

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

Montpellier
SupAgro

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur Agronome,

spécialisation : Production Végétale Durable

Conception d'un outil d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture.

Cas des systèmes de culture à base de riz pluvial dans la région des Hautes Terres de Madagascar

par

Gabriel Daudin

Année de soutenance : 2010

Organismes d'accueil :

- UPR SCRiD – CIRAD / FOFIFA
- Unité Eco-Innov - INRA



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

présenté pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur Agronome,

spécialisation : Production Végétale Durable

**Conception d'un outil d'évaluation multicritère de la
durabilité des systèmes de culture.**

**Cas des systèmes de culture à base de riz pluvial
dans la région des Hautes Terres de Madagascar**

par

Gabriel Daudin

Mémoire préparé sous la direction de :

Aurélie Metay

Présenté le :

23/09/2010

devant le Jury :

- Frederique Angevin (maître de stage)
- Alain Capillon (président du jury)
- Aurélie Metay (tuteur de stage)
- Thomas Nesme (jury ENITAB)
- Stéphane de Tourdonnet (rapporteur)

Organisme d'accueil :

UPR SCRiD – CIRAD

Maîtres de Stage :

- F. Angevin (INRA, ECO-INNOV)
- Eric Scopel (CIRAD, UPR SCA)
- Mathilde Sester (CIRAD, UPR SCRiD)

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à mes maîtres de stage Frédérique Angevin, Eric Scopel et Mathilde Sester. Un grand merci à vous trois pour m'avoir offert un sujet aussi passionnant, votre aide illimitée et votre accueil chaleureux ! Merci à Eric et Mathilde ainsi qu'à leurs familles (Coucou Martin ! Coucou Nico !) de m'avoir accueilli quelques jours dans leurs refuges. Merci à Frédérique pour son aide et tous ses conseils durant ce stage. Enfin, un dernier merci pour m'avoir guidé dans la rédaction ce rapport.

Je remercie tous les experts que j'ai sollicités pour leur disponibilité, leur accueil ainsi que pour tous ces échanges qui m'ont beaucoup appris. Tout particulièrement Julie, Jean-Marie, Eric P., Krishna, Tahina, Andry et Fidy, merci.

Merci également aux membres de l'équipe Eco-Innov pour leurs nombreux conseils pendant la correction de ce rapport. Antoine, Benoît, Daniel et Elisabeth, merci à vous. Encore merci à Elisabeth de m'avoir ramené en voiture tous les soirs.

Je remercie tous mes enseignants sans qui je n'aurais pu vivre cette aventure. Merci à ma tutrice Aurélie Metay pour son encadrement et ses conseils.

Merci à l'équipe SCRiD pour son ambiance sympathique et pour un vélo qui m'aura été fort utile pendant ces 6 mois.

Un grand merci aux stagiaires CIRAD de la maison d'Antsirabe et de la case de passage de Tana pour leur aide, leur bonne humeur dans les moments de détente et les découvertes que nous avons pu faire dans la grande île. Visiblement le climat de Madagascar ne se prêtait pas trop à la pratique de la vaisselle.

Et puis merci à ma famille pour son aide et son soutien. Merci pour l'appareil photo et merci aussi d'être passés me voir avec une surprise inattendue venue de l'autre côté de l'océan.

Table des matières

Introduction	7
I. Contexte général de l'étude.....	11
I.1. Les Hautes Terres de Madagascar (Razafimbelo, 2005)	11
I.2. Présentation de la commune d'Andranomanelatra.....	13
I.3. L'évaluation multicritère de la durabilité.....	19
I.4. Problématique et objectifs du stage.....	23
II. Matériel et méthode.....	25
II.1. Principe de fonctionnement de MASC (Sadok <i>et al.</i> , 2009 ; Angevin <i>et al.</i> , 2008)	25
II.2. Le logiciel DEXi (Bohanec, 2008)	27
II.3. Construction de l'arbre avec des experts	29
II.4. Élaboration des indicateurs	33
II.5. Test et validation du modèle	35
III. Résultats	37
III.1. Construction de l'arbre de l'évaluation.....	37
III.2. Définition des règles d'agrégation.....	41
III.3. Calcul des indicateurs.....	43
III.4. Premières utilisations	45
IV. Discussion	51
IV.1. Analyse critique de l'outil	51
IV.2. Discussion sur la démarche.....	57
Conclusion et perspectives	61
Bibliographie	65

Liste des illustrations

Figure 1 : Situation géographique de Madagascar.....	10
Figure 2 : Zones climatiques de Madagascar	10
Figure 3 : Localisation de la région du Vakinankaratra.....	14
Figure 4 : Localisation de la commune d'Andranomanelatra	14
Figure 5 : Démarche de prototypage à dire d'expert, d'après Lançon (2008).....	20
Figure 6 : Schéma d'un arbre d'agrégation	24
Figure 7 : Exemple d'arbre d'agrégation sous DEXi	26
Figure 8 : Structure d'une fonction d'utilité sous DEXi	26
Figure 9 : Exemple de table de contingence sous DEXi.....	26
Figure 10 : Le pilier économique élaboré avec le groupe A	36
Figure 11 : Le pilier économique élaboré avec le groupe B.....	36
Figure 12 : L'arbre de l'agrégation à Madagascar.....	40
Figure 13 : Résultats de l'indicateur "Marge moyenne" (capture d'écran DEXi).....	46
Figure 14 : Résultats de l'indicateur "Maîtrise des bioagresseurs " (capture d'écran DEXi)	46
Figure 15 : Résultat de l'évaluation du système de référence (capture d'écran DEXi)	48
Figure 16 : Résultats de l'évaluation des systèmes SCRiD (capture d'écran DEXi)	48
Figure 17 : Pilier agronomique de l'évaluation du système "SCV - Fu"	50
Figure 18 : Pilier agronomique de l'évaluation du système "SCV - FM"	50
Figure 19 : Pilier agronomique de l'évaluation du système de référence	52
Figure 20 : Agrégation du critère "surcharge de travail"	56
Figure 21 : Proposition d'une démarche de prototypage a partir de l'évaluation de l'existant	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : récapitulatif des méthodes françaises d'évaluation multicritère.....	20
Tableau 2 : liste des experts rencontrés	28
Tableau 3 : liste des indicateurs	42
Tableau 5 : liste des indicateurs (suite)	44
Tableau 4 : règle de détermination de la maîtrise de la pyriculariose	45
Tableau 6 : principales améliorations pouvant être apportées aux indicateurs	54

Table des annexes

ANNEXE 1 : Arbre de la durabilité de MASC	73
ANNEXE 2 : L'arbre de la durabilité élaboré avec le groupe A.....	75
ANNEXE 3 : L'arbre de la durabilité élaboré avec le groupe B.....	77
ANNEXE 4 : Système de culture de référence en milieu paysan	79
ANNEXE 4 (suite).....	81
ANNEXE 5 : Système expérimental avec labour	83
ANNEXE 5 (suite).....	85
ANNEXE 6 : Système expérimental sous SCV.....	87
ANNEXE 6 (suite).....	89
ANNEXE 7 : Indicateur « maîtrise des bioagresseurs », détermination de la maîtrise des vers blancs .	91
ANNEXE 8 : Evaluation de la durabilité des systèmes expérimentaux d'andranomanelatra	93
ANNEXE 9 : Indicateur « évolution de la structure du sol » issu de MASCOF (Craheix, 2009)	95

INTRODUCTION

Située dans la partie occidentale de l'océan Indien, Madagascar est la quatrième plus grande île du monde avec une superficie supérieure à celle de la France. Avec 2/3 de la population en dessous du seuil de pauvreté, Madagascar compte parmi les pays les plus pauvres du monde. 80% de la population active travaille dans le secteur agricole, qui revêt donc une importance majeure pour le pays.

Le riz constitue l'aliment de base des Malgaches. Les paysans des hauts plateaux sont parmi les principaux producteurs de riz avec 36% de la production nationale (Penot *et al.*, 2009). Cependant, l'accès à des rizières irriguées devient de plus en plus limité pour les agriculteurs du fait de l'héritage qui divise les surfaces des exploitations. Parallèlement, la forte croissance démographique (3% par an environ) augmente considérablement la demande alimentaire. Les hauts plateaux culminant à plus de 1 700 mètres d'altitude, les conditions climatiques limitent fortement les rendements. C'est pourquoi l'agriculture parvient de plus en plus difficilement à assurer l'autosuffisance et la sécurité alimentaire dans cette région. Les agriculteurs manquent de moyens pour investir et intensifier la production, aussi se tournent-ils vers la mise en culture des collines non irriguées : les tanety.

Le riz pluvial peut être cultivé sans irrigation, des variétés d'altitude sont diffusées depuis 1980 par le CIRAD¹ et le FOFIFA². Elles permettent l'extension de la production de riz aux tanety mais celle-ci augmente le risque d'érosion des pentes. Les sols fragilisés par l'agriculture sont emportés par les fortes pluies, ce qui aboutit à une perte importante de fertilité du sol voire à l'ensablement des bas fonds. En réponse à ces difficultés, des ONG telles que TATA³ diffusent depuis la fin des années 90 des systèmes basés sur le semis direct sous couvert végétal (SCV) dont l'une des particularités est l'absence de travail du sol. Ces systèmes visent à protéger le sol des eaux de pluie et à maîtriser les adventices via une couverture végétale du sol. Leur diffusion rencontre elle aussi des difficultés, notamment à cause des conditions climatiques qui limitent la formation d'une biomasse suffisante pour assurer une couverture efficace.

C'est dans ce contexte que l'unité de recherche en partenariat Systèmes de culture et rizicultures durables (URP SCRiD) a été créée fin 2001. Cette équipe pluridisciplinaire est formée de chercheurs du FOFIFA, du CIRAD et de l'université d'Antananarivo. L'équipe SCRiD étudie l'impact des innovations telles que le riz pluvial et les SCV. Elle s'intéresse à plusieurs niveaux d'étude, du sol à l'économie de l'exploitation.

Les techniques culturales sans labour, telles que les SCV, représentent une innovation importante aux multiples effets écologiques (diminution des eaux de ruissellement, augmentation de l'infiltration, stockage de carbone, ...) sans pour autant que la portée de ces conséquences ne soit bien connue. Par ailleurs, la mise en œuvre de ces techniques est délicate, particulièrement dans des milieux subissant de nombreuses contraintes (climatiques, financières, ...). Leur émergence et leur diffusion sont souvent fondées sur un apprentissage permanent au sein de réseaux complexes dont l'exploitation agricole est l'un des maillons. Le projet PEPITES⁴ a pour but de produire des connaissances sur les processus écologiques ainsi que sur les processus d'innovation et de diffusion, afin d'évaluer et de concevoir des systèmes techniques et des dispositifs d'accompagnement durables.

La tâche 4 du projet, dans laquelle s'inscrit ce stage, a pour objectif de mettre en place des méthodes d'évaluation *ex ante* multicritère et multi-acteurs des performances de systèmes de culture innovants.

¹ Centre de Coopération Internationale de la Recherche Agronomique pour le Développement

² Composante principale du Système National de Recherche Agricole à Madagascar

³ TAny sy FAmpanandrosoana » : terre et développement

⁴ Processus Ecologiques et Processus d'Innovation Technique Et Sociale en agriculture de conservation

La problématique de ce stage concerne la mise en place d'une méthode d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture basés sur le riz pluvial à Madagascar. Cet outil et sa démarche de conception s'inspirent de MASC (Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping Systems), une méthode française d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture innovants, basée sur l'aide à la décision multicritère. Cet outil permettra à l'équipe SCRiD et aux organismes de diffusion d'évaluer l'impact de ces innovations sur l'agriculture avant de les diffuser auprès des agriculteurs.

Dans un premier temps, nous exposerons le contexte de l'étude et nous détaillerons les concepts nécessaires à l'évaluation de la durabilité. Nous aborderons ensuite le fonctionnement de la méthode MASC et nous présenterons la démarche suivie lors de ce stage pour aboutir à la conception de l'outil d'évaluation. Enfin nous restituerons et discuterons les résultats obtenus.



Figure 1 : Situation géographique de Madagascar

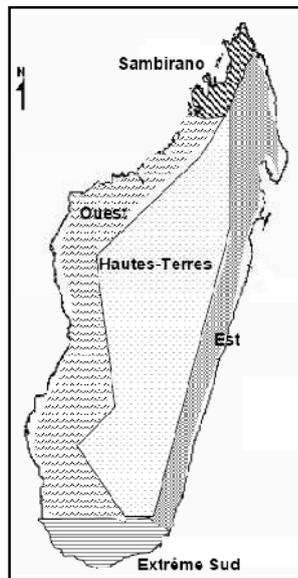


Figure 2 : Zones climatiques de Madagascar

I. CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE

I.1. LES HAUTES TERRES DE MADAGASCAR (RAZAFIMBELO, 2005)

Madagascar est une île de l'Océan Indien séparée du Sud-est du continent africain par le Canal du Mozambique. Elle s'étend sur une surface équivalente à celle du Benelux et de la France réunis (587 040 km²) avec une longueur de 1570 km du Nord au Sud et une largeur de 575 km d'Est en Ouest (figure 1). L'île présente une grande diversité de régions climatiques (figure 2) :

- le Littoral Est, région à climat tropical humide exposée aux alizés ;
- les Hautes Terres, région à climat tropical d'altitude ;
- l'Ouest, région à climat tropical ;
- l'Extrême Sud, région à climat semi-aride ;
- le Sambirano (extrême nord), région avec un climat analogue à celui de la côté Est mais protégée des alizés.

Les Hautes Terres occupent le centre du pays. C'est un ensemble hétéroclite de plateaux, collines et massifs compacts ainsi que de hautes plaines et de vastes bassins. Leur altitude varie de 800 à 2900 m. Elles sont bordées à l'Est par une étroite plaine côtière tandis que le versant Ouest descend en pente douce jusqu'à l'océan Indien. En 2000, les Hautes Terres produisaient 36% du riz malgache (Penot *et al.*, 2009).

Madagascar compte parmi les pays les plus pauvres du monde, les crises politiques successives ont fortement déstabilisé l'organisation du pays et bloquent toute perspective d'amélioration de la situation⁵. La situation économique actuelle du pays a des conséquences sur son agriculture qui se trouve dans une situation précaire.

a. L'agriculture des Hautes Terres

L'agriculture est à la base de la société malgache : 80% de sa population active y travaille et elle contribue à la formation de 33% du Produit Intérieur Brut (Razafimbelo, 2005). L'amélioration des revenus agricoles constitue donc un levier d'action important sur la situation économique du pays (Minten & Barrett, 2008).

L'agriculture malgache est en grande partie vivrière, c'est à dire destinée à l'autoconsommation plutôt qu'à la vente. On peut y voir une forme de sécurisation de l'exploitation, les prix des marchés étant très fluctuant. Cependant assurer les besoins en alimentation de la famille ne suffit pas, il faut également permettre un revenu régulier pour la vie de tous les jours. Ces revenus sont généralement assurés par la vente des surplus de production, par l'élevage ou grâce à un travail en dehors de l'exploitation (dit « Off Farm »).

L'importance des cultures vivrières fait que toute perte de production se ressent directement sur l'exploitant et sa famille : le moindre choc a des incidences graves voire irréversibles. Le concept de risque prend alors tout son sens : on ne sait jamais de quoi demain sera fait, le court terme prend le pas sur le long terme. La majorité des systèmes de culture tend à minimiser ce risque au détriment du gain économique : diversité des productions et des modes de conduite sont autant de stratégies permettant de diminuer l'impact de l'aléa climatique. Pour la culture de riz, ce sont les rizières irriguées qui offrent la production la plus sécurisée. Le risque de vol de cultures ou de bétail est fort et joue sur l'organisation des productions : les cultures les plus précieuses sont proches de l'habitation, les terres trop éloignées sont peu voire pas cultivées.

Le riz est la base de l'alimentation malgache (Dzido *et al.*, 2006) et il est courant d'entendre dire que « l'idéal est d'avoir du riz 3 fois par jour ». Produire du riz est donc une nécessité pour chaque exploitant.

⁵ Anonyme, « Pour que la terre tourne....aussi à Madagascar : Vers un agenda de relance économique », 31 pages

ENCADRÉ 1 : PRÉSENTATION DES ACTEURS

Le CIRAD - Le Centre de Coopération Internationale de la Recherche Agronomique pour le Développement est un organisme scientifique dont la mission est de contribuer au développement durable des pays tropicaux et subtropicaux.

<http://www.cirad.mg>

L'IRD - L'Institut de recherche pour le développement a pour vocation de mener des recherches en coopération avec les pays du Sud.

<http://www.ird.fr>

Le FOFIFA - Le FOFIFA représente la composante principale du Système National de Recherche Agricole à Madagascar. Placé sous la tutelle du Ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche Scientifique, il réalise des recherches dans le domaine du développement rural.

<http://www.cirad.mg/fr/anx/gsdm.php>

L'équipe SCRiD - Créée en 2001 en tant que Pôle de Compétence en Partenariat (PCP) puis devenu Unité de Recherche en Partenariat en 2004, le SCRiD (Systèmes de Culture et Rizicultures Durables) associe le FOFIFA, le CIRAD ainsi que l'université d'Antananarivo. L'équipe SCRiD est une équipe de recherche pluridisciplinaire qui travaille sur tous les aspects de la riziculture pluviale, de l'économie à la science du sol. Les recherches de l'unité sont axées sur la création et la diffusion d'innovation (via l'ONG Tafa), en particulier les variétés de riz pluvial d'altitude et les systèmes de culture à base de semis direct sous couvert végétal.

http://www.cirad.mg/?pg1=urp_scrid

Le GSDM - Le Groupement Semis Direct Madagascar a été créé en 2000. Il regroupe 15 membres dont le FOFIFA et l'ONG Tafa. Le GSDM coordonne en les activités de recherche et de diffusion des systèmes de cultures sous semis direct.

<http://www.cirad.mg/fr/anx/gsdm.php>

Tafa - L'ONG Tafa (pour « TAny sy FAmpanandrosoana » : terre et développement) a été créée en 1994. Elle conduit des essais SCV sur différents types de sols, dans différentes régions de Madagascar. Elle assure également un appui à la diffusion de ces systèmes auprès des paysans, Tafa est notamment présente dans les hauts-plateaux.

<http://www.cirad.mg/fr/anx/gsdm.php>

BVPI - Bassin Versants et Périmètres Irrigués. Programme financé en partie par l'AFD et réunissant de nombreux acteurs (CIRAD, BRL,...) sur la problématique de l'amélioration de l'agriculture dans le Vakinankaratra.

BRL - bureau d'étude Bas-Rhône Languedoc

AVSF - Agronomes et Vétérinaires Sans Frontière

FIFAMANOR - ONG Norvégienne

NB : tous les sites ont été consultés le 23 août 2010

La croissance démographique élevée (3% à 4% par an d'après Penot *et al.*, 2009) amène une augmentation conséquente de la demande alimentaire. Cependant les surfaces de rizières disponibles pour chaque exploitation diminuent, principalement par le jeu de l'héritage (Penot *et al.*, 2009). L'intensification de la production est inaccessible à la majorité des paysans qui manque de capitaux pour acheter des intrants. La mise en culture des versants et des collines non irriguées (« Tanety » en Malgache) devient alors la seule possibilité d'augmenter la production.

b. Le riz pluvial permet l'extension de la riziculture aux tanety

Comme nous l'avons expliqué plus haut, la production en rizière irriguée dans les hautes Terres se heurte à une impossibilité d'intensification de la production et à la saturation des terres de bas fond disponibles. La culture de terres non irriguées permet alors l'augmentation de la production mais exige des variétés de riz spécifiques.

Des variétés adaptées à l'altitude ont été obtenues à Madagascar dans les années 1980 par le programme « riz d'altitude » mené conjointement par le CIRAD et le FOFIFA⁶ (Dzido *et al.*, 2004). Peu de données sont disponibles pour connaître les superficies cultivées en riz pluvial et les chiffres sont parfois contradictoires (Penot *et al.*, 2009). En 2003 on estimait que 18% des surfaces cultivées en riz dans le Vakinankaratra étaient en riz pluvial⁷. Ces surfaces semblent avoir augmenté de nos jours, jusqu'à 50% de riz pluvial dans certains districts (Penot *et al.*, 2009).

La valorisation du temps de travail de la culture du riz pluvial n'est pas suffisante pour en faire une réelle alternative économique, exceptée dans la commune d'Andranomanelatra. Les agriculteurs de cette zone utilisent effectivement des variétés améliorées très prisées par les consommateurs (Penot *et al.*, 2009). L'absence d'irrigation rend en outre la culture particulièrement sensible aux aléas climatiques. Aux yeux des exploitants le riz pluvial est donc plus une opportunité d'accroissement de la production de riz qu'une alternative aux rizières irriguées. La préoccupation des paysans reste ces dernières et c'est là qu'ira la majeure partie des capitaux, des intrants et du temps de travail (Eric Denis, Comm. Pers.).

La mise en culture des tanety se heurte à des difficultés : les sols en pente sont fragilisés, ce qui aboutit à une forte érosion lors de la saison des pluies. Les quantités de terre déplacées sont importantes et les rizières en bas de pente sont fréquemment ensablées. Au niveau de la parcelle, l'érosion entraîne une perte importante de fertilité. Le manque de moyens pour renouveler cette fertilité, dû à la faiblesse du cheptel bovin et au coût trop élevé des engrais chimiques, se fait alors sentir.

Des solutions existent déjà afin de palier à une partie de ces problèmes (telles que les cultures en terrasses pour prévenir l'érosion) et la recherche d'innovations techniques se poursuit. L'équipe SCRiD, dans laquelle s'est déroulé mon stage, travaille actuellement sur l'étude de systèmes de culture innovants à base riz pluvial. L'un des principaux sites expérimentaux de l'équipe se situe à Andranomanelatra, au sein des Hautes Terres.

I.2. PRÉSENTATION DE LA COMMUNE D'ANDRANOMANELATRA

a. Andranomanelatra, commune du Vakinankaratra

La Région du Vakinankaratra, au sein des Hautes Terres, est délimitée par les coordonnées géographiques suivantes :

- entre 18°59' et 20°03' de latitude Sud ;
- entre 46°17' et 47°19' de longitude Est.

6 Les acteurs sont présentés dans l'encadré ci-contre

7 Source : Annuaire Statistique Agricole, 2001 ; cité par le Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, 2003



Figure 3 : Localisation de la région du Vakinankaratra

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Madagascar-Vakinankaratra_Region.png

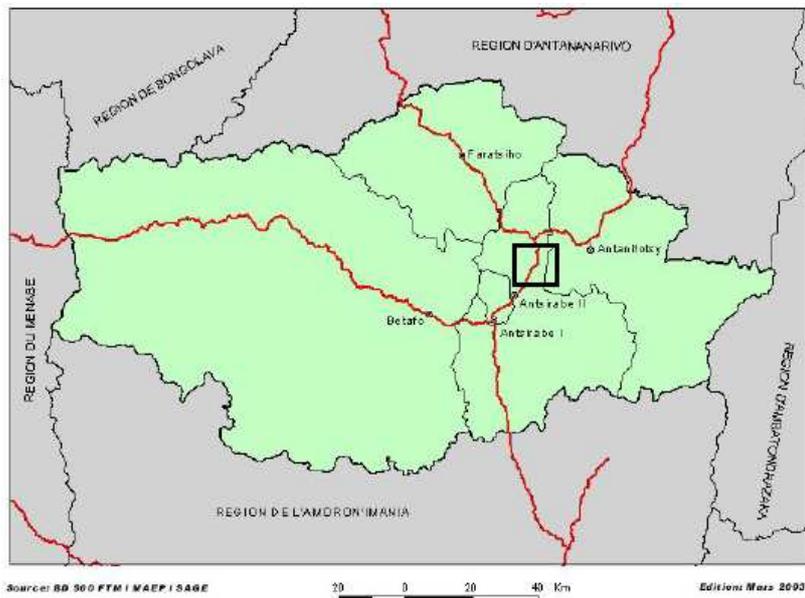


Figure 4 : Localisation de la commune d'Andranomanelatra

Source : Carte du Vakinankaratra. (2003, juin). Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche.

Elle est traversée à l'Est par les Hautes Terres qui culminent à 1800m autour d'Antsirabe. Le relief descend ensuite en pente douce vers l'Ouest (le « Moyen-Ouest »). L'année comprend deux saisons principales : la saison humide et chaude (entre 18 et 20°C en moyenne) et la saison sèche et froide où la température varie entre 0 et 9°C (Ahmin-Richard & Bodoy, 2009). L'altitude élevée entraîne le froid hivernal et des risques de gel. Des périodes prolongées de sécheresse sont fréquentes en cette saison. Les pluies sont abondantes tout au long de la saison humide : l'eau n'est pas un problème pour l'agriculture à Andranomanelatra.

C'est dans cette région que se situe la commune d'Andranomanelatra (figures 3 et 4). Sa superficie est de 164 km² et sa population a dépassé les 36000 habitants en 2007. La commune abrite une grande diversité d'exploitations agricoles : les cultures pratiquées, le type d'exploitation (familiale ou agro-industrielle) et la présence de l'élevage sont autant de facteurs variables d'une exploitation à l'autre.

Les cultures principales (dites « de saison ») ont lieu pendant la saison humide. On y trouve notamment le riz (irrigué et pluvial), le maïs, le haricot, le manioc ... Pendant la période sèche d'autres cultures peuvent être installées sur les mêmes parcelles, en « contre-saison ». Ces cultures peuvent être maraîchères (tomate, petit pois, pomme de terre) ou fourragères. La production de biomasse est cependant limitée en cette période par les basses températures (Rakotofiringa & Tokarski, 2007).

Le climat et la fertilité des sols rendent la région favorable aux élevages bovin et porcin ainsi qu'aux cultures maraîchères et aux vergers. La proximité avec la ville d'Antsirabe, l'existence d'infrastructures routières et la présence d'industries (STAR⁸, SOCOLAIT⁹) constituent une source importante d'emplois et de débouchés agricoles.

b. Les exploitations agricoles familiales à Andranomanelatra

Deux grands types d'exploitations cohabitent à Andranomanelatra : les exploitations agro-industrielles et les exploitations familiales. Les premières suivent une logique « industrielle » : l'ensemble de la main d'œuvre y est salariée et le chef d'exploitation n'en est pas toujours le propriétaire. Les secondes ont pour objectif de subvenir aux besoins de la famille, qui fournit une partie ou l'essentiel de la main d'œuvre. L'ensemble des moyens de production appartient au chef de famille. Dans ces exploitations le revenu agricole ne suffit pas toujours : en 2007, 17 exploitations sur les 43 enquêtées dépendaient d'un revenu « Off-Farm » pour plus de la moitié du revenu total (Rakotofiringa & Tokarski, 2007).

Deux stratégies complémentaires sont utilisées par les exploitations familiales de la zone :

- assurer la production de cultures d'autoconsommation, notamment grâce au riz et à la pomme de terre ;
- diversifier les revenus et sécuriser le capital, par exemple grâce à l'élevage laitier ou les cultures maraîchères.

La commune a une ancienne tradition laitière. 30% des exploitants sont éleveurs, la taille du troupeau variant entre une et trois vaches laitières (Randriamarotiana Seth, com. pers). De par son besoin en fourrage et la fertilisation organique qu'il permet, l'élevage bovin structure fortement les systèmes de production. L'élevage a également une incidence économique importante : il permet une sécurisation du capital, voire un revenu régulier s'il est laitier. Un zébu est enfin un gain social à ne pas négliger.

Andranomanelatra est un cas particulier de l'agriculture malgache avec 50% des surfaces agricoles cultivées en riz pluvial (Rakotofiringa & Tokarski, 2007). Cette caractéristique est à mettre en relation avec le faible nombre de rizières présentes.

⁸ STAR : Société Tananarivienne de Réfrigération, spécialisée dans les boissons

⁹ SOCOLAIT : entreprise agro-alimentaire spécialisée dans les produits laitiers

Les systèmes et rotations pratiqués sont variables d'un exploitant à l'autre. Les rotations les plus fréquentes sont les suivantes :

- Riz pluvial / Maïs + haricot¹⁰ ;
- Riz pluvial / Maïs + haricot (+soja) ;
- Pomme de terre / Riz pluvial / Pomme de terre / Maïs + haricot ;
- Jachère longue / Patate douce / Maïs+haricot.

Depuis quelques années de nouveaux systèmes de culture sont diffusés par des organismes de recherche et de conseil, notamment afin de résoudre les problèmes d'érosion et de fertilité. Il s'agit de systèmes avec semis direct sous couvert végétal.

c. Les systèmes avec semis direct sous couvert végétal

Le semis direct sous couvert végétal (SCV) s'inspire du fonctionnement d'un écosystème naturel (Seguy *et al.*, 2009). Il repose sur trois grands piliers : une couverture permanente du sol, une diversité des plantes par association ou succession et une forte activité biologique du sol. L'innovation la plus marquante est certainement la suppression du labour, qui permettait l'entretien du sol et la lutte contre les adventices. Ces rôles sont tenus dans le SCV par la couverture végétale, qui est également destinée à protéger le sol de l'érosion.

Les premiers essais de SCV à Madagascar remontent au début des années 1990 et ont eu lieu sur les Hautes Terres, à proximité d'Antsirabe (Randrianarison *et al.*, 2008). Les essais ont ensuite été étendus aux régions du Sud et au Moyen Ouest. Les premières opérations de diffusion datent de 1998, avec des organismes tels que l'ONG TAFA, BRL ou FIFAMANOR (voir encadré 1). En 2000, le Groupement de Semis Direct de Madagascar (GSDM) a été créé afin d'assurer une coordination des actions entreprises en matière de recherche et de diffusion des SCV.

A Andranomanelatra les SCV font l'objet d'une diffusion active par des organismes tels que l'ONG TAFA ou le programme BVPI principalement pour :

- limiter l'érosion sur les terrains en pente ;
- gagner en temps et alléger le calendrier de travail par la suppression du travail du sol qui permet un étalement de la période de semis ;
- soutenir l'élevage laitier par l'intégration de plantes fourragères dans la rotation.

Cette diffusion rencontre des difficultés : les conditions climatiques des Hautes Terres limitent le développement de la biomasse et la couverture du sol devient alors insuffisante pour remplir correctement les fonctions qui lui sont assignées (Razafimandimby *et al.*, 2007 ; Randrianarison *et al.*, 2008).

L'agriculture malgache a besoin d'innovations pour améliorer sa situation, mais elle n'a pas le droit à l'erreur. C'est pourquoi une évaluation de l'impact des innovations avant leur application est essentielle. De telles évaluations existent dans les pays du nord, par exemple en France. Ces méthodes se distinguent les unes des autres par l'échelle qu'elles considèrent, leur objectif,... Par exemple certaines étudient uniquement les impacts environnementaux tandis que d'autres considèrent la durabilité globale des innovations. Évaluer la durabilité permet d'élargir la vision d'un système de culture, par exemple en évaluant à la fois l'impact du système sur l'économie de l'exploitation et sur la conservation de la fertilité du sol.

¹⁰ « / » signifie : d'une année sur l'autre

« + » signifie : cultures en association

« (...) » signifie : culture dérobée

ENCADRÉ 2 : CONTEXTE SCIENTIFIQUE DE L'ÉTUDE

Le projet PEPITE * : Processus Ecologiques et Processus d'Innovation Technique Et Sociale en agriculture de conservation. L'objectif général du projet est de produire des connaissances pour évaluer et concevoir des systèmes techniques durables. La tâche 4, dans laquelle se déroule ce stage, a pour but de mettre au point des méthodes d'évaluation *ex ante*, multicritères et multi-acteurs des performances de systèmes de culture innovants

Le projet DISCOTECH ** : DISpositifs innovants pour la COncption et l'évaluation des systèmes TECHniques. Le projet DISCOTECH avait pour ambition de contribuer au renouvellement des dispositifs pour la conception et l'évaluation de systèmes techniques. C'est lors de ce projet qu'a été mise en place la méthode MASC.

* PEPITES. Programme scientifique et technique Description du projet. 2008, ANR.

** DISCOTECH. Rapport de fin de projet. 2008, ANR.

I.3. L'ÉVALUATION MULTICRITÈRE DE LA DURABILITÉ

a. Comment définir une agriculture durable ?

Le sommet international de Stockholm (1972) marque la première prise de conscience quant à la question environnementale, notamment vis-à-vis de l'épuisement des ressources naturelles. Le concept de développement durable n'émergera qu'avec le rapport « Brundtland » (1987)¹¹. Il y est prôné un partenariat mondial et il a pour ambition une évolution du comportement des acteurs sur les problèmes globaux.

Depuis 1987 de nombreuses définitions du développement durable ont été données. On peut citer celle de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui s'est tenue à Rio en 1992 : un développement durable est un « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins ». Cette définition est suffisamment ouverte pour permettre de multiples interprétations. On peut toutefois retenir quatre grands thèmes pour un développement durable (Zaccai, 2002 ; cité par Kestemont, 2004) :

- la protection de l'environnement ;
- la recherche d'un équilibre entre présent et futur ;
- une vision mondiale ;
- une vision intégrée des composantes du développement (économique, environnementale, sociétale, ...).

L'agriculture durable peut se décliner selon de nombreuses modalités : agriculture biologique, agriculture raisonnée,... Godard et Hubert (2002) distinguent deux composantes :

- « La viabilité ou durabilité autocentrée » : l'agriculture s'auto-entretient elle-même à travers la gestion du sol, des ressources (eau) mais aussi de la filière (approvisionnement en intrants, alimentation du consommateur) ;
- « La contribution de l'agriculture à la durabilité des territoires et des collectivités auxquelles elle appartient » via l'insertion dans l'économie locale et mondiale, la gestion du paysage et la prise en considération de problématiques environnementales mondiales (comme l'effet de serre).

Une agriculture durable serait celle qui assumerait les deux composantes. Cette définition reste vaste et dépend du contexte socio-économique considéré.

b. Principes de l'évaluation de la durabilité

Selon Goulet (2008) une méthode d'évaluation de la durabilité doit être contextuelle, car la durabilité l'est. Définir le contexte de l'évaluation implique de définir les limites géographiques (la zone dans laquelle elle se déroule), les acteurs concernés (agriculteurs, conseillers, chercheurs,...), l'objectif de l'évaluation (pour quoi ?) et son utilisateur final (pour qui ?).

Différents acteurs n'accorderont pas les mêmes priorités aux composantes de la durabilité. A ce sujet, Froger et Oberti (2002) soulignent l'intérêt de la démarche participative : tous les acteurs concernés par la démarche d'évaluation se rassemblent afin de définir la méthode et de la mettre en œuvre. La démarche participative permet notamment une définition consensuelle de la durabilité.

Pour Sadok *et al.* (2008) l'évaluation de la durabilité relève avant tout de la démarche d'aide à la décision multicritère. Ces méthodes permettent en effet de considérer des concepts complexes tout en prenant en compte les points de vue parfois divergents de différents acteurs. La démarche multicritère consiste à décomposer un problème complexe en concepts plus simples. On évalue alors les sous problèmes avant de passer au concept global par agrégation (Bohanec, 2008).

¹¹ « Notre avenir à tous » : publié par Bro Harlem Brundtland, ministre de l'environnement de Norvège et président de la commission mondiale pour l'environnement.

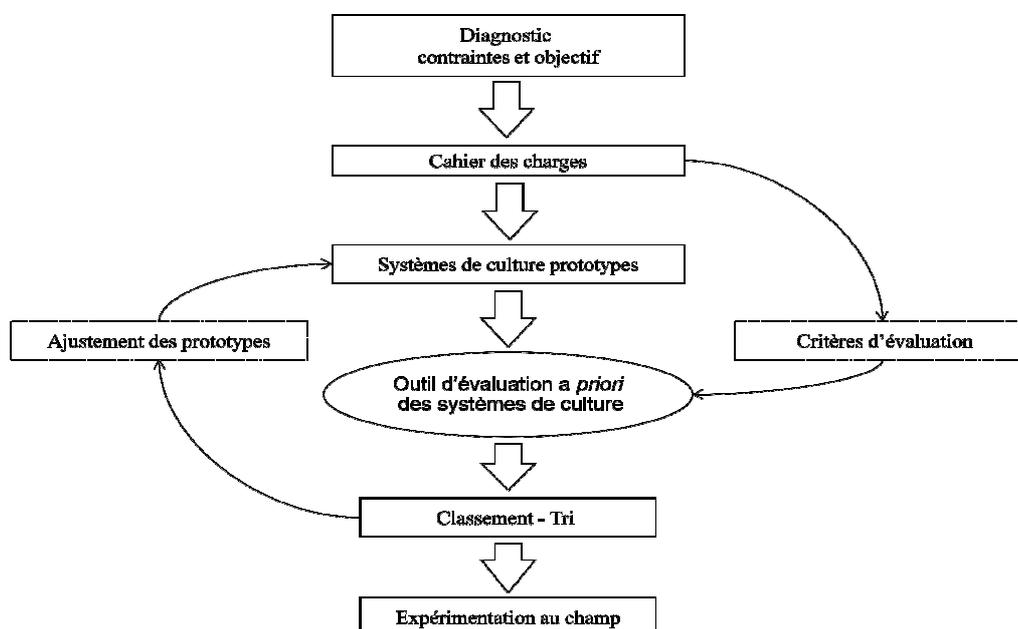


Figure 5 : Démarche de prototypage à dire d'expert, d'après Lançon (2008)

Tableau 1 : récapitulatif des méthodes françaises d'évaluation multicritère

Nom	Échelle spatiale	Domaine évalué	Utilisateurs
IDEA	Exploitation agricole	Pratiques, résultat économique, ...	Exploitants agricoles, étudiants, techniciens,...
DIALECTE	Exploitation agricole	Impact sur l'environnement	Exploitants agricoles, techniciens
INDIGO	Parcelle, exploitation agricole	Impact sur l'environnement	Exploitants agricoles, techniciens, chercheurs
MASC	Système de culture	Durabilité du système de culture (environnement, économie, social)	Conseiller agricole, chercheur

Dans notre cas, il n'y a qu'un nombre fini d'innovations à évaluer. Les méthodes correspondant à cette situation appartiennent, toujours selon Sadok *et al.* (2008), à la famille des MADM (Multi Attributes Decision Methods). Pour être pertinente dans l'évaluation de la durabilité, une MADM doit :

- prendre en compte le caractère multidimensionnel de la durabilité. C'est-à-dire qu'il doit être possible d'agrèger des critères de dimensions différentes, de tenir compte du fait que ces critères ne se compensent pas forcément entre eux et que le classement final ne se fait pas selon un unique critère ;
- fonctionner aussi bien avec des données quantitatives que qualitatives. Dans une évaluation aussi complexe que celle de la durabilité il est courant que des données quantitatives manquent. Il doit alors être possible de les apprécier qualitativement.

Les méthodes basées sur les règles de décision du type « si... alors... » (nommées « Decision rules based methods par Sadok *et al.*, 2009) apparaissent parmi les plus adaptées à l'évaluation de la durabilité. Leur mise en œuvre est aisément compréhensible par tous et permet de prendre en compte les préférences des acteurs. Ces méthodes peuvent fonctionner aussi bien avec des données quantitatives que qualitatives.

L'évaluation peut se dérouler à deux moments : *a posteriori (ex post)* ou *a priori (ex ante)*. Dans le premier cas il s'agit d'évaluer des solutions ou innovations déjà mises en application. Dans le second cas les innovations considérées sont encore à l'état de prototype (voir figure 5). Dans un monde fluctuant économiquement, l'évaluation *a priori* offre plus de réactivité. En revanche, la méthode doit alors tenir compte d'une imprécision sur l'évolution de l'environnement. La figure 5 détaille l'utilisation d'une telle évaluation *a priori* dans un processus de conception et de sélection de systèmes de culture innovants. Dans notre exemple, l'outil permet de trier des prototypes afin de ne garder que les plus pertinents. Ces derniers seront ensuite testés au champ.

c. Exemple de méthodes d'évaluation de la durabilité

De nombreuses méthodes d'évaluation de la durabilité existent à l'heure actuelle. Elles se différencient notamment par l'échelle considérée, les domaines de la durabilité pris en compte ainsi que l'utilisation de données quantitatives ou qualitatives. Dans ce chapitre, nous ne verrons que quatre méthodes françaises appartenant à la famille des MADM : IDEA, DIALECTE, INDIGO et MASC (voir tableau 1 ainsi que les encadrés 3 et 4).

IDEA ; Indicateur de Durabilité des Exploitations Agricoles (Briquel *et al.*, 2001). Cette méthode a été conçue par un groupe pluridisciplinaire d'agronomes, de socio-économistes et d'écologues. C'est avant tout un outil pédagogique qui permet d'aborder les diverses notions en rapport avec le concept de durabilité.

INDIGO : Indicateur de Diagnostic GLObal à la parcelle (Bockstaller et Girardin, 2007). Cet outil a été élaboré par l'INRA de Colmar dans le cadre de l'Unité Mixte de Recherche Agriculture Durable. Il est constitué de plusieurs indicateurs composites correspondant chacun à une activité : protection phytosanitaire, fertilisation,... L'objectif est d'évaluer l'impact sur l'environnement des pratiques agricoles.

DIALECTE : DIAgnostic Liant Environnement et CTE (Peschard *et al.*, 2004). Dialecte est un outil élaboré par l'association Solagro en collaboration avec des chambres d'agriculture. Il a pour objectif d'évaluer l'impact du système d'exploitation sur l'environnement par des indicateurs simples agrégés selon les pratiques de l'agriculteur et les thématiques environnementales.

ENCADRÉ 3 : LE SYSTÈME DE CULTURE

On peut donner la définition suivante d'un système de culture (Sebillotte, 1990) :

« Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de successions, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues. »

Cette échelle permet de réunir des problématiques allant de la parcelle (par exemple la fertilité du sol) à l'exploitation (par exemple le gain économique).

ENCADRÉ 4 : LES INDICATEURS

Selon Bockstaller (2009) : « un indicateur est une mesure alternative lorsque des mesures directes ne sont pas possibles ». L'impossibilité de réaliser des mesures directes peut s'expliquer par différentes raisons : pas de technique existante, coût de la mesure trop élevée, évaluation *a priori*...

Un indicateur renferme deux types d'informations : la valeur objective d'un phénomène (obtenue par une mesure précise, un dire d'expert, ...) et l'appréciation du caractère favorable ou défavorable de cette valeur. D'après Kestemont (2004), un indicateur offre un degré de compréhension supplémentaire par tous les acteurs car il permet de passer d'une information brute (une mesure de taux de nitrate dans les eaux) à une information plus porteuse de sens (« les eaux sont polluées par les nitrates »).

Certains indicateurs donnent des résultats directement qualitatifs (c'est le cas de ceux utilisés dans la méthode INDIGO). D'autres donnent des résultats quantitatifs. Si l'on veut alors obtenir un résultat qualitatif il est nécessaire de discrétiser ces derniers au moyen de classes qualitatives.

MASC : Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping Systems (Sadok *et al.*, 2009). MASC est une méthode d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture innovants, elle a été conçue dans le cadre du projet DISCOTECH (voir encadré 2). MASC considère la durabilité dans sa globalité à travers trois piliers : économique, social et environnemental. MASC offre un cadre global pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures en France. Ce cadre peut ensuite être adapté à des contextes plus précis. Ce fut par exemple le cas pour MASCOF (« Organic Farming ») adapté au cas de l'agriculture biologique française (Craheix, 2009) et celui de MASC Banane appliqué en Guadeloupe (Tirolien, 2009).

I.4. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS DU STAGE

Comme nous l'avons vu précédemment, l'accroissement démographique induit une forte demande alimentaire. Ce même accroissement entraîne une diminution des terres irriguées disponibles pour chaque exploitation. Les tanety deviennent peu à peu les seules terres disponibles pour de nouvelles productions. Cependant, leur mise en culture soulève des difficultés d'ordre écologique (très importante érosion des sols) et agronomique (sols peu fertiles, risque climatique important).

Plusieurs solutions techniques sont envisagées afin de permettre l'essor durable de la culture du riz pluvial. Certaines comme le SCV sont en cours de diffusion dans les Hautes Terres. Toutefois l'agriculture malgache est dans une situation fragile et il est important de pouvoir estimer l'impact potentiel de ces innovations avant d'envisager leur diffusion.

L'équipe SCRiD, issue de la coopération du CIRAD avec le FOFIFA, étudie actuellement toutes ces alternatives. Cette équipe pluridisciplinaire s'intéresse à l'impact des systèmes de culture à plusieurs niveaux, du sol à l'économie de l'exploitation. Il manque à cette équipe un outil permettant de rassembler toutes les dimensions qu'elle étudie afin d'avoir une vision globale de l'impact d'un système de culture sur l'agriculture. L'équipe SCRiD désire donc mettre en place un outil d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture. L'évaluation devra pouvoir se dérouler aussi bien *a priori* qu'*a posteriori*, afin de pouvoir considérer aussi bien des systèmes en cours de diffusion que des systèmes à l'état de prototype. L'objectif final est d'obtenir un cadre d'évaluation adaptable à différents contextes malgaches. Ce rapport correspond à la première étape : la mise en place d'une méthode d'évaluation dans le contexte d'Andranomanelatra.

Cet outil devra permettre d'évaluer la durabilité de différents systèmes de cultures innovants afin de pouvoir les comparer. Il devra être possible d'étudier les forces et les faiblesses de chaque système, ce qui permettra ensuite de discuter des marges de manœuvre pour les améliorer ou d'accompagner leur diffusion. Étant donné le nombre important d'acteurs impliqués dans cette diffusion (chercheurs, techniciens, ONG, agriculteurs) l'outil devra représenter une base commune de discussion. Ces caractéristiques se retrouvent dans la méthode d'évaluation multicritère MASC, et c'est pourquoi nous avons choisi de nous inspirer de cet outil ainsi que de la démarche qui a présidé à sa mise en place.

La région d'Andranomanelatra est bien connue des experts. En outre, les systèmes expérimentaux de SCRiD assureront un minimum de données disponibles. Ces deux caractéristiques rendent la région intéressante pour une première mise au point du modèle. C'est pourquoi la première version sera adaptée aux systèmes de culture à base de riz pluvial dans la commune d'Andranomanelatra.

La suite de ce rapport détaille MASC et sa démarche de conception. Nous verrons quelles adaptations de la démarche ont dû être réalisées dans notre cas. L'outil final sera ensuite présenté, ainsi qu'une première évaluation des systèmes expérimentaux de l'équipe SCRiD à Andranomanelatra. Nous discuterons enfin de la pertinence de la démarche, de l'outil ainsi que des améliorations pouvant encore être apportées.

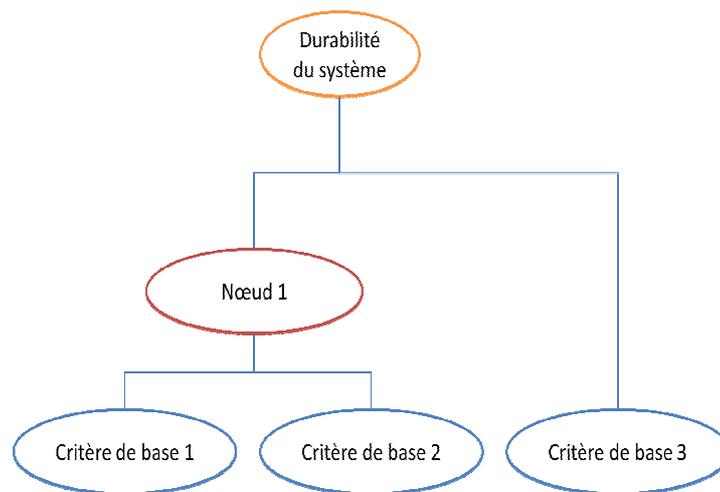


Figure 6 : Schéma d'un arbre d'agrégation

II. MATÉRIEL ET MÉTHODE

II.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE MASC (SADOK *ET AL.*, 2009 ; ANGEVIN *ET AL.*, 2008)

MASC est une méthode d'évaluation des systèmes de culture innovants. Elle a pour particularités d'être conçue pour l'évaluation *a priori* et d'être entièrement qualitative.

MASC se base sur la décomposition de la durabilité en un arbre (figure 6). A la racine se trouve le concept évalué (la durabilité). Il se décompose étape par étape jusqu'à des « feuilles » : les critères de base. La décomposition doit être suffisamment poussée pour que les critères de base soient aisément évaluable. En revanche, il ne faut pas aller trop loin, notamment dans un souci de compréhension du modèle (Bergez *et al.*, 2010). Dans la première version de MASC, l'arbre réunit 52 critères dont 31 de base (voir annexe 1). En fonction du contexte où le modèle est utilisé, certains critères devront être modifiés, voir enlevés et d'autres rajoutés.

Chaque critère a une importance dans l'évaluation, c'est pourquoi on parle d'agrégation plutôt que de hiérarchisation. Cette importance peut se représenter par un poids (ou pondération). La version de base de MASC, établie pour les systèmes de grandes cultures en France, fournit des pondérations pour chaque agrégation. Une partie est fixée car ce sont des critères ne dépendant pas du contexte. D'autres sont modifiables afin de pouvoir adapter l'outil à un contexte précis. Par exemple les pondérations des critères « rentabilité », « autonomie économique » et « besoin en matériel » sont respectivement de 40%, 40% et 20% dans la version de base. Le manuel précise que ces poids peuvent être adaptés au contexte en respectant un seuil minimum de 20% pour la rentabilité et l'autonomie (Angevin *et al.*, 2008).

Chaque critère de base est évalué via un indicateur. Certains sont issus de la méthode INDIGO. Dans le cas d'indicateurs quantitatifs, des seuils sont proposés pour passer aux classes qualitatives. De même que pour les pondérations, certains seuils devront être adaptés en fonction du contexte. Par exemple le critère « besoin en investissement » peut être évalué directement par une expertise ou bien en calculant le sur-investissement financier que le système demande par rapport à un système de référence. Pour le second cas, le manuel suggère également des seuils directement utilisables (Angevin *et al.*, 2008) :

- classe « faible » : le surcoût est inférieur à 10% de l'investissement de référence ;
- classe « moyenne » : le surcoût est compris entre 10% et 25% de l'investissement de référence ;
- ...

La méthode MASC a été conçue puis mise en œuvre dans le cadre de démarches participatives. Les différents acteurs concernés par l'évaluation se réunissent pour vérifier la pertinence du modèle vis-à-vis de leur cas précis, pour éventuellement l'adapter et enfin procéder aux évaluations.

Cette méthode offre un cadre général d'évaluation :

- une liste de critères agrégés en un arbre définissant la durabilité dans un contexte général. Cette définition de la durabilité est ensuite rapidement adaptable pour être opérationnelle dans des contextes précis ;
- des méthodes de calcul pour les critères de base qui permettent d'avoir un modèle rapidement opérationnel. elles aussi sont adaptables.

La méthode a ainsi été déclinée avec succès en plusieurs variantes. On peut notamment citer MASCOF (Craheix, 2009) ainsi qu'une variante concernant les bananeraies en Guadeloupe (MASC Banane). Toutefois ce cadre général ne peut être utilisé dans un contexte trop différent du contexte d'origine. L'adaptation du MASC français au cas de l'agriculture des cerrados Brésiliens a été étudiée en 2009. La structure de l'arbre n'était pas adaptée pour les pays du Sud et la méthode a perdu de sa pertinence auprès des acteurs locaux. Le manque de données par rapport au contexte français a également rendu une partie des indicateurs inutilisables sans adaptation, ce qui peut être parfois complexe (Flandin, 2009). C'est pourquoi nous avons décidé de nous inspirer de la démarche de mise en place de MASC en l'appliquant de manière ascendante.

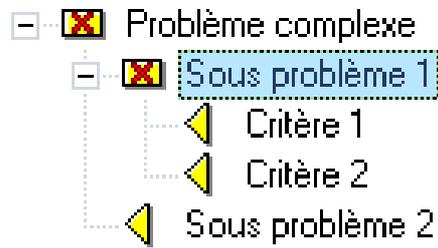


Figure 7 : Exemple d'arbre d'agrégation sous DEXi

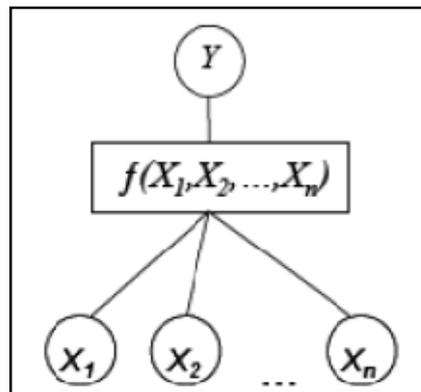


Figure 8 : Structure d'une fonction d'utilité sous DEXi

	X1	X2	Y
1	faible	faible	faible
2	faible	moyen	faible
3	faible	elevé	moyen
4	moyen	faible	faible
5	moyen	moyen	moyen
6	moyen	elevé	elevé
7	elevé	faible	moyen
8	elevé	moyen	elevé
9	elevé	elevé	elevé

Figure 9 : Exemple de table de contingence sous DEXi

Le MASC français s'appuie sur le logiciel DEXi, qui offre la possibilité d'implémenter une méthode d'agrégation multicritère qualitative. DEXi permet d'agréger plusieurs critères en un arbre, les agrégations se faisant selon des règles du type « si... alors... ». Il est possible de décrire plusieurs alternatives et de les comparer sous DEXi. Son fonctionnement « transparent » rend ce logiciel idéal lors d'une démarche participative. Nous détaillerons dans le chapitre suivant le fonctionnement de DEXi.

II.2. LE LOGICIEL DEXi (BOHANEK, 2008)

DEXi est un logiciel d'analyse multicritère d'aide à la décision qui gère des données qualitatives. Les modèles d'évaluation y sont représentés sous la forme d'un arbre de décision (figure 8).

L'arbre est composé de deux types de critères :

- les critères de base ou « feuilles » : ce sont les entrées du modèle ;
- les critères agrégés ou « nœuds » : ils sont obtenus par l'agrégation d'autres attributs.

Un critère ne peut prendre que des valeurs discrètes et qualitatives, réunies en une « échelle ». Un exemple d'échelle serait « Elevé », « Moyen », « Faible ».

Les valeurs des critères agrégés sont calculées par DEXi suivant des « fonctions d'utilités ». Pour chaque critère Y issue de l'agrégation de X1, X2, ..., Xn on définit une fonction d'utilité f (équation 1) :

Équation 1: définition d'une fonction d'utilité sous DEXi

$$f = X_1 . X_2 . \dots . X_n \rightarrow Y$$

Cette équation peut être représentée par une structure hiérarchique, comme le montre la figure 8. Les fonctions d'utilité représentent des règles de décision de type « si ... et si ... alors ... », chaque critère du niveau n étant établi à partir des critères du niveau n-1. Les fonctions d'utilité se renseignent au moyen de tables de contingence (figure 9).

Cette approche permet d'éviter des compensations entre critères, ou au contraire de les autoriser. Ainsi on peut décider que tant qu'un critère sera « mauvais » le résultat de l'agrégation sera « mauvais ». DEXi offre deux possibilités pour définir une fonction d'utilité :

- soit entrer le résultat pour toutes les combinaisons de l'agrégation en remplissant la table de contingence. A partir de ces règles le logiciel calcul les poids de chaque critère dans l'agrégation ;
- soit définir les poids de chaque critère dans l'agrégation. Le logiciel remplit alors lui-même la table de contingence.

Nous avons choisi la seconde méthode : les agrégations sont construites via les poids relatifs des critères déterminés par les critères. La table de contingence n'a été utilisée qu'afin de faire apparaître un critère comme bloquant lorsque cela était nécessaire.

DEXi va donc permettre la construction d'un arbre de manière transparente, ce qui est essentiel dans une démarche participative. Il est ensuite possible de décrire différents systèmes de culture à travers les critères de base de cet arbre. DEXi agrégera les critères, ce qui permettra de comparer les notes de durabilité obtenues par les différents systèmes. Là encore, la transparence de l'arbre permet de comprendre d'où viennent les différences entre les innovations. DEXi permet également l'affichage de graphiques (histogrammes et radar) afin de faciliter la comparaison des alternatives.

Tableau 2 : liste des experts rencontrés

Nom	Organisme	Poste	Groupe
Alain Albrecht	IRD	Pédologue	A
Alain Ramonantsoanirina	SCRiD	Sélectionneur riz au SCRiD	A
Andry Rakotoharivony	BVPI	Responsable volet production agricole	A
Bodo Rabary	SCRiD	Agronome, étudie vie biologique des sols	A
Daniel Randrianarisoa	BVPI	Responsable volet organisation paysanne	A
Eric Denis	BVPI	Directeur de la cellule du projet	A
Eric Penot	SCRiD	Agronome	B
Eric Scopel	SCRiD	Encadrant du stage, Agronome	B
Fidiniaina Ramahandry	SCRiD	Responsable technique au SCRiD	B
Frank enjalric	GSDM / CIRAD	Agronome	B
Jacqueline Rakotoarisoa	SCRiD	Coordinateur SCRiD	B
Jean-Marie Douzet	SCRiD	Agronome	A
Julie Dusserre	SCRiD	Écophysiologiste	B
Krishna Naudin	SCRiD	Agronome	B
Lilia Rabeharisoa	IRD	Chef de laboratoire IRD	B
Louis-Marie Raboin	SCRiD	Sélection variétale du riz	A
Mathilde Sester	SCRiD	Encadrant du stage, Epidémiologiste	B
Olivier Husson	GSDM / CIRAD	Agronome	B
Randriamarotiana Seth	BVPI	Responsable volet élevage	A
Razakamiaramanana	SCRiD	Responsable FOFIFA	B
Richard Randriamanantsoa	SCRiD	Entomologiste	A
Tahina Raharison	BVPI	Responsable volet agroécologie	A
Tendro Radaniela	SCRiD	Thèse sur variétés de riz pluvial	A

II.3. CONSTRUCTION DE L'ARBRE AVEC DES EXPERTS

a. Choix des experts

Les experts consultés connaissent tous la zone étudiée. Ils ont été choisis afin de représenter :

- différents domaines de la durabilité : agronomes, économistes,... ;
- différentes visions de l'agriculture : conseillers, techniciens, chercheurs.

En Guadeloupe, la démarche d'évaluation multicritère a été adaptée afin d'intégrer tous les agriculteurs présents (Blazy *et al.*, 2010). Cette méthode a donné de bons résultats, mais elle nécessite beaucoup de temps. C'est pourquoi dans notre étude il a été décidé de ne pas consulter directement les agriculteurs. De nombreuses études existaient déjà sur la zone d'Andranomanelatra (dont un diagnostic agraire) et de nombreux experts sont familiers des problématiques qu'on y rencontre. Le point de vue des agriculteurs a donc été indirectement pris en compte via ces experts et le diagnostic agraire (Rakotofiringa & Tokarski, 2007).

Les experts ont été divisés en deux groupes, que nous appellerons « A » et « B » (voir tableau 2). L'élaboration de l'arbre s'est basée sur des entretiens individuels, dont l'organisation variait selon le groupe.

b. Réunion de présentation du stage

Tous les intervenants ont été conviés à une première réunion de présentation du stage. La présentation portait sur les principes de l'agrégation multicritère et le modèle MASC, ainsi que le rôle pour lequel les experts allaient être sollicités. Pour des raisons pratiques tous les experts rencontrés lors du stage n'ont pas pu être présents à cette réunion.

c. Démarche générale de conception du modèle

La méthode MASC et ses variantes ont été mises en place et utilisées lors de différentes formes de démarche participative. Ainsi le MASC de base s'est conçu autour d'un noyau de huit chercheurs appartenant à différentes disciplines. La conception de la variante « Agriculture Biologique » s'est appuyée sur deux groupes distincts d'experts (techniciens, conseiller agricoles).

Pour des raisons logistiques il ne nous a pas été possible de mobiliser les acteurs lors de réunions longues et répétées. Nous avons donc décidé de procéder à des entretiens individuels afin de recueillir les différents points de vue sur la durabilité. Des réunions bilan ont ensuite eu lieu pour présenter les points faisant consensus, et ceux nécessitant un débat. Si la « collecte » d'informations s'est faite de manière individuelle, la décision finale a donc été prise collectivement.

Les entretiens avec le groupe A ont permis d'élaborer un premier arbre de la durabilité. Cet arbre a ensuite été confronté aux experts du second groupe. Les modifications qui y ont été apportées ont permis d'aboutir à une seconde version de l'arbre de la durabilité (avec les fonctions d'utilité) qui a été validée avec tous les experts disponibles.

Les experts ont été interrogés sur les points suivants (La teneur exacte des entretiens est détaillée dans le chapitre suivant) :

- au niveau de la décomposition de l'arbre. Quels critères seront pertinents pour évaluer la durabilité à Madagascar ?
- au niveau de la pondération des critères. Quels critères jouent un rôle prépondérant dans l'évaluation ?
- au niveau du choix des indicateurs. Quelles données sont pertinentes et disponibles ?
- au niveau des résultats des indicateurs. Quelles sont les valeurs favorables ou défavorables ?

Les réponses à ces questions varient selon l'acteur interrogé. Nous recherchons un consensus entre des acteurs provenant de différents milieux (conseillers, chercheur,...) afin d'être porteur d'une définition commune de la durabilité. C'est à cette condition que pourra se faire une discussion entre tous (Scopel *et al.*, 2010).

d. **Élaboration de l'arbre avec le groupe A**

Les entretiens individuels suivent le schéma suivant mais évoluent au fur et à mesure de l'avancement de la modélisation :

- Présentation du stage, des principes de l'agrégation multicritère et du contexte de l'étude, afin de rappeler à l'expert l'objectif du stage et le but de l'entretien.
- **Décomposition de la durabilité.** Discussion ouverte avec l'expert afin de recueillir son point de vue sur la durabilité des systèmes de culture. La discussion doit permettre de (i) lister les critères importants à considérer pour évaluer la durabilité de systèmes de cultures et (ii) définir leur ordre d'agrégation afin d'aboutir à un arbre de la durabilité.
- **Confrontation avec l'arbre de la durabilité.** L'arbre du modèle MASC français sert de support pour aborder avec l'expert des critères qui n'ont pas été mentionnés auparavant. Le but est de comprendre si certains thèmes ont été simplement oubliés ou s'ils ne sont pas pertinents dans notre contexte. Lorsque l'ébauche de l'arbre local est suffisamment avancée, elle est également présentée pour être commentée par l'expert.
- **Les règles d'agrégation.** Ce thème a été discuté dès que l'arbre adapté au contexte malgache approchait de sa forme définitive. Le but est d'avoir une idée générale de l'importance des critères les uns par rapport aux autres.

Après chaque entretien, un compte rendu et une synthèse sous forme d'un arbre de la durabilité (vu par l'expert) étaient rédigés. L'arbre de la durabilité malgache s'est élaboré petit à petit, au fil des entretiens :

- en conservant les points qui faisaient consensus d'un expert à l'autre ;
- en mettant en exergue les points qui faisaient débat pour l'entretien avec l'expert suivant.

Une fois tous les experts du groupe A rencontrés, l'arbre obtenu à été présenté à Mathilde Sester et Eric Scopel. Cet arbre a servi de base pour les entretiens avec le groupe B.

e. **Confrontation de l'arbre avec le groupe B**

La confrontation de l'arbre avec le groupe B s'est déroulée encore une fois au fil des entretiens. En plus de la présentation du stage, les deux thèmes suivant étaient abordés :

- **Confrontation avec l'arbre de la durabilité.** L'arbre obtenu avec le groupe A est présenté à l'expert. La discussion qui s'en suit permet de vérifier la pertinence de la structure de l'arbre.
- **Le poids des critères.** L'arbre ayant une forme quasi définitive, il s'agissait de recueillir le point de vue expert quand à la pondération des critères pour définir les fonctions d'agrégation.

L'élaboration de l'arbre s'est faite selon les mêmes principes que pour le groupe A. Le cheminement pour l'agrégation a été différent :

- la synthèse à été réalisée une fois tous les experts rencontrés ;
- les pondérations faisant consensus ont été conservées ;
- celles faisant l'objet d'un désaccord ont été mises de côté pour un débat lors de la réunion de validation.

La synthèse présentée lors de la réunion de validation tient donc compte des points ayant fait consensus entre tous les experts et de ceux nécessitant un arbitrage.

f. Réunion de validation de l'arbre

Tous les experts rencontrés ont été conviés à une ultime réunion de validation. L'objectif était de :

- présenter l'arbre de la durabilité obtenu, et le valider ;
- proposer les règles d'agrégation ayant fait consensus, et les valider ;
- présenter les règles d'agrégation sur lesquelles les avis divergent, en débattre et les valider.

A la suite de cette réunion, l'arbre de la durabilité a été « figé ». Une fois les critères de base fixés, l'étape suivante a consisté en l'élaboration d'indicateurs pouvant les renseigner.

II.4. ÉLABORATION DES INDICATEURS

La première voie utilisée a été la recherche bibliographique. Quelques uns des indicateurs utilisés dans MASC et ses variantes ont été adaptés à notre cas. Olympe (Attonaty *et al.*, 2007), un outil d'évaluation et de simulation économique des exploitations agricoles, a également servi de base pour de nombreux calculs économiques. Olympe a été utilisé plusieurs fois avec succès à Madagascar (Ahmin-Richard & Bodoy, 2009 ; Kasprzyk *et al.*, 2008 ; Rakotofiringa & Tokarski, 2007 ; Terrier, 2008). De nombreuses conventions économiques y sont définies, par exemple la définition des termes économiques comme « Marge brute » ou « charges opérationnelles » (voir partie « résultats »).

Lorsqu'aucune donnée quantitative n'est disponible, l'utilisation du qualitatif permet de considérer directement le point de vue expert. Cependant tous les experts ne seront pas du même avis pour un point donné. Afin de s'éloigner de cette subjectivité, et donc de rendre l'analyse reproductible, nous nous sommes appuyés sur des règles de décisions. Des experts sont interrogés afin d'établir la liste des éléments à prendre en compte dans l'analyse. Puis le résultat de l'interaction entre ces éléments est noté (par exemple : -1 défavorable ; 0 : neutre ; 1 : favorable).

Pour la plupart des indicateurs quantitatifs, les seuils délimitant les classes « faible », « moyen » et « élevé » ont été fixés par rapport à un système de référence en milieu paysan. Dans les autres cas ces seuils ont été fixés par dire expert.

Le système de référence en milieu paysan a été constitué d'après des itinéraires standards, obtenus auprès de BVPI. Il s'agit de la rotation Riz pluvial en première année et de l'association Maïs Haricot en seconde année. L'itinéraire technique précis se trouve dans l'annexe 4 du rapport. Cette rotation a été choisie car c'est la plus fréquente dans la commune d'Andranomanelatra. Elle a été validée lors de la réunion de validation des indicateurs du 27 août 2010.

Les indicateurs ont ensuite été présentés à l'ensemble des experts impliqués dans la démarche. En raison de la disponibilité des personnes conviées, trois réunions ont été organisées les 26 et 27 Août ainsi que le 1^{er} Septembre. Ces réunions avaient pour objectif de faire le point en groupe sur l'état d'avancement des indicateurs. Les indicateurs satisfaisant l'ensemble des experts ont été validés et des propositions d'améliorations ont été faites pour les autres.

II.5. TEST ET VALIDATION DU MODÈLE

Quatre systèmes ont été évalués pour tester la validité du modèle. Il s'agit de systèmes à base de riz pluvial mis en place par l'équipe SCRiD dans le cadre d'un dispositif expérimental pluriannuel. Les essais ont lieu à Andranomanelatra depuis 2003. Le détail des itinéraires techniques est donné dans les annexes 5 et 6.

Ces quatre systèmes consistent en différentes combinaisons de fertilisation et de gestion du sol pour une même rotation :

- La rotation, nommée S1 : Riz pluvial / Maïs + haricot + (avoine)¹² ;
- la fertilisation uniquement organique (Fu) ou organique et minérale (FM) ;
- le travail du sol (labour) ou le semis direct sous couverture végétale (SCV).

Les résultats de l'évaluation ont été présentés à des experts familiers de ces systèmes. C'est par cette confrontation avec le point de vue expert qu'il sera possible de vérifier la cohérence des résultats. La validation recherchée ici n'est donc pas une vérification mathématique ou statistique, mais plutôt une recherche d'incohérences.

¹² « / » signifie : d'une année à l'autre
« () » signifie : en dérobé
« + » signifie : en association

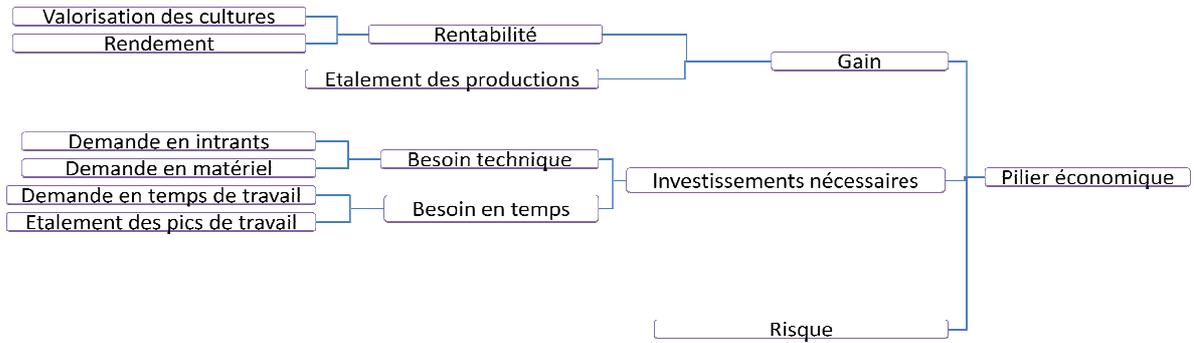


Figure 10 : Le pilier économique élaboré avec le groupe A

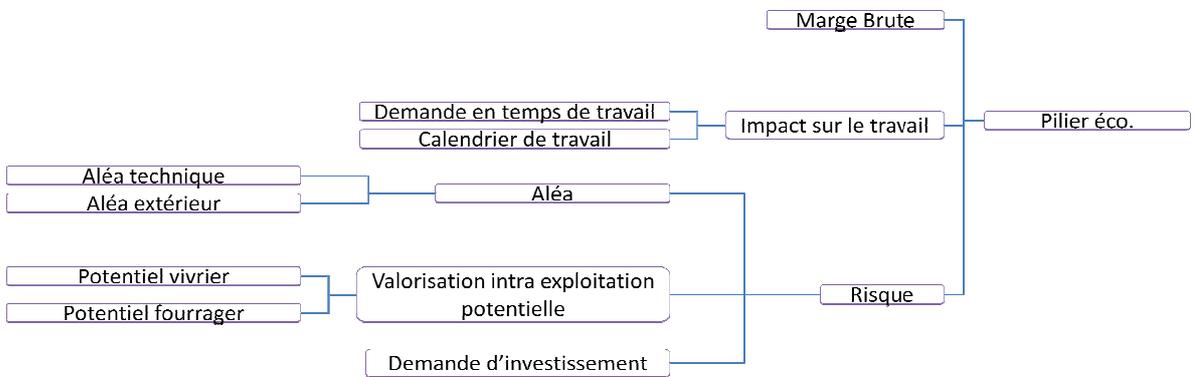


Figure 11 : Le pilier économique élaboré avec le groupe B

III. RÉSULTATS

III.1. CONSTRUCTION DE L'ARBRE DE L'ÉVALUATION

La construction de l'arbre de la durabilité s'est faite de manière progressive, au fil des entretiens. Rapidement, la durabilité globale d'un système a été décomposée en quatre piliers : économique, agronomique, environnemental et social. Ces piliers ont eux même fortement évolué au cours des rencontres avec les experts puis lors des réunions de validation.

a. Les quatre piliers de la durabilité

La durabilité se décompose classiquement en trois piliers : économique, environnemental et social (Goodland, 1995 ; Godard & Hubert, 2002 ; Sadok *et al.*, 2009 ; Angevin *et al.*, 2008). Notre arbre de la durabilité retrouve ces trois piliers avec les significations suivantes :

- **le pilier économique**, qui décrit l'interaction du système avec l'exploitation, son organisation et ses ressources ;
- **le pilier environnemental**, qui décrit les interactions du système avec l'environnement de la parcelle (importante érosion des sols, ou au contraire séquestration du carbone...) ;
- **le pilier social**, qui décrit les interactions du système avec le tissu social.

A ces trois piliers vient s'en ajouter un quatrième : **le pilier agronomique**. Ce pilier décrit l'évolution des ressources au sein de la parcelle et la capacité du système à gérer les contraintes intrinsèques telles que les adventices ou les ravageurs. Ceci constitue l'originalité de notre modèle par rapport à la première version de MASC. On retrouve également cet aspect agronomique dans l'adaptation française de MASC à l'agriculture biologique : MASCOF (Craheix, 2009).

La construction du pilier économique aura été la plus controversée. Nous détaillons sa conception dans les paragraphes suivants.

b. Exemple de conception d'une branche de l'arbre : le pilier économique

Lors des entretiens avec le groupe A, ce pilier a été décomposé en trois thèmes (figures 10 et 11) :

- le gain : l'apport économique permis par le système ;
- le risque que prend l'exploitant en adoptant le système ;
- l'investissement en temps ou en capitaux nécessaire au bon fonctionnement du système.

Caractériser le gain

L'agriculture familiale des Hautes Terres est basée sur des cultures vivrières destinées en priorité à satisfaire l'alimentation de la famille. Les besoins de la vie quotidienne sont assurés par de petites rentrées d'argent (vente d'une partie de la récolte, lait, travail « Off Farm »).

La première version de l'arbre, élaborée avec le groupe A, considérait un gain à la fois en quantité mais aussi de façon temporelle (liées aux dates des rentrées d'argent).

L'aspect quantitatif était décrit à travers deux critères : le rendement et le « potentiel de valorisation des cultures ». Ce dernier prenait en compte les cultures ainsi que les résidus valorisés par une consommation directement au sein de l'exploitation (alimentation, fourrage, chauffage) ou par la vente sur les marchés. Les pailles peuvent également être « immobilisées » sur la parcelle comme couverture du sol : la valorisation en dehors de la parcelle est alors nulle. L'aspect temporel considérait l'étalement des productions dans l'année. Il s'agissait de caractériser la capacité du système à fournir des entrées d'argent réparties sur l'année.

Cette double vision du gain a été remise en question par le groupe B : il est difficile de prédire l'utilisation exacte qui sera faite des produits d'un système de culture. Toute la production sera-t-elle autoconsommée ? Quelle proportion pourra être vendue ? Et quand ? Ces points dépendent des particularités de l'exploitation. Dès lors, il est impossible de juger l'intérêt de critères tels que l'étalement des productions sans entrer dans les détails du fonctionnement de l'exploitation.

Nous nous sommes donc tournés vers une traduction plus globale : la marge brute. L'idée est de quantifier le gain de tous les systèmes de manière unique : ce qui est dépensé et ce qui est gagné. Quelle que soit l'utilisation qui en sera faite, la marge brute caractérise donc une entrée ou une perte d'argent. Cette vision semblait plus proche des objectifs de l'outil qui devait évaluer la durabilité des systèmes de culture indépendamment du type d'exploitation dans lequel ils seront mise en œuvre. Cette approche permet de comparer les systèmes entre eux sans tenir compte des particularités de l'exploitation agricole.

Le « potentiel d'évolution de la marge » a été rajouté aux côtés de la marge brute lors de la réunion de validation. Certains systèmes vont accumuler des gains agronomiques qui se traduisent à long terme par une diminution des intrants et/ou une augmentation des rendements. La marge brute est alors susceptible de s'améliorer au fil des années. D'autres en revanche pourront subir une évolution inverse et la marge brute est alors susceptible de diminuer au fil du temps.

Le risque

Avec le groupe A nous avons tout d'abord considéré que le risque était uniquement d'origine climatique : certains systèmes supportent mieux que d'autres les aléas climatiques (pluies, épisodes de sécheresse). Plus tard dans la démarche, la capacité de l'itinéraire technique à supporter des écarts est apparue comme un élément également important à prendre en compte (par exemple, un retard dans le désherbage va-t-il irrémédiablement entraîner un envahissement par les mauvaises herbes ?).

Le risque a été subdivisé en trois composantes lors des entretiens avec le groupe B : la sensibilité à l'aléa (appelée « aléa » dans notre modèle et dans la suite du texte), l'investissement financier et la valorisation intra-exploitation des cultures.

- « L'aléa » traduit le risque inhérent au fonctionnement du système. Il se décompose en un aléa provenant de l'extérieur du système (aléa climatique) et un aléa inhérent au système (aléa technique). L'aléa technique rassemble la sensibilité de l'itinéraire technique à des écarts (« mauvaises » pratiques) et la variation de prix des cultures qui entrent dans la rotation. Ces deux idées ont d'ailleurs été séparées au cours de la réunion de validation pour plus de lisibilité. La variation de prix des cultures est un aléa important à prendre en compte car les prix sur le marché peuvent varier très fortement entre la date de mise en culture et la date de récolte, mais aussi d'une année à l'autre. Ainsi, certaines cultures peuvent très rapidement perdre de l'intérêt, et présentent en ce sens un risque pour l'exploitant. Certaines cultures seront considérées comme plus « stables » que d'autres, il est donc possible de différencier des systèmes sur cette base.
- L'investissement financier est la seconde composante du risque : plus on investit dans un système et plus les conséquences d'un choc vont être importantes. C'est un critère d'autant plus important à prendre en compte qu'à Madagascar les agriculteurs n'ont généralement pas de trésorerie disponible en début de campagne et parce que l'accès au crédit est très limité. Il a été séparé en deux lors de la réunion de validation : l'investissement maximal (sur une année) et l'investissement moyen sur la rotation.
- La valorisation intra exploitation des cultures va *a contrario* des deux précédents critères. Une exploitation peut trouver de l'indépendance par rapport aux aléas du marché en favorisant les cultures directement utilisables en son sein. Dans ce cas le risque se trouve diminué. Deux types d'utilisation des cultures sont distingués : les cultures vivrières et les fourrages.

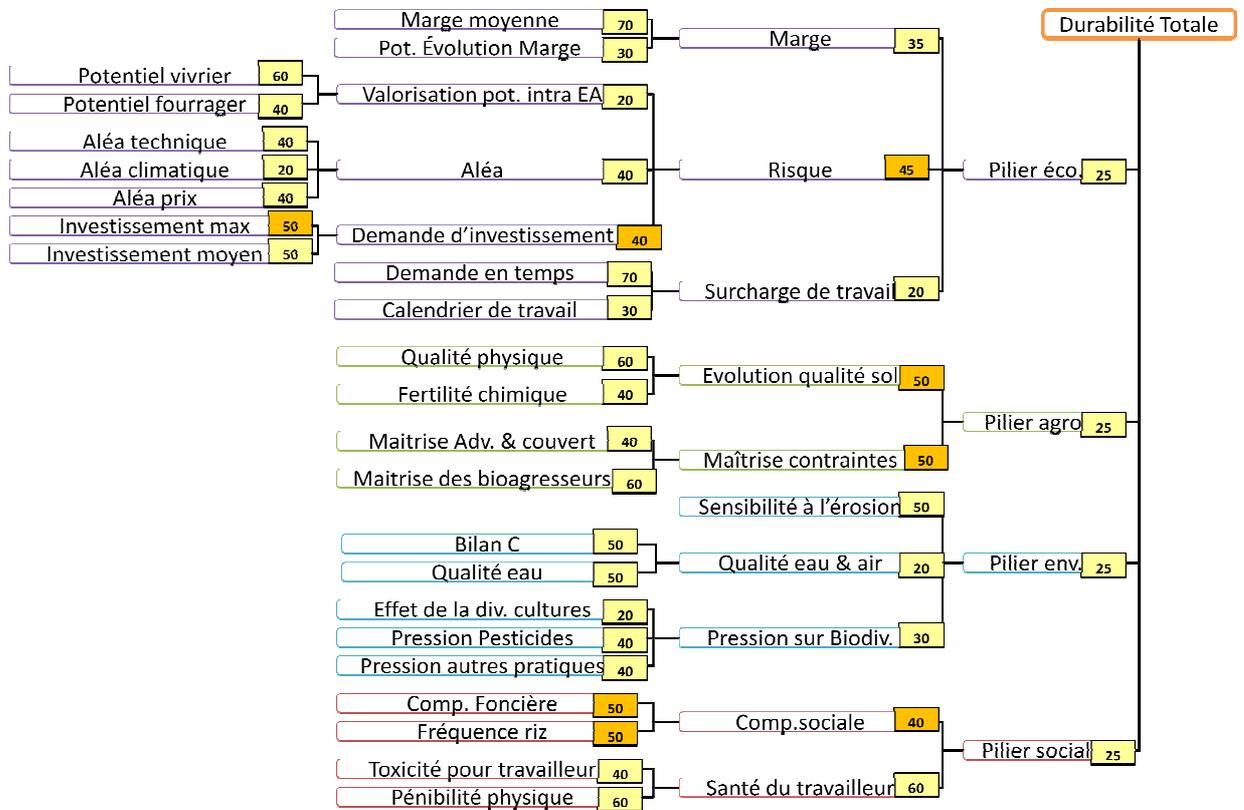


Figure 12 : L'arbre de l'agrégation à Madagascar

L'investissement en temps de travail

Avec le groupe A, l'investissement revêtait à la fois un aspect financier (intrants, matériel) et temporel (présence de pics de travail nécessitant de la main d'œuvre extérieure, par exemple). A la suite des entretiens avec le groupe B, nous avons transféré l'investissement financier dans le risque.

Tout système de culture suppose un investissement en travail. Un système innovant peut alors proposer des temps de travaux « dans la moyenne », plus faibles ou plus élevés. Ce que nous évaluons ici est une surcharge par rapport à des systèmes traditionnels.

Le pilier économique aura été le plus remanié des quatre entre le groupe A et le groupe B. Le pilier social aura lui aussi fait l'objet de nombreuses discussions. Les piliers agronomique et environnemental ont quant à eux très rapidement acquis leur forme finale.

c. L'arbre de l'évaluation

L'arbre de la durabilité que nous avons finalement adopté lors de la réunion de validation est présenté en figure 12. Aux côtés du pilier économique que nous venons de décrire, nous trouvons trois autres piliers :

- Le pilier agronomique qui suit l'évolution des ressources de la parcelle avec le système de culture testé : évolution de la qualité du sol représentée par la qualité physique et la fertilité chimique, ainsi que la maîtrise des contraintes de production (les adventices et les bioagresseurs)
- Le pilier environnemental qui décrit l'impact du système sur l'environnement extérieur à trois niveaux : la protection des sols contre l'érosion, la pression sur la biodiversité (évaluée à travers la diversité des cultures, la présence d'adventices et des pratiques destructrices comme le labour) et l'influence sur la qualité de l'eau et de l'air (stockage/déstockage de carbone).
- Le pilier social qui considère deux aspects : les conséquences du système sur le travailleur (pénibilité physique et toxicité due à l'utilisation de produits chimiques) ainsi que sa compatibilité avec le tissu social dans lequel il s'insère (nécessité de produire du riz et compatibilité avec des modes de gestion foncière tels que la location ou le métayage)

III.2. DÉFINITION DES RÈGLES D'AGRÉGATION

Quatorze experts ont été interrogés sur les règles d'agrégation. Toutes n'ont pas recueilli le même nombre d'avis, pour deux raisons :

- les experts n'étant pas disponibles pour plusieurs entretiens, la construction de l'arbre et des pondérations se déroulaient simultanément. Certaines agrégations sont apparues vers les derniers entretiens et c'est pourquoi tous les experts n'ont pas pu être interrogés à leur sujet ;
- tous les experts ne se sont pas prononcés sur toutes les agrégations, notamment pour celles concernant des domaines éloignés de leur domaine de compétence.

Pour une partie des agrégations, la majorité des points de vue experts se rejoignaient. Dans ce cas, les pondérations et leurs justifications ont été présentées telles quelles à la réunion de validation. Une partie a été directement acceptée. Pour l'autre, les experts sont revenues sur les arguments et les pondérations ont été modifiées puis validées.

L'autre partie des pondérations a fait l'objet d'avis divergents. Les arguments des différents experts ont été rapportés à la réunion de validation afin de débattre en groupe des règles d'agrégation, puis de les valider.

Tableau 3 : liste des indicateurs

Critère de base	Type ind.	Mode de calcul	Seuils
Marge moyenne	Quantitatif	Moyenne des marges brutes sur la rotation	référence paysanne
Potentiel d'évolution de la marge	Dire expert	Analyse experte	dire expert
Calendrier de travail	Dire expert	Évalue la superposition du calendrier du système innovant avec celui d'un système de référence (ici, le riz pluvial)	référence paysanne
Demande en temps	Quantitatif	Moyenne sur la rotation des temps de travaux annuels	référence paysanne
Investissement maximum	Quantitatif	Somme de toutes les charges opérationnelles (sauf main d'œuvre) et de structure. On considère l'année la plus lourde en investissement	référence paysanne
Investissement moyen	Dire expert	Idem "investissement maximum", mais on considère la moyenne sur la rotation des investissements annuels	référence paysanne
Potentiel vivrier	Quantitatif	Proportion de cultures pouvant être utilisée pour l'alimentation	dire expert
Potentiel fourrager	Quantitatif	Proportion de cultures pouvant être utilisées comme fourrage	dire expert
Aléa technique	Dire expert	Règle de décision experte tenant compte de la complexité, de la flexibilité et de la résilience du système	dire expert
Aléa climatique	Dire expert	Règle de décision tenant compte de l'effet tampon du système, de la diversité des cultures et de l'adaptation des cultures au climat	référence paysanne
Aléa prix	Quantitatif	Calcul des plus faibles et plus fortes marges brutes pour chaque année de la rotation	selon la marge brute du système
Maintien fertilité chimique	Dire expert	Règle de décision experte tenant compte des apports (fertilisation et dégradation de la couverture), des prélèvements par les cultures ainsi que des pertes de fertilité dues à l'érosion	dire expert
Maintien qualité physique	Dire expert	Règle de décision experte tenant compte du labour (présence/absence) et des plantes pouvant « travailler le sol efficacement » (système racinaire « puissant »)	dire expert
Maîtrise des adventices & couverts	Dire expert	Règle de décision tenant compte de la lutte chimique ou manuelle contre les adventices, ainsi que de la couverture du sol pendant l'année par les plantes de la rotation	dire expert
Maîtrise des bioagresseurs	Dire expert	Règle de décision tenant compte d'influence des plantes et des pratiques sur les bioagresseurs (favorable / défavorable) ainsi que de la présence d'une lutte chimique.	dire expert

Légende de la colonne « seuils » :

- Dire expert : les classes qualitatives ont été fixées directement par dire expert.
- Référence paysanne : les classes qualitatives ont été fixées par rapport au système de référence. A quelques exceptions près, la classe « faible » correspond à moins de 66% de la référence (c'est-à-dire 1/3 en dessous de la référence) et la classe « élevée » à plus de 133% (1/3 au dessus de la référence).

III.3. CALCUL DES INDICATEURS

Autant que possible, les indicateurs sont basés sur des données quantitatives. L'utilisation de règles de décision basées sur l'expertise n'a eu lieu qu'en dernier recours. Au total, 25 indicateurs ont été mis en place, 14 sont à dire d'expert (tableaux 3 et 4). Nous présentons ici chaque type d'indicateur à l'aide d'un exemple.

a. Indicateurs basés sur des mesures quantitatives : exemple de la marge moyenne

Le critère « marge moyenne » est renseigné par la moyenne des marges brutes sur la rotation. La marge brute annuelle se calcule ainsi (Terrier, 2008) :

$$MB = PB - CO$$

PB est le *produit brut* de l'année. Nous considérons ici des cultures pouvant donner plusieurs produits (le grain de riz et la paille de riz, par exemple). Pour chaque produit i :

$$PB = \sum_i (\text{Prix} * \text{Quantité valorisée})$$

Chaque produit se voit attribuer un *prix* correspondant au prix du marché, ou au coût de production dans les cas où nous n'avons pas pu trouver les prix de vente. Certains systèmes nécessitent qu'une partie ou la totalité des produits reste sur la parcelle. On ne considère dans le produit brut que la *quantité pouvant être valorisée* en dehors de la parcelle.

CO correspond aux *charges opérationnelles* (aussi appelées *consommations intermédiaires*). Les charges opérationnelles rassemblent tout ce qui disparaît dans l'acte de production. La main d'œuvre temporaire y est également prise en compte.

Pour ne pas présager de l'utilisation de la main d'œuvre familiale ou temporaire dans chaque exploitation, le calcul se fait en considérant que tous les travaux sont effectués par une main d'œuvre temporaire.

Les classes qualitatives ont été fixées d'après le système de culture de référence (en annexe 4). La classe « faible » correspond à des marges brutes n'atteignant pas 66% de la référence. La classe « élevée » concerne des marges dépassant la référence de 33%. Ces seuils ont été fixés afin d'introduire un étalement des résultats.

b. Indicateurs basés sur l'expertise : exemple de la maîtrise des bioagresseurs

Lorsqu'aucune donnée n'est disponible, des règles de décision expertes ont été mises en place. Nous présentons ici l'indicateur « maîtrise des bioagresseurs ».

Cet indicateur considère les couples bioagresseur / culture. Pour chaque couple, une note de maîtrise du bioagresseur est attribuée. Cette note varie de 0 (pas de maîtrise) à 2 (la plus forte maîtrise possible). Nous donnons ici le cas du couple pyriculariose / riz. Les critères considérés sont :

- Le type de fertilisation (organique, minérale ou aucune). La vulnérabilité de la plante est effectivement accentuée par la fertilisation, notamment azotée (Toky *et al.*, 2010).
- Le type de système de culture (labour ou SCV) qui modifie le niveau de maladie d'après les résultats des essais en station (Sester *et al.*, 2010).

D'autres critères pourraient pris en compte, comme la résistance génétique de la variété employée. Afin de ne pas complexifier l'étude, les résultats sont donnés pour une variété « moyenne » en termes de résistance (tableau 5).

Tableau 4 : liste des indicateurs (suite)

Critère de base	Type d'indicateur	Mode de calcul	Seuils
Pénibilité physique	Quantitatif	Une note de pénibilité est associée par dire expert à chaque pratique. On somme ces notes sur la rotation	référence paysanne
Toxicité pour travailleur	Quantitatif	Une note de toxicité est attribuée à chaque pesticide par dire expert. On somme ces notes sur la rotation	référence paysanne
Compatibilité foncière	Quantitatif	Pourcentage des agriculteurs pouvant potentiellement bénéficier des gains du système. Si le système amène uniquement des gains à court terme, l'indicateur vaut 100 %. Si le système amène des gains à long terme, l'indicateur est égal à la proportion d'agriculteur propriétaires de leurs terres	dire expert
Fréquence du riz	Quantitatif	Fréquence du riz dans la rotation	dire expert
Effet de la diversité des cultures	Dire expert	Nombre de cultures différentes dans la rotation	référence paysanne
Pression due aux pesticides	Quantitatif	Pour chaque pesticide une note de toxicité sur l'environnement est donnée par dire expert. On somme ces notes sur la rotation	dire expert
Pression due aux autres pratiques	Quantitatif	Pour chaque pratique une note de destruction sur l'environnement est attribuée par dire expert. On somme ces notes sur la rotation.	référence paysanne
Effet sur la qualité de l'eau	Quantitatif	On note chaque pesticide du moins toxique au plus toxique. On somme ces notes sur la rotation	dire expert
Bilan C	Dire expert	Règle de décision tenant compte de pratiques stockant ou déstockant du carbone (labour, ...)	dire expert
Sensibilité à l'érosion	Dire expert	Règle de décision tenant compte du labour (présence / absence) et du taux de couverture du sol	dire expert

Tableau 5 : règle de détermination de la maîtrise de la pyriculariose

	Pas de fertilisation	Fertilisation organique	Fertilisation minérale
Labour	2	1	0
SCV	2	2	1

Les seuils ont été placés à dire expert : 0 pour la classe « pas de maîtrise de la pyriculariose dans ce système », 1 pour la classe « intermédiaire », 2 pour la classe « le système peut maîtriser les épidémies de pyriculariose » (Sester, com. pers.).

Une règle semblable existe pour la maîtrise des vers blancs (annexe 7). La note de maîtrise du système correspond à la plus faible des notes obtenues pour chaque coupe bioagresseur / culture.

III.4. PREMIÈRES UTILISATIONS

a. Comportement des indicateurs

Marge Brute

Pour cet indicateur les classes « faible », « moyenne » et « élevé » sont attribuées par rapport au système de référence en milieu paysan (figure 13). Tous les systèmes expérimentaux obtiennent la note « faible », ce qui signifie que la rémunération qu'ils permettent est inférieure d'au moins 33% à celle de la référence. Ce résultat est dû aux caractéristiques du milieu expérimental contrôlé : pour maîtriser certaines conditions expérimentales, les cultures sont soumises à des interventions multiples se traduisant par des temps de travaux élevés et l'utilisation d'une grande quantité d'intrants. Il en serait probablement autrement si ces mêmes systèmes étaient évalués en milieu réel d'application.

Maîtrise des bioagresseurs

Pour cet indicateur (figure 14), les classes sont attribuées à dire expert. La maîtrise des bioagresseurs dans le cas de la référence est « faible » : l'absence de lutte chimique empêche un véritable contrôle. Dans le cas des systèmes en milieu expérimental, l'emploi de pesticides amène une note de maîtrise « élevée », excepté dans le cas du labour avec fertilisation minérale qui favorise nettement la pyriculariose pour laquelle aucun moyen de lutte chimique n'est disponible

b. Comportement de l'agrégation

Les résultats de l'agrégation sont présentés dans les figures 15 et 16. Les systèmes étudiés montrent des variations en fonction des modes de gestion du sol (avec ou sans labour) ainsi que du type de fertilisation. Le détail des résultats est donné dans l'annexe 8.

Pilier économique

La majorité des indicateurs de ce pilier est basée sur une comparaison au système de référence. Ainsi, la référence obtient une note moyenne tandis que les autres systèmes sont « faibles ». Là encore on retrouve les conditions particulières à l'expérimentation en station : les temps de travaux importants et la grande quantité d'intrants utilisée abaissent la marge, augmentent le risque (notamment financier) et amènent une demande en temps de travail importante.

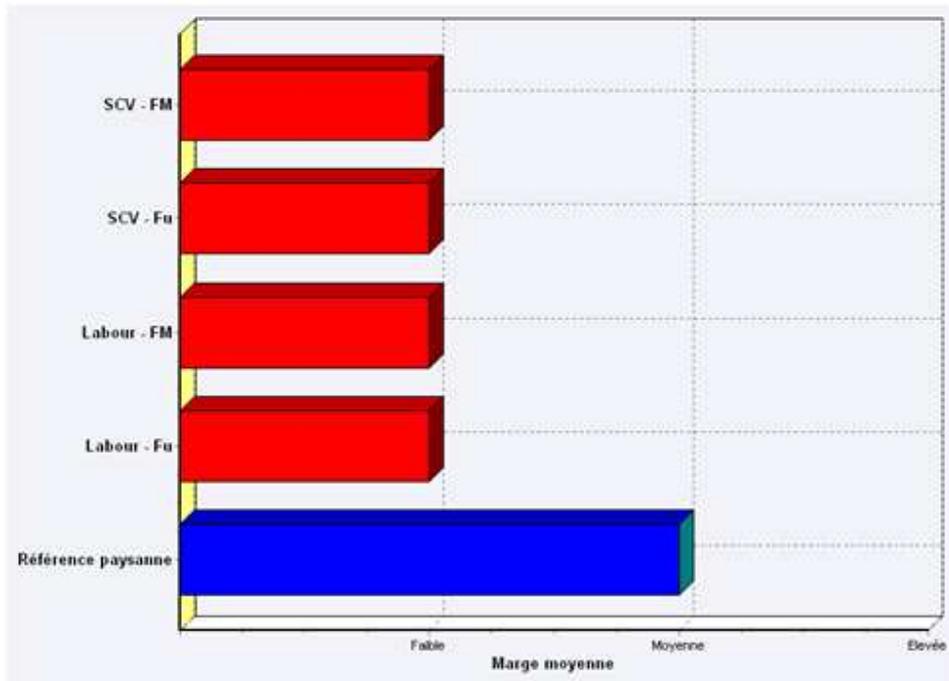


Figure 13 : Résultats de l'indicateur "Marge moyenne" (capture d'écran DEXi)

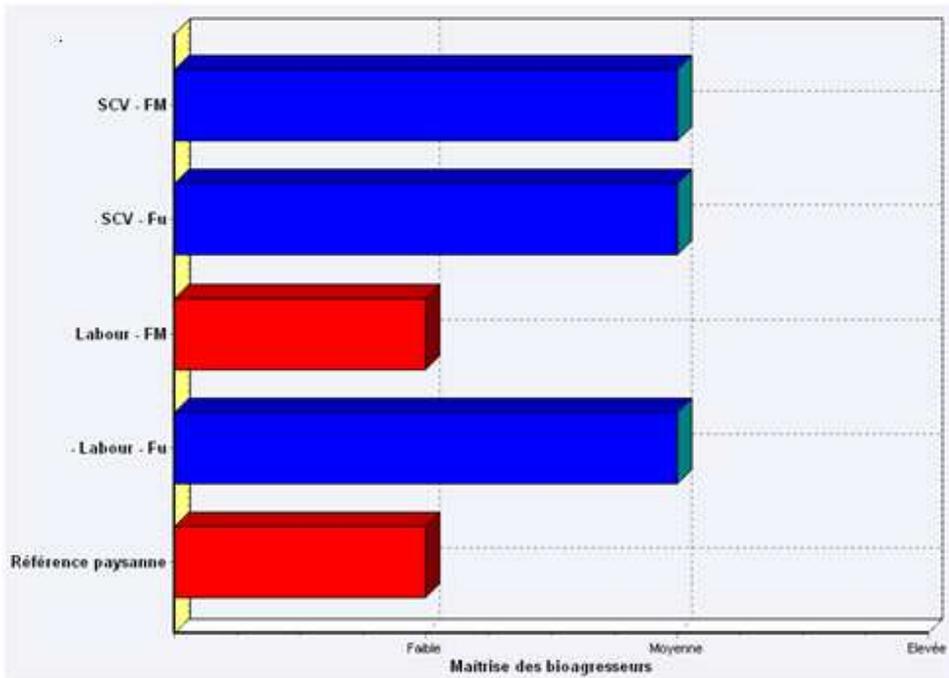


Figure 14 : Résultats de l'indicateur "Maîtrise des bioagresseurs " (capture d'écran DEXi)

Pilier agronomique

Tous les indicateurs de ce pilier se basent sur le dire expert pour classer les systèmes entre eux. Le système de référence est le plus faible : l'agriculture paysanne manque de moyens pour renouveler correctement la fertilité chimique du sol et maîtriser les adventices et bioagresseurs. Les systèmes avec labour sont tous deux classés « moyens », mais pour des raisons opposées :

- Le labour avec fertilisation organique parvient à maîtriser correctement les adventices et les bioagresseurs grâce à l'emploi de pesticides. En revanche, le renouvellement de la fertilité du sol est insuffisant.
- Le labour avec fertilisation minérale améliore la fertilité du sol et donc sa qualité. Il s'accompagne en revanche d'une diminution de la maîtrise des bioagresseurs.

Les deux systèmes avec semis direct obtiennent tous deux la note « élevé ». Ces deux systèmes permettent la maîtrise à l'identique des bioagresseurs et adventices, notamment grâce à l'emploi de pesticides. En revanche, on observe à nouveau des différences au niveau de la gestion du sol :

- Le SCV avec fertilisation organique ne produit pas suffisamment de biomasse pour couvrir correctement le sol : le renouvellement de la fertilité est tout juste assuré.
- Le SCV avec fertilisation minérale produit une biomasse suffisante : cette fois la qualité du sol va en s'améliorant.

Pilier environnemental

La majorité des indicateurs de ce pilier se basent sur le dire expert. Le système de référence est classé « moyen » : il est très extensif et a donc peu d'effet sur la qualité de l'eau, de l'air ainsi que sur la biodiversité. En revanche le labour le rend très sensible à l'érosion.

Les systèmes expérimentaux avec labour appartiennent à la classe « faible ». L'utilisation importante de produits chimiques accroît la pression sur l'eau, l'air et la biodiversité, tandis que le labour rend le système très sensible à l'érosion.

Concernant le SCV, la note est moyenne. L'impact sur l'environnement est globalement le même qu'en labour, mais la couverture du sol permet de diminuer la sensibilité à l'érosion et d'améliorer le stockage de carbone dans le sol lorsqu'elle est enfouie.

Pilier social

Pour ce pilier, la majorité des indicateurs est basée sur le dire expert. Le système de référence obtient la note « élevé » : c'est le plus compatible de tous avec les modes de vie paysan, ce qui est logique. Les autres systèmes sont classés « faibles ». Là encore, c'est principalement l'excès de temps de travail et la grande quantité d'intrants chimiques qui rendent ces systèmes pénibles physiquement et toxiques pour la santé humaine.

La première version du modèle a été testée sur les systèmes expérimentaux de l'équipe SCRiD à Andranomanelatra. L'objectif était d'étudier le comportement des indicateurs et de l'agrégation afin de repérer d'éventuelles incohérences avec le point de vue des experts.

Les systèmes évalués ne sont en aucun cas destinés à être diffusés en l'état aux agriculteurs. Ils permettent à l'équipe SCRiD d'étudier l'impact des SCV sur différentes variables, telles que le bilan hydrique ou le rendement. Pour contrôler les autres conditions expérimentales, les cultures sont l'objet de multiples interventions et de beaucoup d'attention, ce qui se traduit dans notre évaluation par un « gain » agronomique. Les temps de travaux élevés et l'importante quantité d'intrants utilisée expliquent le peu d'intérêt économique et social de ces systèmes. L'emploi de produits chimiques a également des conséquences négatives sur la conservation de la biodiversité ainsi que sur la qualité de l'eau. Seuls les systèmes sous semis direct compensent ces « pertes » environnementales par une réduction de la sensibilité à l'érosion et un accroissement du stockage de carbone.

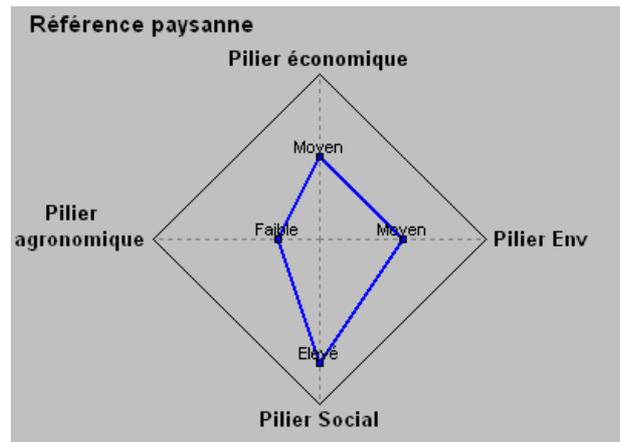


Figure 15 : Résultat de l'évaluation du système de référence (capture d'écran DEXi)

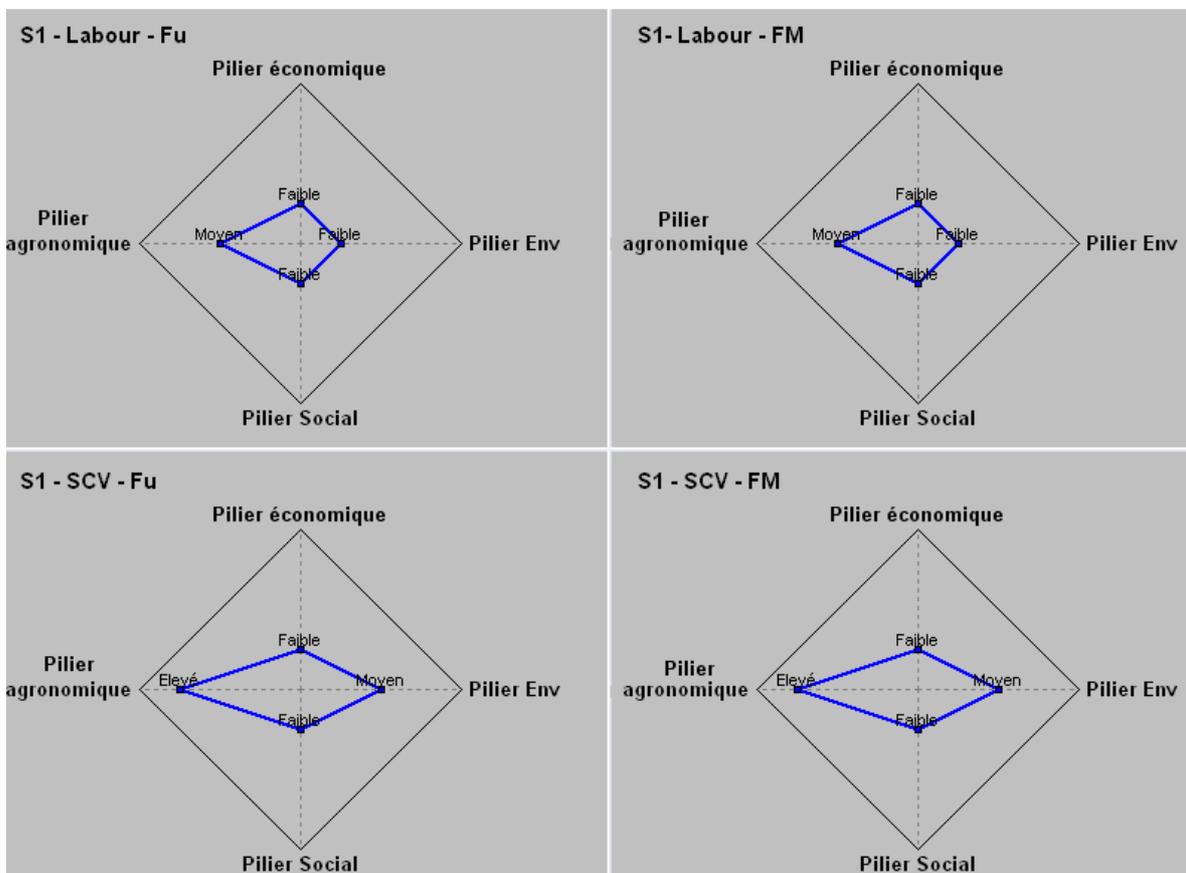


Figure 16 : Résultats de l'évaluation des systèmes SCRiD (capture d'écran DEXi)

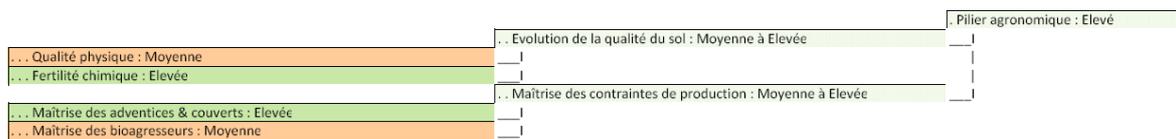


Figure 17 : Pilier agronomique de l'évaluation du système "SCV - Fu"

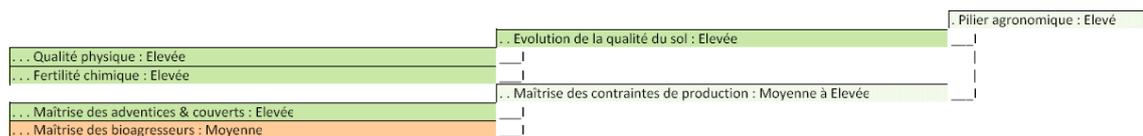


Figure 18 : Pilier agronomique de l'évaluation du système "SCV - FM"

IV. DISCUSSION

IV.1. ANALYSE CRITIQUE DE L'OUTIL

a. L'arbre et l'agrégation

La comparaison des différents systèmes de culture montre que le résultat de l'agrégation varie nettement pour des systèmes très différents les uns des autres. Par exemple, le pilier agronomique distingue bien les systèmes avec labour des systèmes SCV. Cependant, l'agrégation dissocie peu les uns des autres des systèmes dont la rupture est moins marquée. Ainsi la fertilisation minérale n'a introduit une différence agronomique qu'aux premiers niveaux de l'arbre d'agrégation, pour le critère « qualité physique ». Cette différence a ensuite été gommée dans les dernières agrégations (figures 17 et 18). Ce résultat a été constaté lors d'utilisations de MASC, par exemple dans l'Eure (Lagaise, 2008) ou pour un modèle similaire adapté à la protection intégrée (Lô-Pelzer *et al.*, 2010).

L'arbre d'agrégation que nous avons obtenu présente un déséquilibre entre ses quatre piliers, avec un pilier économique rassemblant 11 des 25 critères de base. L'analyse de sensibilité de MASC a montré que ce déséquilibre jouait sur la sensibilité du modèle : pour deux critères de même niveau dans deux piliers différents, le critère situé dans le pilier le plus vaste aura moins d'importance pour l'agrégation finale. (Bergez *et al.*, 2010). Si des ajustements sont faits dans le pilier économique, ils devront donc être suffisamment importants pour avoir des répercussions sur le comportement de l'agrégation.

Les seuils jouent un rôle important dans la sensibilité du modèle puisqu'ils permettent de déceler une différence entre deux valeurs quantitatives, ou au contraire de masquer cette différence. Par manque de référence bibliographique la plupart des seuils ont été fixés à dire d'expert, souvent sur la base de 33% (1/3) de la référence. Cette approche a permis de classer la majeure partie des indicateurs économiques des systèmes évalués comme « faibles » par rapport à la référence. Étant donné le peu de rentabilité de ces systèmes, ce classement a satisfait tous les experts. En revanche, des systèmes très proches de la référence risquent d'être tous notés « moyens ». Modifier les seuils permettrait de faire la distinction entre ces systèmes, à condition que cette distinction ait une signification réelle.

L'arbre du modèle MASC (annexe 1) reproduit la situation inverse : le pilier agro-environnemental rassemble l'essentiel des critères. Nous pouvons tenter d'expliquer cette différence en considérant les groupes de conception des deux modèles. Le modèle français a été mis au point par huit chercheurs, principalement agronomes et écologues, tandis que nous avons consulté un panel d'experts représentant une plus large gamme de disciplines. Il est probable que les techniciens et conseillers dans un pays en voie de développement soient plus sensibles aux règles sociales et aux nécessités économiques qui régissent les exploitations agricoles, ce qui expliquerait l'orientation de notre arbre. Les concepteurs de MASC (Sadok *et al.*, 2009) mettent justement en garde contre les groupes d'experts trop peu diversifiés pouvant conduire à un déséquilibre de l'arbre vers les disciplines les plus représentées, ce qui peut être risqué dans l'évaluation d'un concept aussi subjectif que la durabilité. Les travaux menés actuellement pour l'établissement d'une nouvelle version du modèle MASC visent à résoudre ce problème (Angevin, *comm. pers.*).

b. Avantages et inconvénients des indicateurs établis à dire expert

L'évaluation de la durabilité aborde de nombreux domaines et les données quantitatives peuvent manquer, ce qui peut être dû à l'absence d'études réalisées ou à la nature *ex ante* de l'évaluation. L'évaluation multicritère qualitative permet en partie de compenser ce manque d'informations, notamment par la formalisation du dire expert. Toutefois, la connaissance experte n'est pas exhaustive, ce qui nous a conduits à simplifier certains indicateurs. Par exemple, pour le critère « maîtrise des bioagresseurs », la sensibilité du riz à la pyriculariose a été notée pour une variété de résistance « moyenne ».

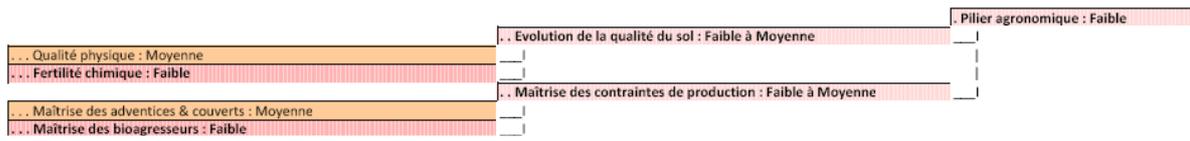


Figure 19 : Pilier agronomique de l'évaluation du système de référence

Nous négligeons donc l'effet variétal et notre évaluation ne peut distinguer un système utilisant une variété de riz « résistante » d'une variété « sensible » à la pyriculariose.

L'analyse experte est également sujette à la subjectivité du discours des acteurs interrogés. Par exemple, pour le critère « potentiel d'évolution de la marge », l'expertise doit directement indiquer si la marge du système va diminuer, augmenter ou être stable au fil des ans. Sur un tel sujet, deux experts peuvent très bien être d'avis différents.

Une grande partie de nos indicateurs sont « à dire d'expert » et donc sujets à la subjectivité voir à un manque de précision. En contrepartie, ils sont aisément compréhensibles et mobilisables par tous les acteurs qui ont participé à leur conception.

La subjectivité contenue dans les indicateurs ainsi que dans l'arbre d'évaluation interdit d'utiliser cet outil pour une évaluation absolue de la durabilité. En revanche, notre modèle reste pertinent pour comparer des systèmes de culture entre eux, puisque tous seront jugés avec la même subjectivité.

La sensibilité du modèle impose de tester des innovations en rupture forte avec le système de référence afin de pouvoir les distinguer au niveau de leur durabilité. En outre, le déséquilibre entre les piliers de l'arbre rend l'agrégation plus sensible aux innovations agronomiques, environnementales et sociales. Des systèmes innovants dans ces trois domaines donneront très probablement des résultats plus intéressants lors de l'évaluation que des innovations purement économiques.

c. Utilisations possibles de l'outil d'évaluation

Lors de la présentation de l'adaptation de MASC au cas de l'Eure (Lagaise *et al.*, 2010), il a été souligné la possibilité qu'offrait l'outil de sortir du classement « bonnes pratiques » / « mauvaises pratiques » pour la durabilité. Par exemple, pour la comparaison désherbage mécanique / désherbage chimique, les aspects de toxicité des pesticides pour le milieu ne sont pas les seuls pris en compte, on peut citer (entre autres) le nombre de passages qui se traduit en temps de travaux et en consommation de carburants. Cet outil peut ainsi montrer la complexité des impacts de changements de pratiques mais également servir de base commune de discussion autour des systèmes et de leur rôle ou pour la création de nouveaux systèmes innovants (B. Omon, 2010¹³). Tout l'intérêt de la démarche apparaît effectivement lorsque l'on entre dans la comparaison entre systèmes afin de détailler les forces et les faiblesses de chacun. Il est alors possible de déterminer dans quel cadre un système de culture peut être utilisé ou avec quel accompagnement il doit être diffusé. Par exemple, notre modèle notera toujours les systèmes en labour comme sensibles à l'érosion. Ces systèmes doivent donc être mis en œuvre dans des zones peu soumises aux contraintes érosives (sols plats) ou bien être accompagnés de la construction de terrasses.

A partir de l'évaluation d'un système, il est également possible de considérer les marges de manœuvre existantes pour son amélioration. Considérons le pilier agronomique de l'évaluation du système « référence paysanne » (figure 19). Ce pilier est classé « faible », le système de culture en milieu paysan peut donc être fortement amélioré du point de vue agronomique. En détaillant l'évaluation, nous pouvons constater que les points « faibles » de ce système résident dans le renouvellement de la fertilité du sol ainsi que dans la maîtrise des bioagresseurs. Sur cette base, nous pouvons engager une discussion avec les experts afin d'envisager plusieurs solutions et tester leur répercussion sur les autres domaines de la durabilité. Il est possible, par exemple, de tester des systèmes ayant recours à des fertilisants et des pesticides. Le modèle permet en effet d'évaluer les conséquences de chaque combinaison de pratiques depuis la pratique paysanne actuelle jusqu'aux systèmes intensifs testés dans le dispositif de recherche. L'évaluation de ces derniers se traduit principalement par des conséquences économiques importantes (figure 16).

¹³ Lors du séminaire annuel du projet PEPITES

Tableau 6 : principales améliorations pouvant être apportées aux indicateurs

Critère de base	proposition d'amélioration
Marge moyenne	Compléter les données de temps de travaux en milieu paysan
Potentiel d'évolution de la marge	Utiliser le calcul actuel de l'indicateur "aléa prix"
Calendrier de travail	Compléter les données de temps de travaux en milieu paysan
Demande en temps	Compléter les données de temps de travaux en milieu paysan
Aléa prix	Considérer séparément les variations des prix de vente et d'achats sur une période donnée (par exemple entre 2007 et 2010)
Maintien qualité physique	Augmenter le nombre de paramètres (par exemple introduire les "différentes cultures de la rotation"). Décomposer le calcul selon un arbre d'agrégation afin de rendre l'indicateur plus lisible
Maitrise des adventices & couverts	Décomposer le calcul selon un arbre d'agrégation afin de rendre l'indicateur plus lisible
Pénibilité physique	Revoir les notes de pénibilité, par exemple en enquêtant auprès d'agriculteurs

Comme nous l'avons souligné dans la première partie de ce rapport, la méthode d'évaluation que nous avons mise en place est contextuelle. Il s'agit d'un cadre pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture basés sur le riz pluvial. Ce cadre est destiné aux petites exploitations familiales dont les cultures sont essentiellement vivrières. Une partie de ce cadre peut être considérée comme « fixe », c'est-à-dire qu'elle n'a pas à être adaptée au contexte, l'autre a été conçue spécialement pour le contexte d'Andranomanelatra. On peut citer deux exemples :

- La règle d'agrégation entre « marge », « surcharge de travail » et « risque ». L'agriculture malgache familiale est orientée pour minimiser le risque. La pondération de ce critère n'aura donc pas à être modifiée dans le cas d'un passage à une autre région agricole.
- La règle d'agrégation entre « aléa », « demande d'investissement » et « valorisation potentielle intra-exploitation ». L'investissement est considéré comme particulièrement bloquant à Andranomanelatra, c'est pourquoi ce critère a un poids important dans l'agrégation. Cette agrégation sera probablement modifiée dans le cas d'une adaptation à une région où les exploitations agricoles sont moins contraintes financièrement.

L'adaptation du modèle à une autre région se répercutera donc sur une partie des pondérations ainsi que sur certains indicateurs. Par exemple, certaines régions sont en proie au Striga, qui devra alors être pris en compte par le critère « maîtrise des bioagresseurs ».

d. Les améliorations qui peuvent être apportées à la première version de l'outil

L'outil que nous avons développé est un premier travail qui a permis de mobiliser les acteurs et de les inciter à réfléchir à la démarche d'agrégation multicritère. Toutefois, certains points peuvent encore être améliorés pour augmenter la qualité de l'évaluation.

La première amélioration à apporter concerne les indicateurs (voir tableau 6). Leur mise en place aura été l'étape la plus longue du stage, notamment à cause de l'absence de données exploitables ou de la difficulté de les rassembler. Par exemple, le détail des temps de travaux en milieu paysan dans la commune d'Andranomanelatra n'est pas encore complet. Plusieurs enquêtes ont eu lieu dans la commune, dont un diagnostic agraire (Rakotofiringa & Tokarski, 2007) mais seules des données agrégées ont pu être trouvées. Une nouvelle enquête en milieu paysan dans la commune devrait être réalisée spécifiquement pour renseigner le modèle.

Le calcul de certains indicateurs a été simplifié afin de pouvoir aller jusqu'à une première application de l'outil. C'est le cas dans le pilier agronomique avec, par exemple, le critère « qualité physique du sol ». Dans sa version actuelle, cet indicateur ne tient compte que de deux facteurs : la présence ou l'absence de labour ainsi que la présence ou l'absence de plantes capables de « travailler » efficacement le sol via leur système racinaire. Les experts s'accordent sur le fait qu'il faudrait tenir compte d'autres paramètres tels que l'activité biologique ou le type de fertilisation. Cependant, l'effet de ces phénomènes sur la structure du sol reste encore mal connu et les multiples interactions possibles complexifient l'analyse. Dans de telles situations, un indicateur pourrait être créé à partir d'un nouvel arbre de décision afin de lister les critères agissant sur la « qualité physique du sol », et de décomposer leurs interactions. Ce type d'approche a été utilisé dans MASCOF (Craheix, 2009) pour l'indicateur « évolution de la structure du sol » (voir annexe 9). Il y est tenu compte des différentes cultures de la rotation, du type d'équipement utilisé, de la fréquence des passages en période humide, de la profondeur travaillée ainsi que du type de sol (sol limoneux, argileux,...). Dans notre cas, nous en sommes restés à des modes de calcul « simples » afin de mettre l'accent sur la construction de l'arbre et les pondérations.

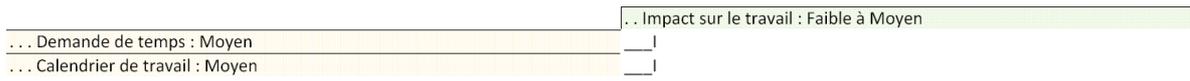


Figure 20 : Agrégation du critère "surcharge de travail"

Code couleur

Vert	Bon
Jaune	Intermédiaire
Rouge	Mauvais

Nous avons fait le choix de définir les règles d'agrégation uniquement en indiquant dans le logiciel DEXi les pondérations, les tables de contingence étaient alors remplies automatiquement. Avec cette solution, certaines agrégations apparaissent incohérentes, voir contraires au résultat attendu par les experts. La figure 20 illustre l'exemple de l'agrégation du critère « surcharge de travail ». Les deux critères de bases sont notés « moyens » et le critère agrégé obtient la note « faible à moyenne ».

Certains experts auraient préféré voir la note « moyenne à élevée », d'autres la note « moyenne » afin de ne pas introduire de nuance dans l'agrégation. Une solution pour éviter ces incohérences est de remplir manuellement les tables de contingence, ce qui assurerait un contrôle total de l'agrégation. Ceci ne peut se faire que lors de réunions avec les experts et non pas lors d'entretiens individuels, mais ces réunions risquent d'être difficiles à organiser car elles demandent beaucoup de temps et abordent un sujet complexe qui demande d'avoir été préparé. Ces réunions n'étaient pas possibles dans le cadre de ce stage pour ces mêmes raisons. En revanche, il peut être intéressant de les organiser dans le cadre du développement futur de l'outil.

La structure de l'arbre pourrait aussi être rediscutée lors de réunions après présentation des résultats des premières simulations. En effet, ces résultats peuvent montrer les éléments qui ont été trop mis en valeur par rapport à la vision des experts ou au contraire ceux qui sont « noyés » dans l'agrégation alors qu'ils sont importants. Dans notre cas, de nombreux entretiens ont fait ressortir l'importance de la production de cultures vivrières et/ou fourragères. Pourtant les critères « potentiel vivrier » et « potentiel fourrager » sont repoussés très loin dans l'agrégation, ce qui amoindrit fortement leur poids dans l'évaluation finale.

La mise en œuvre de l'évaluation est encore lourde, particulièrement l'étape de calcul des indicateurs qui est longue et répétitive. Une interface destinée à simplifier ces calculs permettrait de rendre l'outil plus facile d'utilisation. Des feuilles de calcul Excel ont été utilisées jusqu'à présent mais il leur manque la souplesse d'un programme réellement conçu dans ce but.

IV.2. DISCUSSION SUR LA DÉMARCHE

Cette démarche a été l'occasion de faire la synthèse de nombreuses données qui étaient auparavant éparpillées entre les différents organismes : temps de travaux, itinéraires techniques standards et rendements sont autant d'informations qui sont à présent réunies dans une fiche Excel descriptive servant au calcul des indicateurs.

La comparaison de l'arbre de la durabilité du MASC français avec celui obtenu à Madagascar montre tout l'intérêt d'une démarche ascendante dans le contexte des pays en voie de développement. Une telle différence indique qu'il aurait été quasi impossible d'adapter simplement l'arbre français au cas malgache. Reprendre dans son ensemble la démarche de mise en place de MASC nous a donc permis de concevoir un outil d'évaluation réellement adapté au contexte d'étude. La démarche ascendante avait déjà été conseillée par Marie-Anne Flandin, lors de l'adaptation de MASC au Brésil (Flandin, 2008). Le modèle MASC a été « directement » adapté, avec le concours des acteurs locaux, dans la région des Cerrados brésiliens pour la conception d'une évaluation multicritère des SCV. L'arbre issu de cette démarche descendante est similaire à celui de la version française (Flandin, 2008). La démarche ascendante nous a donc permis de mieux cibler les caractéristiques propres de la durabilité à Madagascar, et donc de rendre notre évaluation pertinente pour ce contexte.

Le partage des experts en deux groupes était destiné à alléger les entretiens. Aborder tous les sujets depuis la décomposition de la durabilité jusqu'aux règles d'agrégation demande trop de temps pour un unique entretien. Notre but était de parvenir à une définition commune de la durabilité au sein du premier groupe, puis de « tester » cette définition avec les experts du second groupe. Au final, la définition obtenue avec le groupe A a été remise en cause sur de nombreux points de détail par le groupe B, mais elle n'a pas été profondément modifiée. Nous avons ainsi bénéficié d'une base solide pour aborder point par point les règles d'agrégation avec le second groupe.

La collecte d'informations s'est faite au niveau individuel plutôt que lors de réunions successives. Cette méthode nous a permis de dépasser des contraintes logistiques : nous désirions interroger un grand nombre d'experts familiers de la zone d'Andranomanelatra afin d'obtenir une vision commune de la durabilité. Les entretiens individuels avaient également pour but « d'alléger » les réunions. En effet, certains avis d'experts se rejoignent et n'ont donc pas besoin d'être discutés en groupe.

Ces « consensus » ont été exposés lors des réunions de validation afin de vérifier que tous les experts étaient bien en accord sur leur présence et n'ont effectivement pas été débattus.

Réunir un large panel d'expert au même moment n'était pas possible pour des raisons de disponibilité. Nous avons donc travaillé sur la base d'entretiens individuels tout en conservant des réunions collectives pour les phases importantes de validation. Les experts présents lors des réunions de restitution ont effectivement insisté sur l'intérêt de l'arbre obtenu qui offre une base commune de discussion. Ce point de vue est ressorti lors d'utilisations du modèle MASC en France. On peut à nouveau citer le cas de l'adaptation de MASC à l'agriculture biologique (Craheix, 2009) ou son utilisation dans l'Eure (Lagaise, 2008).

Il faut également noter que l'arbre que nous avons obtenu n'est pas « La » vision de la durabilité mais une vision parmi d'autres. En effet, une version à trois piliers a été proposée par un expert du groupe B (pilier agro-économique, pilier environnemental et pilier social), mais c'est la vision à quatre piliers qui a réuni l'avis de tous les experts sur une même perception de la durabilité et c'est ce qui fait son intérêt.

Les réunions ont également permis de dépasser la subjectivité inhérente à la sensibilité des acteurs. Par exemple, une partie des experts travaille dans la diffusion de systèmes SCV dont l'une des « vertus » est de favoriser le stockage de carbone dans le sol. On peut donc supposer que ces experts étaient plus sensibles à la problématique du réchauffement climatique qu'à l'impact sur la qualité des eaux. Il est effectivement apparu que ces experts jugeaient intéressant d'évaluer le stockage de carbone par le système ; en revanche, ils considéraient inutile la prise en compte de l'impact sur la qualité des eaux. Les systèmes que nous évaluons sont effectivement peu intensifs et leur influence sur les milieux aquatiques est probablement négligeable (Tahina Raharison, Tendro Radaniela, Eric Denis; com pers). Les discussions lors de la réunion de validation ont permis de montrer que si les systèmes sont extensifs, alors leur impact sur le réchauffement climatique est très probablement du même ordre de grandeur que l'impact sur les eaux. Il apparaît donc un biais inhérent à la composition du groupe. Pour éliminer ce biais, nous pouvions soit intégrer à la fois le stockage de carbone et l'impact sur la qualité de l'eau au modèle, soit n'en considérer aucun des deux. Afin de donner une vision de la durabilité aussi large que possible, c'est le premier choix qui a été fait.

Enfin, intégrer les agriculteurs dans notre démarche aurait posé de réels problèmes logistiques : nécessité d'une formation à la démarche multicritère, au fonctionnement écologique des écosystèmes, aux notions de durabilité, d'indicateurs, ... Pour une première mise en place de l'évaluation, nous avons donc décidé de nous reposer sur les experts participants à cette étude (cf tableau 2) pour représenter le point de vue des paysans. Les agriculteurs ne peuvent cependant pas être totalement remplacés. Dans le cas du critère « pénibilité physique » qui évalue le nombre de travaux physiquement épuisants, les experts présents considéraient le labour comme la tâche la plus physique. Mais, d'après ces mêmes experts, les agriculteurs seraient enclins à considérer le labour moins pénible que d'autres tâches (par exemple, l'arrachage manuel de la couverture végétale). Inclure les agriculteurs dans le futur développement de l'outil serait un point intéressant à considérer malgré les difficultés logistiques.

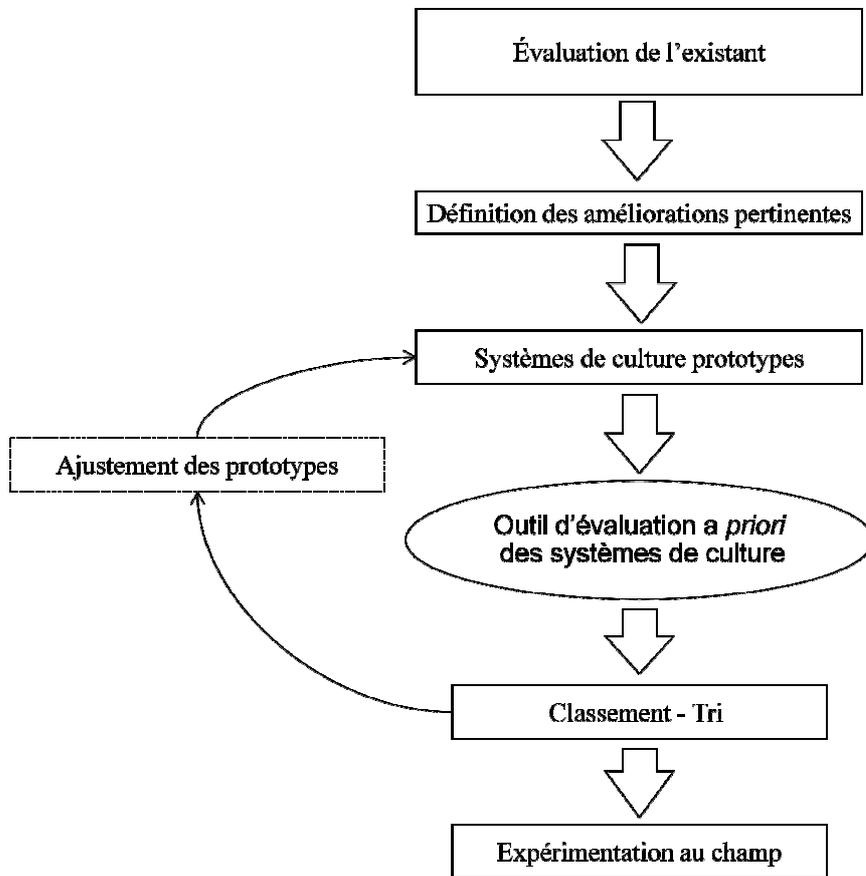


Figure 21 : Proposition d'une démarche de prototypage a partir de l'évaluation de l'existant

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce stage de fin d'études a conduit à la conception d'un modèle d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture en suivant une démarche participative permettant d'impliquer un grand nombre d'acteurs dans la mise en place de l'outil. Cette démarche a ainsi favorisé l'échange et le débat autour du thème de la durabilité, établissant de réelles bases communes quant à la définition de ce concept. L'arbre d'évaluation et les indicateurs qui en ressortent sont donc connus de tous et dès lors aisément manipulables ou modifiables par les acteurs.

L'outil produit est opérationnel et a pu être testé sur des systèmes expérimentaux de l'équipe SCRiD. Ces systèmes destinés à la recherche ne permettent pas de mesurer toute la discussion qui peut avoir lieu autour de la conception et de la diffusion de systèmes de culture innovants. Ils ont néanmoins permis de vérifier que les résultats donnés par l'agrégation étaient cohérents avec le point de vue des experts. Par ailleurs ils ont permis de déterminer que la sensibilité de l'outil impose de tester des systèmes en rupture avec les techniques actuelles.

Cet outil peut être utilisé dans le cadre d'un collectif rassemblant organismes de diffusion, techniciens et chercheurs. En s'appuyant sur l'évaluation de plusieurs systèmes existants, le collectif pourra engager une discussion sur les contextes appropriés à chaque système ainsi que sur les encadrements nécessaires à la diffusion des innovations (aide financière, conseils techniques, ...). Il est également possible d'utiliser l'outil dans le cadre d'une démarche de prototypage (figure 21). L'évaluation de systèmes existants permettra de mettre en avant leurs faiblesses, ce qui pourra servir de base aux experts pour proposer des innovations pertinentes. Différents systèmes de cultures prototypes peuvent ainsi être créés sur la base de ces innovations. Notre modèle offre alors la possibilité d'évaluer ces prototypes afin de considérer l'effet des innovations sur l'ensemble de la durabilité. Les plus prometteurs pourront ensuite être testés au champ afin d'être étudiés plus en profondeur.

Des améliorations peuvent encore être apportées à l'outil. Une partie des indicateurs pourrait être retravaillée afin d'améliorer la qualité de l'évaluation, voir sa sensibilité à certaines techniques innovantes (par exemple : une variété de riz pluvial résistante à la pyriculariose). Les agrégations et la structure de l'arbre pourraient être revues dans les détails afin de gagner en pertinence. Une des forces de l'implémentation sous DEXi est de permettre aisément les modifications, l'étape la plus longue de la démarche est sans doute la définition des indicateurs et la collecte de données correspondantes. Ce constat est commun aux différentes adaptations du modèle MASC et un logiciel est en cours de conception pour y répondre.

La participation d'agriculteurs à la démarche de conception permettrait d'élargir une nouvelle fois la vision de la durabilité. Cela ne pourrait se faire sans formation sur les concepts de base de l'évaluation multicritère, de la durabilité, ... L'outil est actuellement conçu pour la recherche, aussi il pourrait être intéressant de l'adapter afin de le rendre plus accessible pour les agriculteurs ce qui permettrait de recueillir un maximum d'adhésion à la démarche.

Il serait également possible de suivre l'exemple de MASCOF (Craheix, 2009) qui offre aux exploitations agricoles désireuses de se convertir à l'agriculture biologique un outil permettant de tester des innovations dans le contexte de l'exploitation elle-même. L'outil serait alors destiné aux conseillers agricoles et aux organismes de diffusion, afin qu'ils puissent choisir en collaboration avec les agriculteurs les systèmes seraient les plus adaptés à une exploitation donnée. Il serait possible d'envisager que certains indicateurs, comme la pénibilité physique, soient remplis directement par l'analyse experte de l'agriculteur.

Ce stage représente la première étape de la mise en place d'une méthode d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture à Madagascar. Cette première version illustre le fonctionnement de la méthode et pourra servir de base concrète pour impliquer de nouveaux acteurs dans la démarche. L'implication des experts tout le long du stage ainsi que les avis favorables recueillis lors des dernières réunions montrent l'intérêt que suscite une telle démarche d'évaluation.

Les participants ont tout particulièrement manifesté l'envie de poursuivre cette approche. Les développements futurs pourront se faire en impliquant plus fortement les experts dans la conception (définition en détail des règles d'agrégation) ainsi qu'en augmentant le nombre de participants afin d'élargir la vision de la durabilité. L'outil pourra répondre à différents besoins : conseil aux agriculteurs, créations de prototypes innovants de systèmes de culture dans le domaine de la recherche en collaboration avec les experts du terrain ou établissement de cadres pour la diffusion d'innovations par les organismes de diffusion.

BIBLIOGRAPHIE

Ahmin-Richard, A., & Bodoy, A. (2009). Caractérisation des exploitations agricoles et mise en place d'un réseau de fermes de référence dans le Vakinankaratra et l'Amoron'i Mania, Madagascar.

Angevin, F., Bergez, J., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Sadok, W., et al. (2008, Novembre). MASC version 1.0. Un outil pour l'analyse de la durabilité des systèmes de culture. Présentation générale et principes d'utilisation.

Attonaty, J., Deheuvels, O., Le Bars, M., Le Grusse, P., Penot, E., & Snoeck, D. (2007). Olympe. Outil de modélisation et simulation des exploitations agricoles. Manuel d'utilisation. INRA - CIRAD - IAMM.

Aubry, C., Biarnes, A., Maxime, F., & Papy, F. (1998). Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole: la conception de systèmes de culture, 31, 35-43.

Bergez, J., Carpani, M., & Monod, H. (2010). Analyse de sensibilité du modèle MASC - premiers résultats. Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures, Programme et résumés. Paris.

Blazy, J., Ozier-Lafontaine, H., Thomas, A., Meynard, J., & Wery, J. (2010). A method combining simulation models and on farm surveys for ex ante assessment of agro-ecological innovations. Proceedings of Agro2010 the XIth ESA Congress (p. 429 - 430). Montpellier.

Bockstaller, C., Girardin, P., & Van der Werf, H. (1997). Use of Agro-Ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European journal of agronomy*, 7, 261-270.

Bockstaller, C., & Girardin, P. (2003). How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems*, 76, 639-653.

Bockstaller, C., & Girardin, P. (2007). Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO.

Bockstaller, C., Guichard, L., Keichinger, O., Girardin, P., Galan, M., & Gaillard, G. (2009). Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, (29), 223-235.

Bohanec, M. (2008). DEXi : Program for Multi-Attribute Decision Making. Version 3.0 - User's Manual. <http://www.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>, consulté le 20/03/2010.

Briquel, V., Vilain, L., Bourdais, J., Girardin, P., Mouchet, C., & Viaux, P. (2001). La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) : une démarche pédagogique. *Ingénierie*, 25.

Capitaine, M., David, C., & Freycenon, R. (2009). Evaluation et amélioration de la durabilité de l'agriculture biologique : éléments de débats. *Innovations Agronomiques*, (4), 209 - 215.

Craheix, D. (2009). Contribution à la mise au point d'un modèle d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture biologiques : Introduction d'indicateurs relatifs à la qualité de la gestion agronomique (rapport de fin d'étude). Agrocampus Ouest.

Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., & Roger-Estrade, J. (2006). L'agronomie aujourd'hui (Quae.). INRA.

Dounias, I., Aubry, C., & Capillon, A. (2002). Decision-making processes for crop management on African farms. Modelling from a case study of cotton crops in northern Cameroon. *Agricultural Systems*, (73), 233-260

Dzido, J., Vales, M., Rakotoarisoa, J., Chabanne, A., & Ahmadi, N. (2004). Upland rice for the highlands: New varieties and sustainable cropping systems to face food security. Promising prospects for the global challenges of rice production the world will face in the coming years? FAO Rice Conference, Rome.

Lô-Pelzer, E., Bockstaller, C., Lamine, C., Angevin, F., & Messéan, A. (2010). DEXiPM un outil pour l'évaluation des systèmes de cultures répondant aux exigences de la production intégrée. Séminaire MASC : Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures, Grignon.

Flandin, M. (2009). Utilisation du modèle MASC pour l'évaluation de la durabilité de systèmes de culture de petits producteurs de la réforme agraire dans les Cerrados brésiliens (rapport de fin d'étude).

Froger, G., & Oberti, P. (2002). L'aide multicritère à la décision participative : une démarche originale de gouvernance en matière de développement durable. Développement local, développement régional, développement durable : quelles gouvernances ? Toulouse.

Godard, O., & Hubert, B. (2002). Le développement durable et la recherche scientifique à l'INRA. Rapport à Madame la Directrice Générale de l'INRA. INRA.

Goodland, R. (1995). The concept of environmental sustainability. *Annual Review of Ecology*, 26, 1-24.

Goulet, F., Pervanchon, F., Conteau, C., & Cerf, M. (2008). Les agriculteurs innover par eux-mêmes pour leurs systèmes de culture. Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? (educagri).

Kasprzyk, M., Penot, E., & Dugué, P. (2008). Document de travail BV lac n° 10 : diversité des systèmes d'alimentation des troupeaux bovins laitiers à Betafo. Région du Vakinankaratra, Madagascar. AFD.

Kestemont, B. (2004). Critique des conditions de la durabilité : application aux indices de développement durable (DEA). IGEAT - ULB.

Lagaise, B. (2008). Evaluation de la durabilité de systèmes de culture innovants dans l'Eure (rapport de stage M1). INRA.

Lagaise, B., Omon, B., & Reau, R. (2010). Evaluation des systèmes de culture pratiqués par des agriculteurs innovants de l'Eure. Séminaire MASC présenté au Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures, Paris.

Lançon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M., Viaux, P., et al. (2008). Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? (educagri).

Metay, A. (2005). Séquestration de carbone et flux de gaz à effet de serre. Comparaison entre semis direct et système conventionnel dans les cerrados brésiliens. Institut Agronomique National de Paris Grignon.

Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche - Unité de politique de développement durable (2003). Monographie de la région de Vakinankaratra.

Minten, B., & Barrett, C. (2008). Agricultural Technology, Productivity, and Poverty in Madagascar. *World Development*, 36(5), 797 : 822.

Penot, E., Tokarski, Y., Rakotofiringa, A., Bodoy, A., Ahmin-Richard, A., Dabat, M., Raharison, T., et al. (2009). Document de travail BV lac n° 19. Rôle et place du riz pluvial dans les exploitations du Vakinankaratra (Hauts Plateaux et Moyen Ouest). AFD.

Petit, M., & Reau, R. (2010). Utilisation de MASC dans le cadre du RMT systèmes de cultures innovants. Dans programme et résumés. Présenté au Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures, Paris.

Peschard, D., Galan, M., & Boizard, H. (2004). Quel outil pour évaluer l'impact environnemental des pratiques agricoles à l'échelle de l'exploitation? Analyse comparative de 5 méthodes de diagnostic agri-environnemental.

Rakotofiringa, A., & Tokarski, Y. (2007). Caractérisation des exploitations agricoles dans la commune rurale d'Andranomanelatra. Région du Vakinankaratra, hauts plateaux de Madagascar (rapport de fin d'études). INH / ENSAIA.

Rakotofiringa, A., Tokarski, Y., & Penot, E. (2007). Document de travail AFD/BVPI/SCRIF/FOFIFA/TAFA n° 1. Le riz pluvial : quelle opportunité pour les paysans d'une zone péri-urbaine des hauts plateaux de Madagascar ? Exemple de la commune d'Andranomanelatra. AFD.

Randrianarison, N., Penot, E., & Poncet, C. (2008). Document de travail BV lac n° 3. Suivi et analyse des succès et abandons des systèmes à base de semis direct sous couverture végétale (SCV) : mise au point de la méthodologie. Cas du Fokontany D'Antsapanimahazo - Madagascar. AFD.

Razafimandimby, A. J. W., & Razafimandimby, S. (2007). Document de travail BV lac n° 7. Etude des mécanismes d'adoption des SCV : Cas des sites d'Antsapanimahazo, Ampandrotrarana et d'Ivory dans la région du Vakinankaratra. AFD.

Razafimbelo, T. (2005). Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous système en semis direct avec couverture végétale des Hautes Terres Malgaches. École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

Reau, R., Angevin, F., Bergez, J., Blouin, M., Bockstaller, C., Doré, T., Guichard, L., *et al.* (2010). A cropping system design approach based on the use of the MASC multi-criteria assessment model. manuscrit pour *Agricultural Systems*.

Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., *et al.* (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 163–174.

Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., *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, 447–461.

Scopel, E., Flandin, M., Xavier, J., Corbeels, M., Da Silva, F., Affholder, F., Angevin, F., *et al.* (2010). Multicriteria evaluation of direct seeding mulch based cropping systems (DMC) in the context of small scale farmers in the Cerrados Region of Brazil.

Sebillotte, M. (1990). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. Les systèmes de culture, Un point sur.... (INRA., p. 165 : 175).

Seguy, L., Husson, O., Charpentier, H., Bouzinac, S., Michellon, R., Chabanne, A., Boulakia, S., et al. (Octobre 2009). Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. Manuel pratique du semis direct à Madagascar., Principes et intérêts du semis direct (Vol. 1-3, Vol. 1).

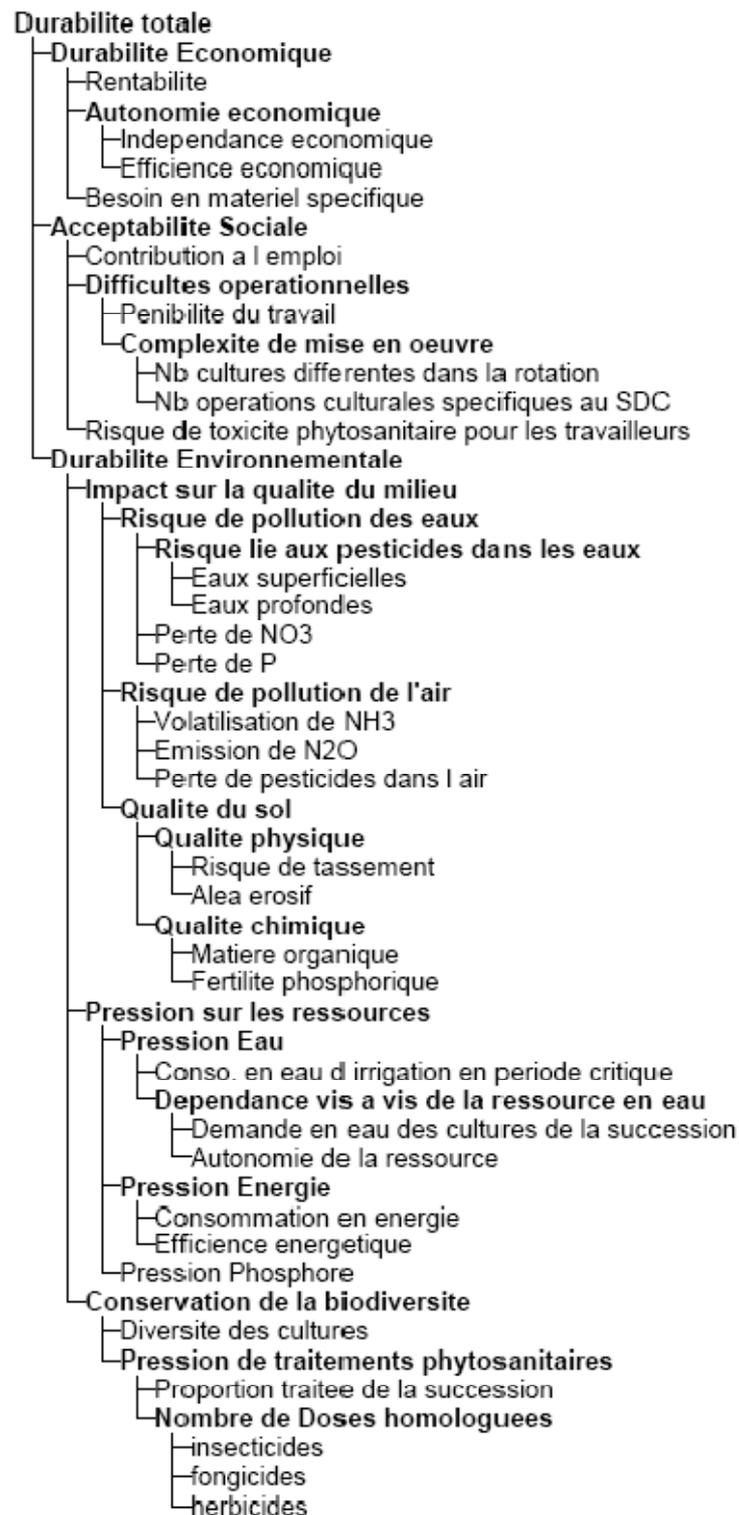
Sester, M., Raveloson, H., Michelon, R., Dusserre, J. and Tharreau, D.(2010). Cropping System to Limit Blast Disease in Upland Rice. 5th international Rice Blast Congress. 12-14 august 2010, Little Rock, USA.

Terrier, M. (2008). Mise en place du réseau de fermes de références dans la zone d'intervention du projet BV/Lac, lac Aloatra, Madagascar. Méthodologie, conventions et règles d'utilisation. AFD.

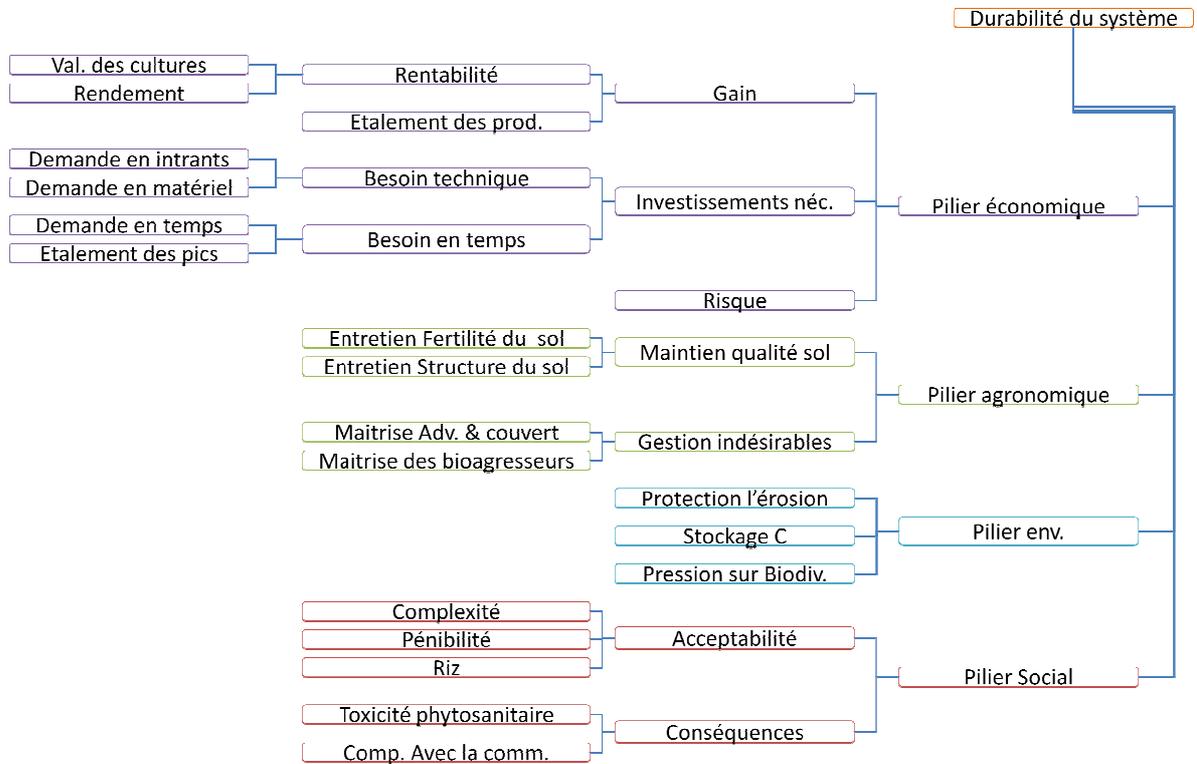
Tirolien, J. (2009). Evaluation multicritères de la durabilité de systèmes de culture bananiers innovants en Guadeloupe : Adaptation et utilisation de l'outil MASC (rapport de fin d'étude). ENITA Clermont-Ferrand.

Toky, R., Sester, M., & Penot, E. (2010). Document de travail BV lac n° 11 : Diagnostic de l'incidence de la pyriculariose du riz pluvial dans la région du Vakinankaratra. AFD.

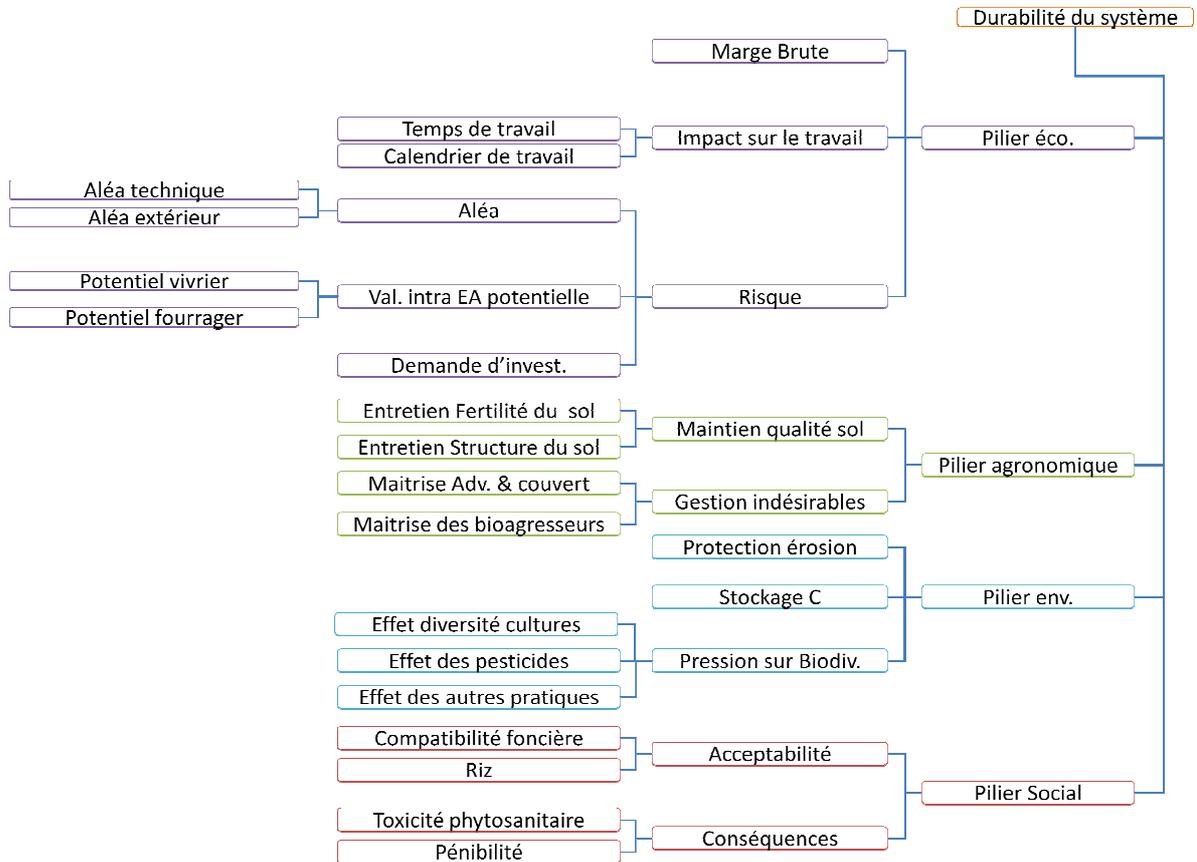
ANNEXE 1 : ARBRE DE LA DURABILITÉ DE MASC



ANNEXE 2 : L'ARBRE DE LA DURABILITÉ ÉLABORÉ AVEC LE GROUPE A



ANNEXE 3 : L'ARBRE DE LA DURABILITÉ ÉLABORÉ AVEC LE GROUPE B



ANNEXE 4 : SYSTÈME DE CULTURE DE RÉFÉRENCE EN MILIEU PAYSAN

Ce système se base sur la rotation **Riz pluvial** en première année, **Maïs** associée avec l'**haricot** en seconde année. Les valeurs sont données à **l'hectare**. Les données sont issues du programme BVPI.

Itinéraire technique de la première année

Opération	Date	Temps de travail en homme jour/ ha
Labour	début Octobre	20
Semis	début Novembre	30
Sarclage 1	début Décembre	30
Sarclage 2	fin Décembre	30
Récolte	début mars	20
Battage	fin mars	5

Itinéraire technique de la seconde année

Opération	Date	Temps de travail en homme jour / ha
Labour	début Octobre	30
Semis	début Novembre	20
Sarclage	début Décembre	30
Récolte haricot	début Décembre	10
Récolte maïs	début Avril	10
Séchage maïs	début Avril	5

Intrants en année 1

Intrants	Quantité
Semences riz	60 Kg
Fumier	2 500 Kg

ANNEXE 4 (SUITE)

Intrants en année 2

Intrants	Quantité
Semences haricot	50 Kg
Semences maïs	20 Kg
Fumier	2 500 Kg

Rendements moyens des cultures

Culture	Rendement Kg / ha
Maïs	1500
Haricot	800
Riz pluvial	1500
Paille de riz	2100
Canne de maïs	2000

ANNEXE 5 : SYSTÈME EXPÉRIMENTAL AVEC LABOUR

Ce système se base sur la rotation **Riz pluvial** en première année, **Maïs** associée avec l'**haricot** et **avoine dérobée** en seconde année. Les valeurs sont données à l'**hectare**. Les données sont issues de l'équipe SCRiD. Les résidus de culture sont exportés.

Itinéraire technique en première année (extrait)

Opération	Date	Temps (h.j/ha)
Labour à l'angady	début Août	100
Émottage	début Octobre	50
Affinage nivellement	début Octobre	20
Traitements semences	début Octobre	40
Semis	fin Octobre	218
...

Itinéraire technique en seconde année (extrait)

Opération	Date	Temps de travaux (h.J/ha)
Labour Angady	fin Octobre	100
Affinage nivellement	fin Octobre	50
Traitements semences	fin Octobre	20
Semis	début Novembre	40
...

Intrants en première année (extrait)

Intrant	Quantité
Semences riz	80 Kg
Gaicho	200 g
Fumier (Fu et FM)	5 000 Kg
Engrais chimique (FM seulement)	300 Kg
Dolomie (FM seulement)	500 Kg

Intrants en seconde année (extrait)

Intrant	Quantité
Semences maïs	30 Kg
Semences haricot	50 Kg
Semences avoine	30 Kg
Fumier	5 000 Kg
Engrais chimique (FM seulement)	300 Kg
Dolomie (FM seulement)	500

ANNEXE 5 (SUITE)

Rendements moyens sur la période 2008 - 2010

Spéculation	Rendement Fu (Kg / ha)	Rendement FM (Kg / ha)
Riz paddy	2 400	2 800
Paille de riz	3 400	5 800
Maïs grains	1 400	3 300
Maïs canne	1 800	4 000
Haricot	200	700
Avoine	30	120

ANNEXE 6 : SYSTÈME EXPÉRIMENTAL SOUS SCV

Ce système se base sur la rotation **Riz pluvial** en première année, **Maïs** associée avec l'**haricot** et **avoine dérobée** en seconde année. Les valeurs sont données à l'**hectare**. Les données sont issues de l'équipe SCRiD. Les résidus de culture participent à la couverture du sol.

Itinéraire technique en première année (extrait)

Opération	Date	Temps de travaux (h.j/ha)
Passage d'herbicide	Septembre	20
Affinage nivellement	début Octobre	20
Traitements semences	début Octobre	40
Semis	fin Octobre	218
Passage d'herbicide	fin Octobre	20
...

Itinéraire technique en seconde année (extrait)

Opération	Date	Temps de travaux (h.J/ha)
Passage d'herbicide	Septembre	20
Affinage nivellement	fin Octobre	50
Traitements semences	fin Octobre	20
Semis	début Novembre	40
Passage d'herbicide	fin Octobre	20
...

Intrants en première année (extrait)

Intrant	Quantité
Semences riz	80 Kg
Gaucho	200 g
Fumier (Fu et FM)	5 000 Kg
Engrais chimique (FM seulement)	300 Kg
Dolomie (FM seulement)	500 Kg
Glyphosate	3 L
Herbextra (2,4 D)	1 L
...	...

ANNEXE 6 (SUITE)

Intrants en seconde année (extrait)

Intrant	Quantité
Semences maïs	30 Kg
Semences haricot	50 Kg
Semences avoine	30 Kg
Fumier	5 000 Kg
Engrais chimique (FM seulement)	300 Kg
Dolomie (FM seulement)	500 Kg
Glyphosate	3 L
Herbextra (2,4 D)	1 L
...	...

Rendements moyens sur la période 2008 - 2010

Spéculation	Rendement FM (Kg / ha)	Rendement Fu (Kg /ha)
Riz paddy	2 400	2 300
Paille de riz	3 300	4 000
Maïs grains	1 300	2 300
Maïs canne	1 700	3 200
Haricot	300	750
Avoine	80	180

ANNEXE 7 : INDICATEUR « MAÎTRISE DES BIOAGRESSEURS », DÉTERMINATION DE LA MAÎTRISE DES VERS BLANCS

Cet indicateur considère cinq facteurs :

- La restitution des résidus de culture qui diminue la présence de vers blancs dans la parcelle. Le mécanisme exact n'est pas encore connu.
- Le type de système de culture (labour ou SCV). La couverture du sol crée un habitat favorable au développement des vers blancs.
- La présence de radis fourrager dans la rotation. Cette culture semble avoir un effet répulsif sur les vers blancs, mais le mécanisme exact n'est pas encore connu.
- L'épandage de fumier non traités. Les fumiers contiennent souvent des œufs de vers blancs et nécessitent donc un traitement pour en être débarrassés.
- L'utilisation de pesticides. Bien que les pesticides n'assurent pas un contrôle total, ils contribuent fortement à la maîtrise des vers blancs. La couverture du sol peut là encore favoriser les vers blancs dans le sens où elle les « protège » des produits chimiques.

Maîtrise des vers blancs avec utilisation de pesticides

	Pas de radis dans la rotation		Radis dans la rotation	
	Fumier non traité	Fumier traité ou pas de fumier	Fumier non traité	Fumier traité ou pas de fumier
SCV (la biomasse est restituée)	1	1	1	1
Labour avec restitution biomasse	2	2	2	2
Labour sans restitution biomasse	2	2	2	2

Maîtrise des vers blancs sans utilisations de pesticides

	Pas de radis dans la rotation		Radis dans la rotation	
	Fumier non traité	Fumier traité ou pas de fumier	Fumier non traité	Fumier traité ou pas de fumier
SCV (la biomasse est restituée)	-1	1	1	1
Labour avec restitution biomasse	1	1	1	1
Labour sans restitution biomasse	-1	-1	1	1

Légende :

- 0 : le système ne maîtrise pas les vers blancs
- 1 : note intermédiaire
- 2 : le système maîtrise les vers blancs

ANNEXE 8 : ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES SYSTÈMES EXPÉRIMENTAUX D'ANDRANOMANELATRA

Attribute	Référence paysanne	Labour - Fu	Labour - FM	SCV - Fu	SCV - FM
Durabilité totale	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Moyen
Pilier économique	Moyen	Faible	Faible	Faible	Faible
Marge	Faible r Moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible
Marge moyenne	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible
Potentiel d'évolution de la marge	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
Risque	Faible r Moyen	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé
Aléa	Faible r Moyen	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé
Aléa technique	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
Aléa climatique	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Moyen
Aléa prix	Faible	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
Valorisation Intra exploitation potentielle	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée
Potentiel vivrier	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
Potentiel fourrager	Moyen	Moyen	Moyen	Faible	Faible
Demande d'investissement	Faible r Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée
Investissement maximum	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
Investissement moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
Impact sur le travail	Faible r Moyen	Elevé	Elevé	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé
Demande de temps	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
Calendrier de travail	Moyen	Elevé	Elevé	Faible	Faible
Pilier agronomique	Faible	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé
Evolution de la qualité du sol	Faible r Moyenne	Faible r Moyenne	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Elevée
Evolution de la qualité physique	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Elevée
Evolution de la fertilité chimique	Faible	Faible	Moyenne	Elevée	Elevée
Maîtrise des contraintes de production	Faible r Moyenne	Moyenne r Elevée	Faible r Moyenne	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée
Maîtrise des adventices & couverts	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée
Maîtrise des bioagresseurs	Faible	Moyenne	Faible	Moyenne	Moyenne
Pilier Environnemental	Moyen	Faible	Faible	Moyen	Moyen
Sensibilité r l'érosion	Elevé	Elevé	Elevé	Moyen	Moyen
Pression sur la biodiversité	Faible r Moyen	Faible r Moyen	Faible r Moyen	Faible r Moyen	Faible r Moyen
Effet positif de la diversité des cultures	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Effet négatif des pesticides	Faible	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé
Effet négatif des autres pratiques	Moyen	Moyen	Moyen	Faible	Faible
Effet sur la qualité de l'eau et de l'air	Faible r Moyen	Moyen r Elevé	Moyen r Elevé	Faible r Moyen	Faible r Moyen
Bilan C	Moyen	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé
Effet sur la qualité de l'eau	Faible	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
Pilier Social	Elevé	Faible	Faible	Faible	Faible
Impact sur la santé du travailleur	Moyenne r Elevée	Faible	Faible	Faible	Faible
Pénibilité physique	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée
Toxicité pour le travailleur	Faible	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée
Compatibilité sociale	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée	Moyenne r Elevée
Compatibilité foncière	Elevée	Elevée	Elevée	Moyenne	Moyenne
Fréquence riz	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne

Légende :

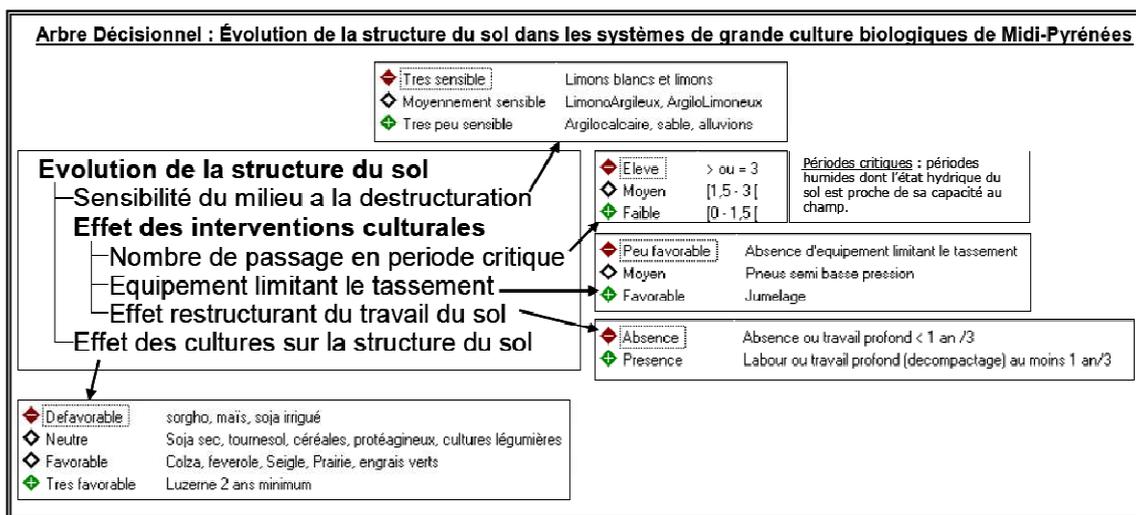
- Fu : fertilisation organique uniquement
- FM : fertilisation organique et minérale

Code couleur

Vert	Bon
Noir	Intermédiaire
Rouge	Mauvais

ANNEXE 9 : INDICATEUR « ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE DU SOL » ISSU DE MASCOF (CRAHEIX, 2009)

Cet indicateur évalue l'impact du système de culture sur l'évolution des qualités physiques du sol via l'effet structural. Nous sommes ici dans le contexte de l'agriculture biologique française, ce qui explique l'importance de la mécanisation (nombre de passage, poids des outils, ...).



Présentation simplifiée du sous modèle DEXi : Evolution de la structure du sol

RESUME

Dans les hauts plateaux malgaches, le climat froid limite fortement les rendements des cultures. Les difficultés économiques des exploitations empêchent le passage à une agriculture plus intensive, aussi la mise en culture des collines non irriguées (tanety) apparaît-elle comme la seule solution viable afin de répondre à la demande alimentaire croissante. L'équipe SCRiD étudie deux innovations destinées à permettre une extension durable de la production de riz sur les tanety : les variétés de riz pluvial adaptées à l'altitude et les systèmes de culture basés sur le semis direct sous couvert végétal. La mise en place d'une méthode d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture permettra à l'équipe SCRiD¹⁴ et aux organismes de diffusion d'évaluer l'impact de ces innovations sur l'agriculture avant de les diffuser auprès des agriculteurs. L'outil conçu lors de ce stage est adapté au cas de la riziculture pluviale dans la commune d'Andranomanelatra (région du Vakinankaratra, hauts plateaux de Madagascar). La démarche suivie s'inspire de celle qui a été utilisée pour la mise au point du modèle français d'évaluation de la durabilité MASC. Elle se base sur la participation de différents experts de l'agriculture (chercheurs, techniciens, conseillers, ...). L'outil final est composé d'un arbre d'agrégation représentant une vision experte et contextuelle de la durabilité. Cet arbre se décompose en quatre piliers : économique, agronomique, environnemental et social. 21 indicateurs ont été mis en place afin de renseigner l'évaluation, 14 sont basés sur le dire expert.. Une première évaluation de la durabilité des systèmes expérimentaux du SCRiD à Andranomanelatra a été menée afin de tester le comportement de l'outil et sa capacité à discriminer des systèmes de culture en fonction de leur durabilité. Le modèle ainsi conçu est une première proposition d'évaluation en riziculture pluviale et pourra être adapté pour être utilisé dans d'autres contextes locaux.

Mots-clés : évaluation de la durabilité, méthode multicritère, système de culture, riz pluvial, Madagascar

ABSTRACT

The "hauts plateaux" area of Madagascar is characterized by a very cold climate which limits rice yields. Because of economical difficulties, growing upland rice in non-irrigated area (tanety) is the only way for farmers to face the increasing food demand. A new generation of upland rice varieties which are cold-tolerant, and direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) are two innovations which could improve rice production on tanety. Both are studied by the SCRiD¹⁴ unit of CIRAD/FOFIFA. An assessment of the impact of these innovations on farming systems before diffusion is needed in order to choose those limiting risks for the farmers. To this aim, a model is developed for the upland rice growing in the region of Andranomanelatra (Vakinankaratra, higlands of Madagascar). The design of this model is based on a participative method associating researchers and others stakeholders (e.g., farmer advisors). The final tool is based on a decision tree which synthesises expert knowledge on sustainability. This tree breaks the sustainability assessment decisional problem down into simpler units as a function of sustainability dimensional structure (economic, agronomic, social and environmental). 21 indicators were chosen in order to run the evaluation, 14 are based on expert decision rules. Sustainability of innovative systems studied by SCRiD unit was evaluated in order to test the consistency of the model. This tool is a first prototype to compare sustainability of upland rice cropping systems. Adaptation to other local contexts could be considered in the future.

Keywords : sustainability assessment, multicriteria method, cropping system, upland rice, Madagascar

¹⁴ Systèmes de culture et rizicultures durables