venir dans d'autres régions de Madagascar. ■

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les chercheurs, techniciens du développement et les agriculteurs qui ont accepté de participer à ce travail, ainsi que le projet BV-Lac du Ministère malgache de l'Agriculture, mené par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et financé par l'Agence française de développement (AFD). Cette étude a été financée dans le cadre du projet PEPITES de l'Agence nationale de la recherche (ANR-08-STRA-10).

Références

Bohanec M, 2011. DEXi: program for multi-attribute decision making, user's manual, version 3.03. IJS Report DP-10707. Ljubljana: Jožef Stefan Institute.

Bruges M, Smith W, 2008. Participatory approaches for sustainable agriculture: a contradiction in terms? *Agriculture and Human Values* 25:13-23.

Craheix D, Angevin F, Bergez JE, Bockstaller C, Colomb B, Guichard, *et al.*, 2012. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations Agronomiques* 20:35-48.

Douzet JM, Scopel E, Muller B, Rakotoarisoa J, Albrecht A, Drazafindramanana NC, 2010. Effets des systèmes de cultures en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des Hautes Terres de Madagascar. *Étude et Gestion des Sols* 17:131-42.

Dusserre J, Chopart JL, Douzet JM, Rakotoarisoa J, Scopel E, 2012. Upland rice production under conservation agriculture cropping systems in cold conditions of tropical highlands. *Field Crop Research* 138:33-41. doi: 10.1016/j.fcr.2012.09.011

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2010. *Conservation agriculture*. <http://www.fao.org/ag/ca/>

Naudin K, Scopel E, Andriamandroso LH, Rakotosolofo M, Andriamarosoa Ratsimbazafy NRS, Rakotozandriny JN, *et al.*, 2011. Trade-offs between biomass use and soil cover. the case of rice-based cropping systems in the Lake Alaotra region of Madagascar. *Experimental Agriculture* 48:194-209. doi: 10.1017/S001447971100113X

Penot E, Domas R, Fabre J, Poletti S, Macdowall C, Dugué P, *et al.*, 2015. Le technicien propose, le paysan dispose. Le cas de l'adoption des systèmes de culture sous couverture végétale au lac Alaotra, Madagascar. *Cahiers Agricultures* 24: 84-92. doi : 10.1684/agr.2015.0745

Rabary B, Sall S, Letourmy P, Husson O, Ralambofetra E, Moussa N, *et al.*, 2008. Effects of living mulches or residue amendments on soil microbial properties in direct seeded cropping systems of Madagascar. *Applied Soil Ecology* 39:236-43. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.12.012

Rakotoarisoa J, Oliver R, Dusserre J, Muller B, Douzet JM, Michellon R, *et al.*, 2010. Bilan de l'azote minéral au cours du cycle du riz pluvial sous systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale en sol ferrallitique argileux à Madagascar. *Étude et Gestion des Sols* 17:169-88.

Ratnadass A, Randriamanantsoa R, Rajaonera TE, Rabearisoa MY, 2013. Interaction entre le système de culture et le statut (ravageur ou auxiliaire) des vers blancs (Coleoptera : Scarabaeoidea) sur le riz pluvial. *Cahiers Agricultures* 22:432-41. doi: 10.1684/agr.2013.0649

Sadok W, Angevin F, Bergez JE, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, *et al.*, 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 29:447-61. doi: 10.1051/agro/2009006

Scopel E, Triomphe B, Affholder F, Silva FAM, Corbeels M, Xavier JHV, *et al.*, 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33:113-30. doi: 10.1007/s13593-012-0106-109

Sester M, Raveloson H, Tharreau D, Dusserre J, 2013. Conservation agriculture cropping system to limit blast disease in upland rainfed rice. *Plant Pathology* 63:373-81. doi: 10.1111/ppa.12099

Surleau-Chambenoit C, Morin A, Galan MB, Cariolle M, Leclercq C, Guichard L, *et al.*, 2013. PLAGE, un réseau d'acteurs et une plate-forme web dédiée à l'évaluation agri-environnementale et de la durabilité des pratiques agricoles, des exploitations agricoles et des territoires. *Innovations Agronomiques* 31:15-26.