

Évaluation multicritère et participative de variétés de riz pluvial dans une gamme contrastée d'environnements à Madagascar

Patrice Autfray^(1,2), Hery Zo Nantainena Rakotofiringa⁽³⁾, Philippe Letourmy^(1,2), Kirsten vom Brocke^(4,5)

⁽¹⁾ CIRAD, UR AIDA, F-34398 Montpellier (France). E-mail : autfray@cirad.fr

⁽²⁾ AIDA, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier (France).

⁽³⁾ PLAE, Lot II N 53 AF, 101 Antananarivo (Madagascar).

⁽⁴⁾ CIRAD, UMR AGAP, F-34398 Montpellier (France).

⁽⁵⁾ AGAP, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier (France).

Reçu le 2 avril 2021, accepté le 24 janvier 2022, mis en ligne le 17 février 2022.

Cet article est distribué suivant les termes et les conditions de la licence CC-BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>)

Description du sujet. Pour la zone écologique du Moyen-Ouest des plateaux d'altitude de Madagascar, six variétés de riz pluvial ont été sélectionnées par un programme de recherche.

Objectifs. Il s'agit d'évaluer leur potentiel de diffusion en milieu réel.

Méthode. Elles ont été co-évaluées sur un réseau de 20 fermes de référence pendant deux années.

Résultats. L'expérimentation multi-locale a montré une gamme variée d'environnements indiquée par le rendement grain moyen en riz entre 1,04 à 4,50 t·ha⁻¹, dans laquelle FOFIFA 182 s'est montrée significativement supérieure (2,90 t·ha⁻¹) et SCRID 195 largement inférieure (1,65 t·ha⁻¹), avec un groupe de quatre variétés non différenciées (autour de 2,40 t·ha⁻¹). L'étude de l'interaction génétique-environnement a permis de différencier une variété produisant moins bien en milieu peu fertile, SCRID 90, et une moins stable, SCRID 91. SCRID 195, la variété la moins performante en termes de rendement, s'est montrée également la plus infectée par *Striga asiatica*, une plante hémiparasite. L'évaluation réalisée par les agriculteurs au terme de ces deux années complète celle de la recherche concernant le rendement du riz et le *Striga*, leurs principaux critères de performances des variétés, associés à six autres critères secondaires concernant le battage, la précocité, la résistance à la sécheresse, la qualité de grain, le gout et le poids de grain.

Conclusions. Cette co-évaluation recherche-agriculteurs a permis de définir les variétés les plus performantes en termes de rendement et de contrôle du *Striga*, à savoir NERICA 4 (déjà vulgarisée) et FOFIFA 182 (proposée à la vulgarisation), de préciser l'intérêt de nouvelles variétés pour d'autres critères retenus par les agriculteurs et comme perspectives, la nécessité d'intégrer une approche systèmes de culture et une dimension temporelle, en lien avec la performance du riz pluvial.

Mots-clés. Zone tropicale, recherche, fermes de référence, expérimentation multi-locale, fertilité, *Oryza sativa*, variance génétique, connaissance locale.

Multi-criteria and participatory assessment of upland rice varieties in contrasted farm environments in Madagascar

Description of the subject. For the ecological zone of the mid-western highlands of Madagascar, six upland rice varieties were selected by a research program.

Objectives. The aim was to determine their potential for extension in this area.

Method. The six varieties were co-assessed for two years across a network of 20 reference farms.

Results. The multilocation trials showed a diverse range of environments indicated by the average grain yield in rice, ranging between 1.04 and 4.50 t·ha⁻¹. FOFIFA 182 was significantly superior (2.90 t·ha⁻¹) and SCRID 195 largely inferior (1.65 t·ha⁻¹). In addition, there was a group of four undistinguished varieties (around 2.40 t·ha⁻¹). The study of the genetic-environment interaction made it possible to differentiate a variety that produced a lower yield under low-fertility conditions (SCRID 90) and a less stable one, SCRID 91. SCRID 195, the lowest yielding variety, was also the most infected by *Striga asiatica*, a hemiparasitic plant. The farmers' assessment at the end of the 2-year period was added to the results of the research study on

rice yield and *Striga* constraints, which were their two main criteria for variety performance. The farmers' assessment also reported on six other secondary criteria: threshing, earliness, drought resistance, grain quality, taste and grain weight.

Conclusions. This research-farmer co-assessment made it possible to define the best-performing varieties in terms of yield and *Striga* control, namely NERICA 4 (already in extension) and FOFIFA 182 (proposed for extension). It also identified new varieties of interest, based on other criteria selected by the farmers and highlighted the need for future studies focused on a cropping system approach related to upland rice performance.

Keywords. Tropical area, research, pilot farms, fertility, *Oryza sativa*, genetic variance, local knowledge.

1. INTRODUCTION

La sécurité alimentaire est un enjeu national à Madagascar et la culture du riz fait l'objet d'une priorité dans les politiques publiques de soutien à l'agriculture familiale. Le riz constitue la denrée nationale de base produite principalement en culture inondée. Cependant, on constate une saturation progressive des bas-fonds (Breumier et al., 2018) et pour soutenir la demande croissante en riz, la recherche et ses partenaires de développement sont engagés depuis plus de trente années dans l'extension de sa culture sur le domaine strictement pluvial (Raboin et al., 2013 ; Ozaki & Sakurai, 2020). Avec comme but de développer des variétés adaptées aux contraintes spécifiques de ce domaine pluvial, le FOFIFA (acronyme malgache traduit par Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural) et le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) ont lancé un programme de sélection variétale de riz pluvial spécifique pour la zone écologique d'altitude comprise entre 800 et 1300 m. Les deux principales contraintes de cette zone sont la fertilité du sol, qui est bien moindre dans les plateaux que dans les bas-fonds (Ozaki & Sakurai, 2020) et la présence d'une plante parasite des céréales, *Striga asiatica* (L.) Kuntze, qui fait l'objet d'une attention particulière dans le cadre des recherches menées sur la résistance variétale du riz (Randrianjafizanaka et al., 2018 ; Rodenburg et al., 2020 ; Scott et al., 2020). Les principaux objectifs de ce programme, outre le contrôle de *S. asiatica*, est de veiller à une bonne efficacité de l'utilisation de l'azote (Rakotoson et al., 2017), à la résistance aux maladies comme la pyriculariose (Dusserre et al., 2017) et à la qualité des grains (Raboin et al., 2014). Un de ses points forts est de développer des approches participatives permettant des échanges structurés et permanents entre chercheurs et agriculteurs pour faciliter l'adaptation des variétés au contexte local (vom Brocke et al., 2010). En vue de l'adoption et de la diffusion de nouvelles technologies, l'adaptation aux conditions environnementales et sociales locales est essentielle dans le processus d'innovation (FAO, 2019). La sélection participative met en lumière que les agriculteurs peuvent avoir leurs propres critères de sélection (Abebe et al., 2005). Ces approches

permettent également d'intégrer une approche genre, pouvant être pertinente selon la culture (Achandi et al., 2018). La présente étude s'appuie sur un réseau de fermes de référence, outil d'interface recherche-développement où un partenariat formalisé permet de développer des activités de diagnostic, de conception et d'évaluation de l'innovation (Penot et al., 2016). Le choix des fermes de référence est effectué à partir d'une caractérisation socio-économique des exploitations agricoles à l'échelle d'une région donnée, en lien avec leurs capacités productives. Au niveau de Madagascar, celles-ci montrent une importante disparité au sein de la zone en relation notamment avec leurs tailles, superficies en bas-fonds, poids de l'élevage (Breumier et al., 2018). Il est notamment reconnu que la superficie en culture de riz pluvial est corrélée avec la taille des exploitations (Ozaki & Sakurai, 2020), en lien également avec leur niveau d'intégration agriculture-élevage et la production de fumure organique indispensable à sa culture (Razafimahatratra et al., 2017). Les objectifs sont, grâce à un réseau de fermes de référence, pendant deux saisons de culture :

- d'estimer la stabilité de rendement de six variétés de riz pluvial du programme de sélection sur une large gamme de fertilité ;
- d'explorer leur sensibilité au *S. asiatica* ;
- d'acquérir de nouvelles connaissances sur les besoins et perceptions des agriculteurs, en y intégrant une approche genre.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel génétique

La variété NERICA 4 introduite à Madagascar par la recherche en 2002 (Fofana et al., 2011) et diffusée ensuite dans la région, puis conservée comme parent dans les programmes de sélection, a servi de référence dans les expérimentations. Elle a un cycle cultural de 120 jours bien adapté à cette région du Moyen-Ouest et offre une résistance au *Striga*. Elle a été comparée aux cinq nouvelles lignées de riz pluvial : FOFIFA 182 et 185, respectivement avec des cycles autour de 110 et 120 jours, nouvellement proposées à la diffusion et des lignées SCRID 090 72-3-1-3-5-1, SCRID 091 38-4-3-4-1-1-5, SCRID 195 11-4-1-3-5, avec des cycles

plus tardifs (autour de 130 jours), respectivement dénommées ci-après SCRID 90, SCRID 91, SCRID 195. À part leur cycle, les variétés ont des formes et des tailles de grain différenciées.

2.2. Les sites d'intervention et le dispositif expérimental

Le réseau de fermes de référence de l'équipe de recherche FOFIFA et Cirad pour le Moyen-Ouest de Vakinankaratra est étalé sur environ 40 km le long de l'axe routier de la Route Nationale 34 et se situe sur la gamme d'altitude moyenne comprise entre 800 et 1000 m au niveau du District de Mandoto (**Figure 1**). La pluviométrie moyenne de la région relevée sur le site sur la période 2005-2018 est d'environ 1300 mm avec une température moyenne annuelle autour de 23 °C. Les sols de la région sont considérés comme ferrallitiques moyennement désaturés, généralement bien structurés, avec une texture équilibrée en argiles, sables et limons (Randrianjafizanaka et al., 2018). Ce réseau de 20 exploitations agricoles a été

constitué à partir de trois classes basées sur leurs données structurelles (Razafimahatratra et al., 2014 ; Rasambatra et al., 2020). Ces agriculteurs avaient déjà collaboré avec la même équipe de recherche sur un diagnostic de la pression en mauvaises herbes, incluant le *Striga*, sur le domaine pluvial (Autfray et al., 2016). Les caractéristiques de ce réseau sont mentionnées dans le **tableau 1**. La partie septentrionale de ce réseau appartient au village d'Ivory, où se situe le dispositif de programme de sélection variétale du riz pluvial de FOFIFA sur trois hectares (Rakotoson et al., 2017).

2.3. Expérimentation multi-locale

Pendant deux saisons culturales, S1 (2016-2017) et S2 (2017-2018), les six variétés ont été testées dans un dispositif d'expérimentation multi-local avec un site sur chacune des 20 fermes de référence. Le choix des sites revenait aux agriculteurs selon leur assolement généralement basé sur des successions triennales de cultures annuelles conduites souvent avec un travail du sol réalisé en traction animale. Les

Légende

- Fermes de référence
- Routes nationales
- Chef-lieu

Altitude

- ≤ 800
- 800-1300
- 1300-1800
- > 1800

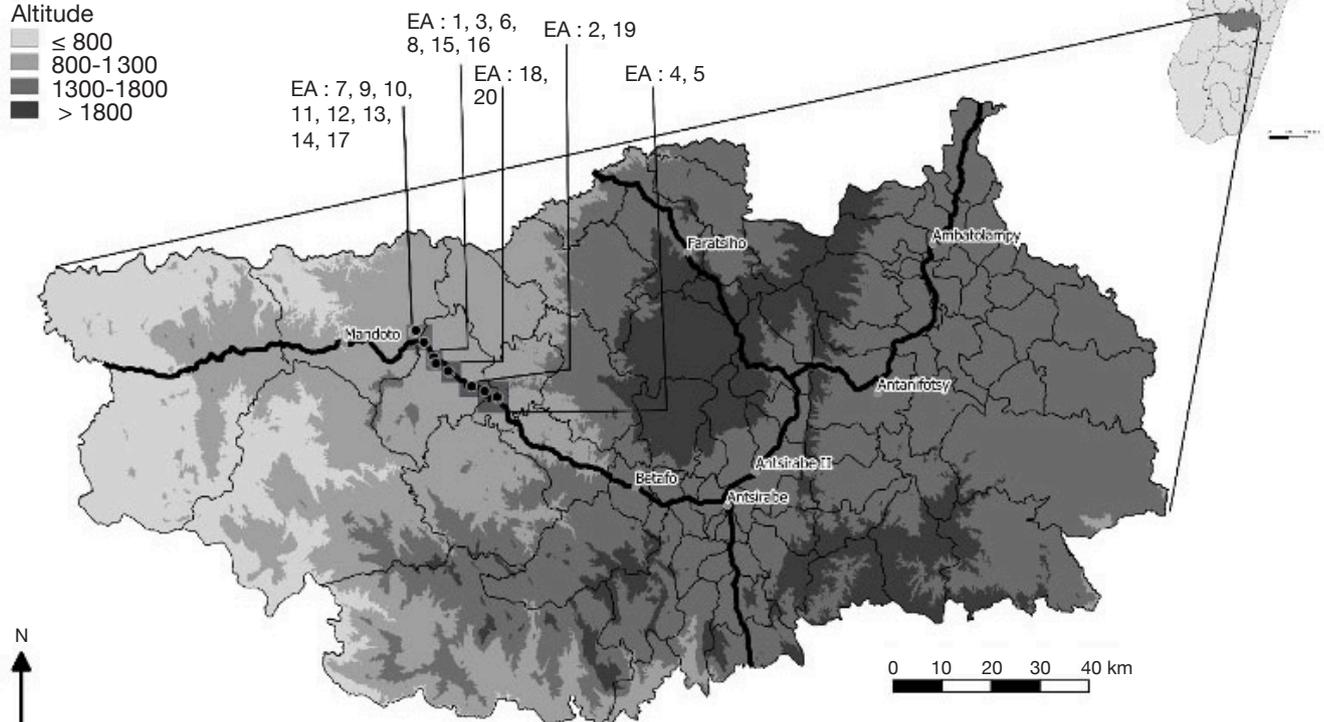


Figure 1. Localisation des fermes de référence dans la région du Vakinankaratra — *Location of pilot farms in the Vakinankaratra region.*

Sources, altitude : NASA, SRTM 1 arc second Global, 2015, routes, chefs-lieux, limites administratives — NASA, SRTM 1 arc second Global, 2015, roads, capitals, administrative boundaries ; OSM, OpenStreetMap, 2019 ; EA : exploitation agricole — farm.

Tableau 1. Caractéristiques des 20 fermes de référence selon la typologie de Razafimahatratra et al. (2014) ; données moyennes sur deux années — *Characteristics of the 20 pilot farms according to the typology of Razafimahatratra et al. (2014); two-year average data.*

Type d'exploitation agricole	Nombre d'exploitations agricoles	Surface bas-fond (ha)	Surface pluviale (ha)	Nombre de bovins	Production annuelle de fumure organique (t matière sèche)
Petite	7	0,03	1,92	0,33	1,13
Moyenne	5	0,30	2,82	1,83	2,18
Grande	8	1,06	5,05	4,25	4,68

itinéraires conduits par les agriculteurs étaient ceux qu'ils avaient l'habitude de réaliser chaque année, avec comme seule consigne d'éviter toute autre source de variation intra site, c'est-à-dire mêmes dates et densités de semis, fertilisation et sarclage selon les mêmes modalités pour chaque variété pour un site donné. Le dispositif était en bloc complet randomisé. En S1, 14 sites ont été conduits avec deux répétitions et six sites avec une seule répétition, tandis qu'en S2 chaque site a été conduit avec deux répétitions. La taille de parcelle élémentaire variait entre 49 à 65 m² avec une immobilisation de surface pour un site en moyenne d'environ 700 m², en tenant compte des allées entre les répétitions et les cultures environnantes. Des semences issues de la recherche ont été fournies aux agriculteurs avant le démarrage de la saison avec un traitement de semences associant imidaclopride et thirame à la dose respective de 10,5 g et 3,0 g·kg⁻¹ de semences, permettant de prévenir notamment des attaques de vers blancs (pratique courante dans la région). Les semis ont été réalisés manuellement en poquets entre le 15 novembre et le 26 décembre et entre le 7 novembre et le 6 décembre respectivement en S1 et S2. Les densités ont été fixées ensemble avec les agriculteurs avec un écartement entre lignes d'environ 30 cm et sur la ligne de 20 cm avec 7 à 10 graines par poquet. Les quantités de fumure organique apportées au moment du semis au niveau des poquets ont été estimées sur la base des déclarations des agriculteurs en nombre de charrettes et la superficie d'un site en prenant comme référence moyenne un équivalent charrette à 250 kg·ha⁻¹ de poids sec. De faibles quantités de fertilisation minérale à base d'engrais complexe de type 11N-22P-16K ont été associées parfois aux semences et aux fumures organiques. L'entretien a été manuel avec en général deux sarclages pour chaque saison culturale, en moyenne entre 20-30 et 50-60 jours après semis (JAS). Les récoltes ont été réalisées à la maturité physiologique des variétés.

2.4. Évaluation de la recherche

Outre la mesure des rendements grain lors des deux campagnes agricoles, des comptages de plants de

Striga ont été réalisés en S2 par comptage exhaustif de tous les plants présents à 90 et 110 JAS selon la méthodologie développée par Randrianjafizanaka et al. (2018). Le rendement grain a été estimé sur chaque parcelle élémentaire privée de deux lignes de bordures et des deux premiers poquets de chaque ligne. Les rendements en grain de riz paddy sont exprimés à 13 % d'humidité.

2.5. Évaluation multicritère des agriculteurs

L'évaluation multicritère a été réalisée sur les deux campagnes agricoles avec les mêmes 20 fermes de référence avec une parité hommes et femmes lors d'entretiens individuels ou d'atelier collectif, soit 40 personnes les plus impliquées dans les activités agricoles. L'évaluation s'est déroulée en trois étapes.

La première a été d'identifier les critères d'appréciation des variétés par les agriculteurs avant le démarrage de l'expérimentation multi-locale par 40 entretiens individuels à domicile sous forme de question ouverte : « Quels critères retenir-vous pour apprécier les qualités d'une variété de riz ? ».

La deuxième a été de préciser à la fin de l'expérimentation les descripteurs partagés pour chaque critère retenu lors d'un atelier collectif, de manière à avoir une définition commune des critères juste avant la troisième étape.

À la suite de cet atelier, la troisième étape a consisté à évaluer les lignées sur ces mêmes critères par 40 entretiens individuels à domicile. Deux appréciations, « important » ou « peu important », ont été utilisées lors du choix des critères à la première étape de l'évaluation multicritère. Trois appréciations « pas bien », « moyen » et « bien » ont été utilisées pour la troisième étape de l'évaluation multicritère, critère par critère et pour chaque variété.

2.6. Analyse des données

Dans le cadre de notre expérimentation multi-locale conduite sur 40 sites (un site correspondant à une parcelle d'une ferme de référence une année donnée), nous avons traité le rendement grain avec le modèle

de régression conjointe selon Letourmy (1989), correspondant au modèle classique de Finlay & Wilkinson (1963) suivant la formule :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + d_i \times X_j + \delta_{ij} + b_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

avec Y_{ijk} , le rendement de la variété i , dans le site j et la répétition k ; μ , la moyenne générale; α_i , l'effet variété de la variété i ; d_i , la pente de la droite de la variété i ; X_j , le rendement moyen de chaque site j ; δ_{ij} , l'interaction variété-site non expliquée par le modèle de régression sur les X_j ; b_{jk} , l'effet de la répétition k dans le site j ; ε_{ijk} , l'erreur aléatoire.

Premièrement, une ANOVA a été réalisée pour une analyse globale sur les effets simples (site et variété), la part expliquée et non expliquée de l'interaction site-variété, suivie d'une comparaison des rendements moyens des variétés.

Deuxièmement, une ANCOVA a été effectuée pour calculer les régressions linéaires des rendements de chaque variété (axe Y) avec comme variable explicative X_j , avec un test sur les coefficients des pentes obtenus par la régression et la détermination de l'écovalence (Denis & Vincourt, 1982). Nous avons émis l'hypothèse que le rendement moyen de chaque X_j est lié à la fertilité du milieu, dénommé dans notre étude Indice Environnemental (IE) selon Hildebrand (1984). L'écovalence de la variété i est :

$$\text{Écovalence} = \sum_j (d_i \times X_j + \delta_{ij})^2$$

$$\text{estimée par la somme: } \sum_j (Y_{ij} - Y_i - Y_j + Y)^2 \quad (2)$$

avec Y_{ij} , le rendement de la variété i sur le site j ; Y_i , la moyenne du rendement de la variété i ; Y_j ou IE, la moyenne du rendement du site j ; Y , la moyenne générale.

Pour évaluer la résistance des variétés au *Striga* selon les différentes variétés, un test non paramétrique Kruskal-Wallis a été effectué après les avoir transformées avec une transformation logarithmique.

Le traitement des réponses issues de l'évaluation multicritère avec les agriculteurs a été effectuée avec des tableaux de contingence de manière à comparer pour chaque critère la proportion de chaque appréciation entre les critères. Les analyses statistiques ont été effectuées avec XLSTAT 2019.4.1 (Addinsoft, 2021).

3. RÉSULTATS

3.1. Fumure organique et index environnemental

Les estimations des valeurs d'apports en fumures organiques exprimés en poids sec sur les sites d'expérimentation ont été comprises entre 2,3 et 8,3 t.

ha⁻¹, avec une moyenne de 4,6 t·ha⁻¹. Sur cette gamme d'apports, l'Index Environnemental estimé comme rendement moyen sur les six variétés de chaque site montre une relation faible ($r^2 = 0,15$), mais significative ($p = 0,012$) avec les quantités de fumure organique apportées (Figure 2). La quantité de fumure organique ne semble pas montrer de fortes différenciations selon la typologie des exploitations avec en moyenne pour les grandes, moyennes et petites fermes, respectivement, 4,8, 5,2 et 4,1 t·ha⁻¹ de fumure organique apportée.

3.2. Rendements grain

Les deux années ont offert une large variabilité de rendements moyens en grain des sites avec des valeurs variant entre 1,0 à 4,5 t·ha⁻¹, avec le plus faible rendement variétal obtenu à 0,6 et le plus élevé à 6,6 t·ha⁻¹ (Figure 3). L'analyse du modèle de régression conjointe sur le rendement grain en riz pluvial concernant l'expérimentation multi-locale réalisée en deux années montre (Tableau 2) :

- des effets site et variété très importants et très hautement significatifs ;
- un effet significatif de l'interaction site * variété expliquée par les pentes ;
- des effets significatifs également de facteurs non étudiés, tels que l'interaction site * variété non expliquée par les pentes, ainsi que des répétitions.

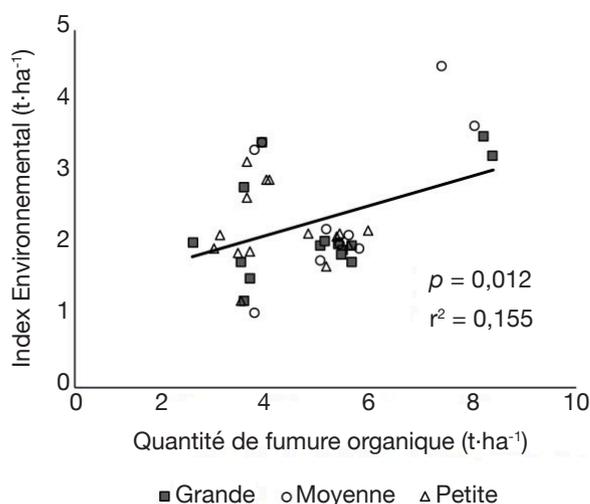


Figure 2. Relation entre la quantité de fumure organique moyenne appliquée (MS) et l'Index Environnemental (IE ou rendement moyen) selon la taille des exploitations (grande, moyenne, petite ; voir Tableau 1) sur les 40 sites avec test sur la régression linéaire et son coefficient de corrélation — *Relationship between the amount of average organic manure applied (dry matter) and the Environmental Index (IE or average yield) according to the type of farm (see Table 1) on the 40 sites with test on the linear regression and its correlation coefficient.*

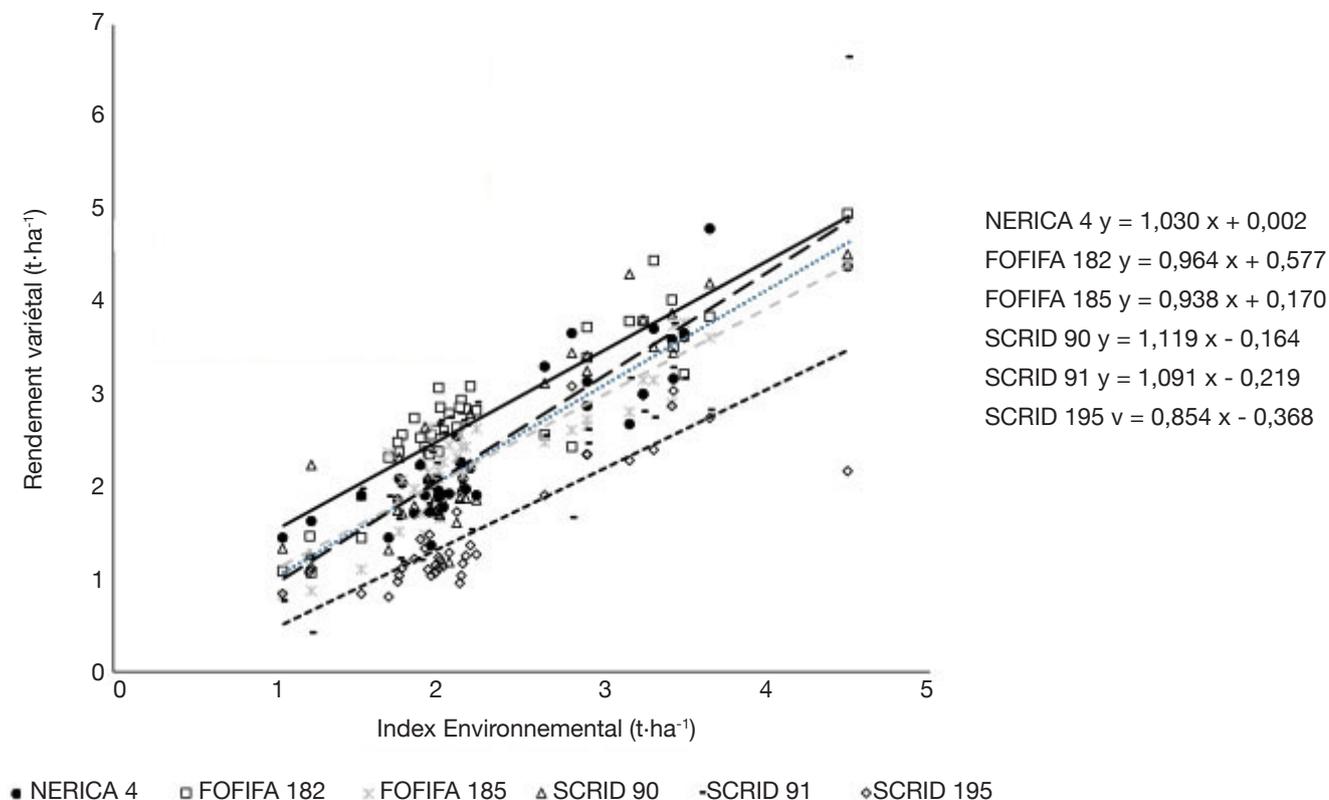


Figure 3. Rendements grain des six variétés de riz (axe Y) en fonction de l'Index Environnemental (IE, axe X, rendement moyen des six variétés) pour l'étude de la stabilité du rendement pour les 40 sites avec leurs droites de régression et les coefficients des pentes du **tableau 3** — *Grain yields of the six varieties of rice (Y axis) as a function of the Environmental Index (EI, X axis, average yield of the six varieties) for the study of yield stability for the 40 sites with their regression lines and the slope coefficients from table 3.*

Tableau 2. ANOVA de la démarche de régression conjointe sur l'ensemble des données de rendement grain de riz ($n = 444$) et par ANCOVA sur les moyennes de rendement pour chaque variété et les rendements moyens de chaque site ($n = 240$) — *ANOVA of the model regression approach used on rice grain yields ($n = 444$) and by ANCOVA of the model regression approach of the average yields for each variety and the average yields for each site ($n = 240$).*

Source de variation	Ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur F	Pr > F
Site (E) ¹	39	230,03	5,89	24,54	<,0001
Variété (V) ¹	5	58,20	11,64	48,43	<,0001
Régression conjointe (pentes) ²	5	3,05	0,61	2,54	0,0305
Interaction E*V (non expliquée) ²	190	69,52	0,36	1,52	0,0031
Répétitions ¹	32	16,87	0,52	2,19	0,0008

¹: valeurs déterminées à partir de l'ANOVA — *values determined from ANOVA*; ²: valeurs déterminées à partir de l'ANCOVA — *values determined from ANCOVA*.

Les trois paramètres du modèle de régression conjointe calculés pour chaque variété indiquent (**Tableau 3**) :

– pour le rendement, que la variété FOFIFA 182 a obtenu une production de 2,90 t·ha⁻¹ significativement supérieure à SCRID 90, FOFIFA 185, NERICA 4, SCRID 91, respectivement de 2,45, 2,44, 2,44 et 2,41 t·ha⁻¹; la variété SCRID 195 a obtenu un

rendement de 1,65 t·ha⁻¹, significativement inférieur aux autres variétés ;

– les coefficients des pentes varient entre 0,89 et 1,19, avec une valeur significativement plus élevée pour SCRID 90 par rapport aux cinq autres variétés ;

– des valeurs de l'écovalence variant entre 8,47 et 24,46, la plus élevée pour SCRID 091.

Tableau 3. Rendements grain moyens, paramètres de stabilité (pentés des droites de régression et écovalences) pour les six variétés testées les deux années — *Average grain yields, stability parameters (slopes of the regression lines and ecovalences) for the six varieties tested over the two years.*

Variété	Rendement (t·ha ⁻¹) ¹	Pente ²		Écovalence
		Coefficient	Probabilité du test coefficient = 1	
FOFIFA 182	2,90 ^a	0,91	0,254 ns	8,48
SCRID 090	2,45 ^b	1,20	0,015 *	12,27
FOFIFA 185	2,44 ^b	0,88	0,139 ns	6,24
NERICA 4	2,44 ^b	1,06	0,425 ns	8,61
SCRID 091	2,41 ^b	1,06	0,460 ns	24,46
SCRID 195	1,65 ^c	0,89	0,170 ns	12,51
ETM	0,058	0,079		
Ddl	160	160		

¹ : données obtenues à partir de l'ANOVA — *data obtained from ANOVA* ; deux lettres différentes indiquent des valeurs différentes au seuil de 0,05 % — *two different letters indicate different values at the 0.05% threshold*; ² : valeurs différentes au seuil de 0,05 % — *different values at the 0.05% threshold* ; ns: valeurs non significativement différentes — *non significantly different values.*

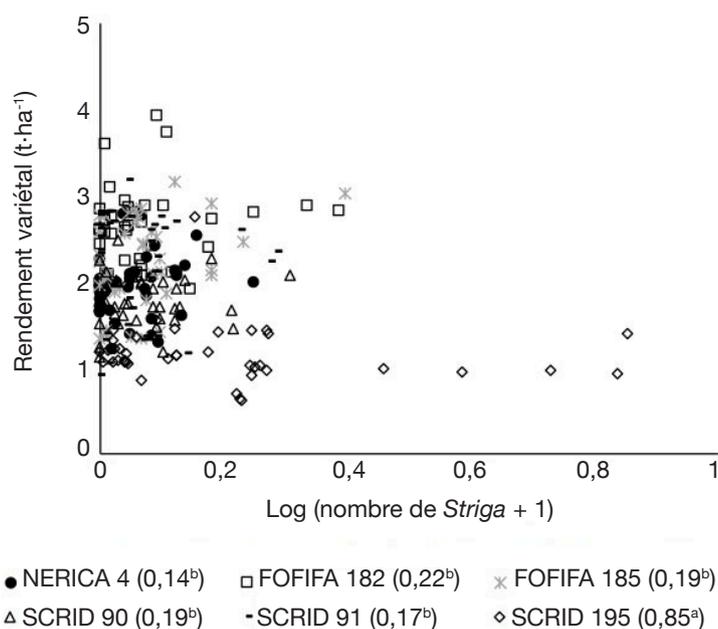


Figure 4. Relation entre plants de *Striga asiatica* (axe X, données transformées) et le rendement grain (axe Y) durant S2 (2017-2018 ; n = 240) — *Relationship between Striga asiatica plants (X axis, transformed data) and grain yield during S2 (2017-2018 ; Y axis, n = 240).*

Pour chaque variété, entre parenthèses figurent les valeurs non transformées (nombre m²) et le test de comparaison de moyennes au seuil de 5 % ; deux lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes — *For each variety in parentheses are mentioned untransformed values (number m²) and the test of comparison of means at the 5% threshold; two different letters indicate significantly different values.*

3.3. Pression en *Striga*

Le test non paramétrique réalisé sur les données transformées du nombre de plants de *S. asiatica* maximum déterminé en S2 lors de deux comptages successifs espacés de 20 jours montre un effet variétal significatif avec un nombre plus élevé des plants de *Striga* avec la variété SCRID 195 qui totalise un nombre moyen de 0,85 plants·m², alors que pour les autres variétés ce nombre varie entre 0,14 (NERICA 4) et 0,22 plants·m² (FOFIFA 182) (**Figure 4**). Alors que le rendement moyen de la variété SCRID 195 est significativement également plus faible, l'analyse

de co-variance avec comme variable expliquée le rendement et comme variable explicative le *Striga* en lien avec cette variété n'a pu mettre en évidence une relation significative entre ces deux variables.

3.4. Évaluation participative

Les huit principaux critères de sélection choisis par les agriculteurs par entretien individuel à domicile avec 20 hommes et 20 femmes au démarrage de l'expérimentation sont mentionnés dans le **tableau 4**, avec leur description précisée lors d'un atelier collectif et leurs poids respectifs, selon leur degré d'importance,

Tableau 4. Les huit principaux critères de sélection des variétés des agriculteurs obtenus par entretien individuel, leur description obtenue par atelier collectif et leur poids respectif déterminé par entretien individuel (n = 40) — *The eight main criteria of rice varieties for farmers obtained by individual interview, their description obtained by collective workshop and their respective weight determined by individual interview (n = 40).*

Critère	Description	Nombre de réponses par appréciation et test de Khi ² (n = 40)	
		Important	Peu important
Production de grain	Traduit par le nombre de grain par panicule, le nombre de panicule et la courbure de la panicule	> 40	< 0
Comportement vis-à-vis du <i>Striga</i>	Obtention de production même s'il y a la présence de <i>Striga</i> (tolérance)	> 32	< 8
Battage	Facilité de détachement des grains de la panicule	20	20
Précocité	Meilleur prix par rapport aux variétés plus tardives et pour atténuer la période de soudure. La précocité donne une souplesse vis-à-vis du calendrier cultural	19	21
Résistance à la sécheresse	Plante vigoureuse et verte, les feuilles ne s'enroulent pas, moins de grains vides en cas de période sèche	14	26
Qualité de grain	Grain semi-long	< 11	> 29
Gout	Sensation sucrée	< 9	> 31
Poids grain	Les grains lourds sont plus productifs à l'usage	< 6	> 34

Pour chaque critère, les valeurs affichées en gras sont significativement différentes au seuil de 0,05 % — *For each criterion, the values displayed in bold are significantly different at the 0.05% level* ; les symboles < et > associés aux valeurs en gras indiquent respectivement des significativement plus faibles (<) ou plus fortes (>) que les autres pour chaque ligne de résultats — *the symbols < and > associated with the values in bold indicate respectively significantly lower (<) or higher (>) than the others for each row of results.*

« important » ou « peu important ». Trois autres critères ont été cités mais n'ont pas été retenus par la suite du fait de leur faible fréquence, à savoir la couleur (la couleur rouge étant un trait de certaines variétés locales), l'exigence en matière de fertilisation et le comportement au décorticage (cassure du grain). Deux critères principaux pour l'appréciation d'une variété de riz sont retenus, la production de grain et le comportement par rapport au *Striga* avec respectivement 40 et 32 réponses « important ». La production de grain au champ se traduit par différentes observations de « sous-critères », principalement à la récolte et concerne le nombre de grains par panicule, le nombre de panicules et la courbure des panicules (traduction du poids de grain qui fait tomber la panicule vers le bas). Le comportement vis-à-vis du *Striga* se traduit par la capacité de la plante à produire, même en cas d'infestation. Trois critères intermédiaires viennent ensuite avec un équilibre entre un nombre de réponses « important » et « peu important » (pas d'effet significatif dans le nombre de réponses), à savoir le battage, la précocité et la résistance à la sécheresse. Le critère battage peut être décrit comme la facilité de la culture à maturité à être battue manuellement en l'absence de moyens mécaniques. La précocité est également un critère de sélection avec l'idée qu'une récolte précoce peut offrir à la fois une opportunité de

vente à un prix plus élevé et une production en période de soudure où les réserves de riz de l'année précédente peuvent être inexistantes. Autre argument, c'est que la précocité peut offrir plus de souplesse dans le cycle cultural, c'est-à-dire donner la possibilité de semer sur une gamme de temps plus longue comparativement à des variétés de cycle plus long, en liaison avec la durée de la saison des pluies, concentrée sur cinq mois. La résistance à la sécheresse est également mentionnée avec un outil de diagnostic visuel sur la végétation du riz en cas de stress hydrique. Trois critères sont significativement qualifiés « peu important », la qualité du grain, exprimée par sa longueur, le gout après cuisson qualifié de sucré et le poids de grain, les plus lourds et gros étant jugés plus productifs à l'usage. Les évaluations des six variétés pour chacun des huit critères sont mentionnées dans le **tableau 4**. Concernant les variétés les mieux évaluées sur les deux principaux critères, « production de grain » et « comportement au *Striga* », c'est la variété de référence NERICA 4 qui ressort avec notamment 26 notes « bien » pour la production et 34 notes « bien » pour la tolérance au *Striga*. Viennent ensuite les deux variétés FOFIFA 182 et SCRID 91, toutes les deux bien évaluées pour la production mais moyennement évaluées pour le *Striga*. Enfin, FOFIFA 185 et SCRID 90 suivent avec une évaluation moyenne pour la production de grain

et le *Striga*. La variété SCRID 195 est évaluée la plus faible sur ces deux critères. Concernant les critères intermédiaires, FOFIFA 185 allie à la fois facilité de battage et précocité. Aucune variété ne se différencie dans sa résistance à la sécheresse. Concernant les critères qualifiés de moins importants, la qualité de grain permet de différencier les variétés SCRID 91 et FOFIFA 182. Le goût est considéré comme « bon » par un nombre significativement très faible de réponses pour les variétés NERICA 4 et SCRID 195 et par un nombre significativement plus élevé pour les deux variétés FOFIFA.

4. DISCUSSION

4.1. Efficacité de l'outil « fermes de référence » pour l'évaluation de la stabilité des variétés

Notre expérimentation multi-locale réalisée sur une gamme d'environnements représentative et contrastée de la région a permis de réaliser une analyse de stabilité de rendement de six variétés de riz pluvial. Il est en effet généralement reconnu que les variétés en situation de contrôle en milieu de recherche et de gestion optimale de la fertilité peuvent produire drastiquement beaucoup moins en conditions réelles de culture (Singh et al., 2014). Ces environnements semblent varier principalement selon des critères de fertilité en relation avec une diversité de pratiques de gestion des sols et des cultures contrastées. Les apports moyens de fumure organique estimés sur nos sites de 4,6 t·ha⁻¹ sont en accord avec des estimations annuelles d'apports moyens de la zone concernée autour de 1,7 t·ha⁻¹ de surface agricole utile, incluant dans la rotation avec le riz pluvial des cultures non amendées, voire la jachère (Razafimahatratra et al., 2017 ; Rasambatra et al., 2020). Dans ces conditions, la variété FOFIFA 182 montre une bonne adaptation aux différents environnements testés (rendement moyen significativement le plus élevé et pente proche de 1), alors que SCRID 195 ne semble pas adaptée à tous les environnements (rendement moyen faible). Ce premier résultat permet de confirmer la bonne performance de la variété FOFIFA 182 comme alternative à la vulgarisation de la variété NERICA 4 qui jusqu'à maintenant restait la variété de référence pour cette zone de moyenne altitude (Rakotoson et al., 2017 ; Randrianjafizanaka et al., 2018).

Deux variétés montrent vis-à-vis de leur stabilité un comportement différencié :

- la variété SCRID 90 qui a une pente significativement supérieure à 1, mettant en exergue qu'elle se montre meilleure que les autres variétés dans un environnement plus favorable ;
- la variété SCRID 91 qui a une écovalence nettement supérieure aux autres, qui indique donc une plus forte

variabilité de réponse pour un environnement donné et donc une plus forte instabilité de comportement.

Les études de stabilité de rendement offrent généralement des pentes avec des différenciations plus importantes (Khumairoh et al., 2018 ; Sissoko et al., 2018). Ce manque de différenciation sur les pentes pourrait être imputé à une proximité génétique (Denis & Vincourt, 1982 ; Rakotoson et al., 2017). Des facteurs non contrôlés, comme les dates de semis avec un étalement de 31 jours en S1 et de 29 jours en S2, pourraient être à l'origine de variabilité de rendement et impliquer que le poids expliqué par les pentes de régression, bien que significatif (interaction S * V), est modéré (**Tableau 2**). Les dates de semis en interaction avec le régime pluviométrique de l'année peuvent également conditionner l'offre en azote minéral sur le cycle du riz, offre pouvant être déterminante dans l'expression de la variabilité interannuelle des rendements (Rakotoson et al., 2017). Il n'est pas exclu, malgré nos recommandations des pressions en mauvaises herbes contrastées, source de compétition sur le riz, le sarclage tardif ou prolongé, celui-ci étant réalisé manuellement (Autfray et al., 2016).

4.2. Complémentarité des observations recherche/ agriculteurs

Les évaluations participatives réalisées en matière de sélection variétale des céréales vivrières mettent en exergue l'importance de l'évaluation pluriannuelle qui associe les mêmes producteurs dans la durée avec notamment une phase essentielle de sélection des critères et leur définition comme un préalable à toute évaluation au champ (vom Brocke, 2010). Il est souligné à la fois que l'évaluation des agriculteurs peut se rapprocher de celles de la recherche mais aussi différer selon les spécificités liées à la localité (Abebe et al., 2005). Plus généralement, de nouvelles connaissances sont générées et elles permettent de faciliter l'appropriation des résultats de recherche par les agriculteurs (Richelle et al., 2018). Dans notre étude, la confrontation des évaluations recherche-agriculteurs a permis de valider que les critères d'évaluation choisis par la recherche dans le cadre de l'expérimentation, rendement grain et résistance au *Striga*, sont bien en adéquation avec les critères retenus en premier par les agriculteurs. Le rendement reste donc un critère essentiel que les agriculteurs évaluent comme la recherche à la récolte avec des appréciations liées notamment au nombre de panicules et au nombre de grains par panicule, composantes de rendements souvent discriminantes pour le riz pluvial. La sélection de ces deux principaux critères confirme à la fois leur mise en relation dans des conditions de production limitantes en termes de fertilité pour la majorité des exploitations agricoles

qui disposent d'une ressource limitée en fumure organique par rapport aux besoins (Rasambatra et al., 2020) et qui utilisent peu ou de très faibles quantités d'engrais de synthèse (Razafimahatratra et al., 2017). Cela conforte notre hypothèse que le facteur variétal pour le riz pluvial est un facteur discriminant pour cette écologie du Moyen-Ouest (Scott et al., 2020). Il est plus généralement montré que le critère variétal demeure pour les petites exploitations agricoles un facteur déterminant du rendement (Niang et al., 2017). Concernant le *Striga*, il est intéressant de relever la complémentarité des évaluations. Celle de la recherche est basée sur le nombre de plants, qui se fonde sur des mécanismes liés à la première phase de développement du parasite (attachement). Ainsi le nombre de plants de *Striga* mesurés est souvent en relation avec le mécanisme de stimulation des graines lié à l'émission différenciée de strigolactones selon les variétés (Cissoko et al., 2011). Celle des agriculteurs concerne plutôt la deuxième phase de tolérance liée, une fois que la culture est infectée, à la capacité de la plante à résister (Rodenburg & Bastiaans, 2011), le *Striga* exerçant une compétition pour les ressources du sol (Jamil et al., 2011 ; Tippe et al., 2017). Si les résultats de la recherche ont permis de bien distinguer une variété très sensible, SCRID 195, au *Striga*, corrélés avec les évaluations des agriculteurs, les informations des agriculteurs ont été plus discriminantes avec un classement en quatre classes, avec NERICA 4, significativement la mieux évaluée (34 réponses de bon comportement), suivie du groupe intermédiaire de trois autres variétés, FOFIFA 182, FOFIFA 185, SCRID 91, puis de SCRID 90 et enfin de SCRID 195. Ces résultats confirmeraient pour la variété NERICA 4, outre sa résistance reconnue, des mécanismes de tolérance au *Striga*, propriété plus difficile à estimer par la recherche (Cissoko et al., 2011). Cette variété a également un nombre moins élevé de plants de *Striga* que FOFIFA 182, respectivement 0,14 et 0,22, soit 50 % de moins (non significatif). Comme la relation entre rendement grain de riz et infection en *Striga* n'a pas montré de lien direct, même avec la variété sensible SCRID 195 à ce parasite, cela suggère que les agriculteurs intègrent dans leur évaluation de ce critère une approche temporelle à l'échelle du système de culture, non liée exclusivement au riz pluvial. En effet, le riz pluvial est généralement conduit dans le cadre de rotations avec le risque d'infecter d'autres plantes cultivées du domaine pluvial, comme le maïs. Cette céréale, contrairement au riz, ne fait pas l'objet d'un possible contrôle variétal et sa culture en rotation avec le riz peut favoriser son développement, et donc sa nuisibilité (Randrianjafizanaka et al., 2018 ; Rodenburg et al., 2020). Le *Striga* a en effet la propriété de produire un grand nombre de graines par plant qui restent viables un grand nombre d'années,

contrairement à de nombreuses espèces, caractéristiques qui renforceraient une perception très négative des agriculteurs même avec des pressions modestes en nombre de plants effectifs par unité de surface. La rotation des cultures est en effet une des principales stratégies de contrôle par les agriculteurs de ce parasite (Tippe et al., 2017). D'autres critères d'appréciation des variétés de riz par les agriculteurs sont également cités en relation avec la production, notamment la résistance à la sécheresse. Ce critère semble difficile à évaluer au champ en raison, d'une part, de la difficulté de prévoir à l'avance le régime pluviométrique et, d'autre part, de la rareté de situations de stress hydrique coïncidant avec les périodes les plus critiques de la céréale. En effet, les mois les plus pluvieux de janvier et de février correspondent aux périodes de montaison et de floraison du riz (Rakotoson et al., 2017). Le choix des indicateurs concerne à la fois des critères de vente et d'autoconsommation car le riz pluvial, comme le riz irrigué, en tant que culture alimentaire de base de la région, a cette double finalité (Razafimahatratra et al., 2017 ; Ozaki & Sakurai, 2020). Pour la vente, on peut retenir la précocité et la qualité de grain (longueur) comme facteurs discriminants, alors que pour l'autoconsommation, il s'agit du goût défini par une sensation sucrée.

4.3. Outil d'aide à la décision

Le réseau de fermes de référence a permis d'associer dans la durée un même groupe d'agriculteurs pour réaliser à la fois une analyse sur la stabilité du rendement, impossible à réaliser en station de recherche, de compléter certaines informations scientifiques difficiles à évaluer en une ou deux localités sur de petites parcelles (comportement au *Striga*) et de faire émerger des critères de sélection du riz pluvial autres que la production. Ce réseau peut aussi constituer un référentiel de décision pour les structures de développement et organisations paysannes engagées dans la vulgarisation et faciliter la diffusion de l'information, et aussi des semences par échanges (Ashby, 1990). Cet outil a par ailleurs montré son intérêt pour valoriser le développement des résultats de recherche en station et en milieu réel (Bonnal et al., 1988). La pertinence d'un réseau de fermes de référence pour une région agro-écologique donnée est liée au fait que les exploitations familiales se caractérisent par des spécificités locales qu'il convient de prendre en compte dans tout processus innovant (Doré et al., 2011). Les perspectives d'amélioration des réseaux de fermes de référence et des évaluations de groupes seraient d'intégrer les différenciations internes en distinguant par exemple des agriculteurs orientés sur des critères d'autoconsommation à d'autres orientés sur la vente (Ashby, 1990 ; Penot et al., 2016).

4.4. L'approche genre

L'approche genre testée dans l'évaluation a montré que celle-ci influence peu les résultats sur les niveaux de réponse des différents critères utilisés ici (non montrés ici). À Madagascar, d'autres études ont également indiqué que les femmes autant que les hommes jouent un rôle dans le choix des variétés de riz (Achandi et al., 2018).

5. CONCLUSIONS

L'expérimentation multi-locale multicritère de six variétés de riz pluvial à Madagascar réalisée sur un réseau de fermes de référence a permis de valider pour la recherche certains résultats de leur potentiel productif et de préciser leur comportement vis-à-vis du *Striga*, plante parasite emblématique de la région. La participation active des agriculteurs à évaluer ces mêmes variétés avec leurs critères a enrichi la connaissance de ces variétés susceptibles d'être proposées à une plus large diffusion. Cette confrontation de résultats de recherche et d'évaluations participatives issues d'expérimentations semi-contrôlées et d'évaluations en milieu réel constitue un outil privilégié de dissémination des connaissances pour une plus large communauté. L'outil « fermes de référence » permet donc de développer des recherches transdisciplinaires favorisant le co-apprentissage entre les praticiens et les chercheurs et la diffusion horizontale de l'expérience entre les praticiens (réseaux d'agriculteurs à agriculteurs).

Bibliographie

- Abebe G. et al., 2005. Participatory selection of drought tolerant maize varieties using mother and baby methodology: a case study in the semi arid zones of the central Rift Valley of Ethiopia. *World J. Agric. Sci.*, **1**, 22-27.
- Achandi E.L. et al., 2018. Women's access to agricultural technologies in rice production and processing hubs: a comparative analysis of Ethiopia, Madagascar and Tanzania. *J. Rural Stud.*, **60**, 188-198, doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.03.011
- Addinsoft, 2021. *XLSTAT statistical and data analysis solution*. Paris : Addinsoft.
- Ashby J.A., 1990. *Evaluating technology with farmers: a handbook*. Cali, Colombia: CIAT.
- Autfray P., Rakotonirina F., Ripoche A. & Marnotte P., 2016. Gestion de l'enherbement des cultures pluviales dans le Moyen-Ouest des plateaux malgaches. In : *Actes de la 23^e conférence du Columa, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 6-8 décembre 2016, Dijon, France*. Alfortville, France : Association Française de Protection des Plantes.
- Bonnal P., Castillo J. & Dollé V., 1988. Un réseau de fermes de références comme outils d'observation et de gestion du milieu rural : le projet Aroa-Bajo Tocuyo au Venezuela. *Cah. Rech. Dév.*, **19**, 59-74.
- Breumier P. et al., 2018. Évaluation participative des impacts de la recherche sur le riz pluvial d'altitude à Madagascar de 1980 à 2015. *Cah. Agric.*, **27**, 15004, doi.org/10.1051/cagri/2017065
- Cissoko M. et al., 2011. New Rice for Africa (NERICA) cultivars exhibit different levels of post-attachment resistance against the parasitic weeds *Striga hermonthica* and *Striga asiatica*. *New Phytol.*, **192**, 952-963, doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03846.x
- Denis J.B. & Vincourt P., 1982. Panorama des méthodes statistiques d'analyse des interactions génotype x milieu. *Agronomie*, **2**, 219-230, doi.org/10.1051/agro:19820303
- Doré T. et al., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *Eur. J. Agron.*, **34**, 197-210, doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006
- Dusserre J. et al., 2017. Conservation agriculture cropping systems reduce blast disease in upland rice by affecting plant nitrogen nutrition. *Field Crops Res.*, **204**, 208-221, doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.024
- FAO, 2019. *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition: a report by the High Level Panel of Experts (HLPE) on food security and nutrition of the committee on world food security*, www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf, (17/02/2021).
- Finlay K.W. & Wilkinson G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, **14**, 742-754.
- Fofana M. et al., 2011. Rice grain quality: a comparison of imported varieties, local varieties with new varieties adopted in Benin. *Food Control*, **22**, 1821-1825, doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.04.016
- Hildebrand P.E., 1984. Modified stability analysis of farmer managed on-farm trials. *Agronomy J.*, **76**, 271-274, doi.org/10.2134/agronj1984.00021962007600020023x
- Jamil M., Rodenburg J., Charnikhova T. & Bouwmeester H.J., 2011. Pre-attachment *Striga hermonthica* resistance of New Rice for Africa (NERICA) cultivars based on low strigolactone production. *New Phytol.*, **192**, 964-975, doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03850.x
- Khumairoh U. et al., 2018. Complex rice systems to improve rice yield and yield stability in the face of variable weather conditions. *Sci. Rep.*, **8**, 14746, doi.org/10.1038/s41598-018-32915-z
- Letourmy P., 1989. À propos de l'étude de la stabilité du rendement dans les regroupements d'essais variétaux. *Agron. Trop.*, **44**, 239-244.
- Niang A. et al., 2017. Variability and determinants of yields in rice production systems of West Africa. *Field Crops Res.*, **207**, 1-12, doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.014

- Ozaki R. & Sakurai T., 2020. The adoption of upland rice by lowland rice farmers and its impacts on their food security and welfare in Madagascar. *Jpn. J. Agric. Econ.*, **22**, 106-111, doi.org/10.18480/jjae.22.0_106
- Penot E. et al., 2016. Les réseaux de fermes de références : un outil d'aide à la décision au service des projets de développement à Madagascar. In : *Exploitations agricoles, stratégies paysannes et politiques publiques. Les apports du modèle Olympe*. Versailles, France : Éditions Quæ, 1-27.
- Raboin L.M. et al., 2013. Upland rice varieties for the highlands of Madagascar: review of a 25-year-long breeding program. *Cah. Agric.*, **22**, 450-458, doi.org/10.1684/agr.2013.0624
- Raboin L.M. et al., 2014. Upland rice varieties for smallholder farming in the cold conditions in Madagascar's tropical highlands. *Field Crops Res.*, **169**, 11-20, doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.006
- Rakotson T. et al., 2017. Genetic variability of nitrogen use efficiency in rainfed upland rice. *Field Crops Res.*, **213**, 194-203, doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.023
- Randrianjafizanaka M.T. et al., 2018. Combined effects of cover crops, mulch, zero-tillage and resistant varieties on *Striga asiatica* (L.) Kuntze in rice-maize rotation systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **256**, 23-33, doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.005
- Rasambatra E.R. et al., 2020. Intégration agriculture-élevage dans un contexte d'accès limité aux intrants de synthèse en milieu tropical de moyenne altitude. *Rev. Élevage Méd. Vét. Pays Trop.*, **73**, 49-59, doi.org/10.19182/remvt.31876
- Razafimahatratra M., Penot E. & Voahanginambinina L. 2014. Prospective analysis of economic impact of CA adoption based on rice cropping systems in the Middle West of Madagascar. In: FOFIFA; Université d'Antananarivo; LRI; IRD; CIRAD. *Proceedings of the International Conference Agroecology for Africa – AFA 2014, Agroecology and sustainability of tropical rainfed cropping systems, 3-7 November, 2014, Antananarivo, Madagascar*. Antananarivo, Madagascar: FOFIFA.
- Razafimahatratra H.M. et al., 2017. *Systèmes de production, pratiques, performances et moyens d'existence des exploitations agricoles du Moyen-Ouest du Vakinankaratra*, <https://agritrop.cirad.fr/586881/>, (17/12/2021).
- Richelle L. et al., 2018. Looking for a dialogue between farmers and scientific soil knowledge: learnings from an ethno-geomorphopedological study in a Philippine's upland village. *Agroecol. Sustainable Food Syst.*, **42**, 2-27, doi.org/10.1080/21683565.2017.1322661
- Rodenburg J. & Bastiaans L., 2011. Host-plant defence against *Striga* spp.: reconsidering the role of tolerance: why *Striga* spp. tolerance matters. *Weed Res.*, **51**, 438-441, doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00871.x
- Rodenburg J. et al., 2020. Mixed outcomes from conservation practices on soils and *Striga*-affected yields of a low-input, rice-maize system in Madagascar. *Agron. Sustainable Dev.*, **40**, 8, doi.org/10.1007/s13593-020-0612-0
- Scott D. et al., 2020. Mapping the drivers of parasitic weed abundance at a national scale: a new approach applied to *Striga asiatica* in the mid-west of Madagascar. *Weed Res.*, **60**, 323-333, doi.org/10.1111/wre.12436
- Singh Y.P. et al., 2014. Farmers' participatory varietal selection: a sustainable crop improvement approach for the 21st century. *Agroecol. Sustainable Food Syst.*, **38**, 427-444, doi.org/10.1080/21683565.2013.870101
- Sissoko S. et al., 2018. Combined agronomic and climatic approaches for sorghum adaptation in Mali. *Afr. J. Agric. Res.*, **13**, 1816-1827, doi.org/10.5897/AJAR2018.13274
- Tippe D.E. et al., 2017. Farmers' knowledge, use and preferences of parasitic weed management strategies in rain-fed rice production systems. *Crop Prot.*, **99**, 93-107, doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.007
- vom Brocke K. et al., 2010. Participatory variety development for sorghum in Burkina Faso: farmers' selection and farmers' criteria. *Field Crops Res.*, **119**, 183-194, doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.005

(36 réf.)