

Interaction entre le système de culture et le statut (ravageur ou auxiliaire) des vers blancs (Coleoptera : Scarabeoidea) sur le riz pluvial

Alain Ratnadass^{1,2}
 Richard Randriamanantsoa³
 Tahina Ernest Rajaonera⁴
 Maximin Yves Rabearisoa⁵
 Émile Rafamatanantsoa³
 Narcisse Moussa⁶
 Roger Michellon^{6,7}

¹ Cirad/URP SCRiD
 BP 230
 Antsirabe 110, Madagascar

² Cirad/UPR HortSys
 TA B-103/PS4
 Boulevard de la Lironde
 34398 Montpellier cedex 5, France
 <alain.ratnadass@cirad.fr>

³ FOFIFA/URP SCRiD
 BP 230
 Antsirabe 110, Madagascar
 <fofifa-abe@moov.mg>

⁴ Université d'Antananarivo
 Faculté des sciences
 Département d'entomologie
 URP SCRiD
 BP 906
 Antananarivo 101, Madagascar
 <tahina_rajao@yahoo.fr>

⁵ Athénée Saint Joseph
 BP 278
 Antsirabe 110, Madagascar
 <asja@moov.mg>

⁶ TAFA
 BP 266
 Antsirabe 110, Madagascar
 <tafaantsirabe@moov.mg>

⁷ Cirad/UPR SIA
 TA B01/07
 Avenue Agropolis
 34398 Montpellier cedex 5, France
 <roger.michellon@cirad.fr>

Résumé

À Madagascar, les larves et adultes terricoles de certaines espèces de Coléoptères Scarabeoidea causent d'importants dégâts au riz pluvial. Le traitement insecticide des semences assure une protection efficace, mais son impact environnemental soupçonné justifie des recherches pour s'en affranchir, notamment en systèmes de culture avec semis direct sur couverture végétale (SCV). Un système SCV, fondé sur une rotation riz pluvial-soja depuis 1998-1999, a ainsi été étudié de 2002 à 2007 sur deux sites des Hautes Terres. Sur cette rotation, on a trouvé, au bout de quatre ans (en 2002-2003), un effet positif du SCV (par rapport au labour) et du traitement de semences, en termes de réduction des attaques de ravageurs et de rendement du riz pluvial, sans effets négatifs du traitement des semences sur la biodiversité de la faune tellurique. Les quatre années suivantes, l'abondance de la macrofaune (phytophages comme saprophages/géophages et prédateurs), a augmenté, en particulier en SCV, sans que cela se traduise par des effets notables sur les rendements en 2005 et 2007. On a également étudié en laboratoire les préférences alimentaires des larves (« vers blancs ») de 3 espèces appartenant chacune à une famille de Scarabeoidea, et la variation du statut des larves de 7 espèces dans ces trois familles, en fonction du contenu du sol en matière organique. *Bricoptis variolosa* (Cetoniidae) et *Hexodon unicolor* (Dynastidae) se sont révélées être saprophages obligatoires, alors que *Apicencya waterloti* (Melolonthidae) s'est révélé rhizophage obligatoire, tandis que *Heteroconus paradoxus* et 3 autres espèces de Dynastidae (*Heteronychus plebeius*, *H. bituberculatus* et *H. arator rugifrons*) se sont révélées rhizophages facultatifs. Outre les changements dans la composition faunistique tellurique induits par la gestion SCV, le changement de statut de certains vers blancs selon le statut organique du sol ouvre de nouvelles perspectives de gestion des agroécosystèmes rizicoles pluviaux.

Mots clés : agriculture de conservation ; *Heteronychus* ; Madagascar ; *Oryza sativa*.

Thèmes : pathologie ; productions végétales ; ressources naturelles et environnement ; systèmes agraires.

Abstract

Interaction between cropping systems and white grub (Coleoptera: Scarabeoidea) status (pest or beneficial) on upland rice

In Madagascar, some soil-dwelling Scarab beetle larvae and adults cause significant damage to upland rice. Insecticidal seed-dressing affords an efficient protection but the economic cost and environmental impact of the technique is not documented, thus justifying research in view of breaking with it in some direct-seeding, mulch-based cropping (DMC) systems. Such a DMC system involving upland rice rotated with soybean since 1998-1999 was thus studied from 2002-2007 in two locations of the Highlands. After four years on this rotation, a positive effect of DMC compared to conventional tillage and of seed-dressing on pest attack and upland rice yield could be observed. No detrimental

Pour citer cet article : Ratnadass A, Randriamanantsoa R, Rajaonera TE, Rabearisoa MY, Rafamatanantsoa É, Moussa N, Michellon R, 2013. Interaction entre le système de culture et le statut (ravageur ou auxiliaire) des vers blancs (Coleoptera : Scarabeoidea) sur le riz pluvial. *Cah Agric* 22 : 432-441. doi : 10.1684/agr.2013.0649

Tirés à part : A. Ratnadass

doi: 10.1684/agr.2013.0649

effect of seed-dressing on soil macrofauna diversity was observed. Over the next four years we observed an increase in macrofauna populations, herbivores, and detritivore/geophagous and predatory biota, particularly under DMC management, although differences in cropping system management did not translate into yield differences in 2005 and 2007. The food preference of larvae ("white grubs") of three Scarab beetle species belonging to three different families were studied in laboratory as well as the variation of status of seven species among these families according to the soil content in organic matter. *Bricoptis variolosa* (Cetoniidae) and *Hexodon unicolor* (Dynastidae) were found to be obligatory detritivores at the larval stage, while *Apicencya waterloti* (Melolonthidae) was found to be obligatory root-feeder. *Heteroconus paradoxus* and three other Dynastid species (*Heteronychus plebeius*, *H. bituberculatus* & *H. arator rugifrons*) were found to be facultative root-feeders. Beyond changes in the below-ground fauna composition induced by some DMC systems, the change of the white grub status according to the organic status of the soil, opens up new prospects for the management of upland rice agroecosystems.

Key words: conservation agriculture; *Heteronychus*; Madagascar; *Oryza sativa*.

Subjects: farming systems; natural resources and environment; pathology; vegetal productions.

Si les systèmes de culture avec semis direct sur couverture végétale démontrent depuis une vingtaine d'années leur capacité à réduire la dégradation des sols et améliorer la productivité des systèmes rizicoles pluviaux à Madagascar par rapport aux systèmes conventionnels avec labour, leurs effets sur les populations et dégâts d'insectes terricoles sur riz pluvial restent mal connus. Alors que certains de ces systèmes aggravent leurs dégâts dans la région du Lac Alaotra, d'autres sont au contraire considérés comme bénéfiques sur les Hautes Terres du Vakinankaratra (Ratnadass *et al.*, 2006).

Des différences dans le spectre d'entomofaune peuvent être à l'origine de ces résultats variables (Ratnadass *et al.*, 2006 ; Randriamanantsoa, 2010). Cependant, les mécanismes impliqués dans la réduction des impacts négatifs des ravageurs dans les systèmes SCV peuvent être multiples (Ratnadass *et al.*, 2012a). Aussi est-il nécessaire d'analyser les parts respectives des effets indirects *via* l'action des ennemis naturels ou des espèces saprophytes qui sont favorisées dans les sols où la biodiversité a été augmentée (Brévault *et al.*, 2007), ou la plus grande tolérance des plantes à la rhizophagie, par rapport à des effets plus directs *via* la qualité du sol, pouvant faire passer de la rhizophagie à la saprophytie des espèces phytophages facultatives, comme cela a été observé en Amérique latine (Brown et Oliveira, 2004).

On a donc entrepris entre 2002 et 2007 des études sur deux sites du Vakinankaratra pour déterminer les facteurs explicatifs de la réduction des dégâts de ces ravageurs en systèmes SCV à base de riz pluvial et de soja, et des études en laboratoire pour déterminer le statut réel vis-à-vis du riz pluvial de plusieurs espèces de Scarabeoidea terricoles et sa variation potentielle selon la teneur en matière organique (MO) du sol et sa qualité. L'objectif est de minimiser, par la gestion de l'agroécosystème rizicole pluvial leur fonction de ravageur et maximiser leur fonction d'ingénieur du sol. Cela dans une perspective de rompre avec la protection insecticide par traitement des semences, qui bien qu'efficace (Randriamanantsoa et Ratnadass, 2005 ; Ratnadass *et al.*, 2012b), pose des problèmes de durabilité vu son coût et son impact environnemental soupçonné.

Méthodologie

Impact du système de culture sur l'attaque du riz et le rendement

On a étudié en 2002-2003, 2004-2005 et 2006-2007 sur les stations de l'Organisation non gouvernementale (ONG) *Tany sy Fampandrosoana* (TAFA) à Andranomanelatra et Ibity (situées respectivement à 15 km au

nord et 20 km au sud d'Antsirabe (L 19° 52' S ; l 47° 02' E), à une altitude d'environ 1 500 m), les impacts sur la macrofaune tellurique et ses dégâts au riz pluvial, du mode de gestion du sol et du traitement insecticide des semences.

En 2002-2003, l'essai a été conduit dans un dispositif split-plot/factoriel, avec des parcelles de 21 m² (22 lignes de 3,2 m ; écartements de 0,30 m entre lignes et de 0,20 m sur la ligne), deux modes de gestion du sol (labour *versus* SCV), six variétés de riz (FOFIFA 152, FOFIFA 154, FOFIFA 133, Exp 933, Exp 206 & Botramaitso), et deux niveaux de traitement des semences [témoin non traité *versus* traitement à 5 g de GAUCHO[®] T 45 WS (35 % imidaclopride + 10 % thirame) par kg de semences], et une répétition par site. Le riz venait en succession d'une association soja-crotalaire, succédant elle-même à du riz venant en succession d'une association soja-mais (système lancé en 1998 [Michellon, 2001]).

À partir de 2004-2005, chacun des blocs, et respectivement les traitements labour et SCV ont été subdivisés en trois « sous-modes » de gestion du sol comme suit : i) labour avec enfouissement des pailles ; ii) labour sans enfouissement des pailles ni paillage (= « nu ») ; iii) labour sans enfouissement des pailles et avec paillage « renforcé » ; iv) semis direct sur couverture « normale » de résidus de récolte ; v) semis direct sans

couverture (= « nu ») ; vi) semis direct sur couverture « renforcée » de résidus de récolte, avec une répétition par site. Le « renforcement » du paillage, en labour comme en semis direct (traitements 3 et 6), était réalisé à partir des résidus de récolte des blocs laissés sans paillage ni enfouissement des pailles (traitements 2 et 5).

Pour les trois campagnes, on a utilisé des fertilisations de 5 t/ha de fumier + 300 kg/ha de complexe (N, P, K) 11.22.16 + 500 kg/ha de dolomie + 2 × 50 kg/ha d'urée (en deux apports à 25 et 60 jours après semis). La variété utilisée en 2004-2005 et 2006-2007 était FOFIFA 161.

En 2002-2003 et 2004-2005, un mois après le semis du riz, des pièges Barber (Barber, 1931) de 0,10 m de diamètre, contenant une solution d'eau savonneuse, ont été implantés dans chaque parcelle, à raison d'un piège au centre de la parcelle en 2002-2003 et cinq pièges en quinconce en 2004-2005, qui ont été relevés une semaine après, pour détermination de la macrofaune épigée (sauf les diptères adultes attirés par les cadavres en décomposition, à l'exception des Asilidae). Du fait d'une forte pluie lors du piégeage d'Ibity en 2005, celui-ci a été renouvelé une semaine après, de sorte qu'il s'est ainsi trouvé décalé par rapport à celui d'Andranomanelatra. En 2003, le piégeage a été répété sur les deux sites au mois d'avril, avant la récolte.

En 2002-2003, une fois par mois, du semis à la récolte, la macrofaune endogée a été échantillonnée par une méthode dérivée de la méthode « TSBF » d'Anderson et Ingram (1993) : prélèvement d'une carotte de 0,20 m × 0,20 m de surface par parcelle, centrée sur un poquet dont la position était déterminée par tirage au hasard, de profondeur variable (déterminée par celle de la surface de compaction). En 2004-2005, on a procédé à un seul échantillonnage d'une carotte de 0,25 m × 0,25 m de surface et de 0,30 m de profondeur. Dans les deux cas, toute la faune visible à l'œil nu, y compris celle de la litière, a été comptée sur place. En 2004-2005, les individus collectés ont en plus été conservés dans l'éthanol à 70 %, à raison d'un flacon par carotte, pour pesée ultérieure au laboratoire, après évaporation de l'éthanol, par groupes taxonomiques. Les individus

collectés par les deux types d'échantillonnage ont été assignés à des groupes écologiques fonctionnels probables (selon Delvare et Aberlenc, 1989 ; Brown *et al.*, 2001). Les données collectées ont permis le calcul de l'abondance des différents taxons par unité de surface.

En 2004-2005 et 2006-2007, au tallage du riz, on a procédé à la notation visuelle de l'attaque par les Scarabeoidea terricoles, sur une échelle de 1 à 5 (où 1 = aucun dégât, et 5 = 100 % des brins attaqués) (Ratnadass, 2012b). En 2005, sur les deux sites, et en 2007 à Andranomanelatra, une seconde notation de l'attaque avant la récolte a été réalisée. Pour les trois campagnes, le paddy a été pesé après la récolte. Ces observations ont été effectuées sur les « parcelles » utiles, c'est-à-dire sur les six lignes centrales de chaque parcelle (soit 5,75 m²). Pour les campagnes alternatives (2003-2004 et 2005-2006), les parcelles étant conduites en soja et en avoine semée en dérobée, n'ont pas fait l'objet d'observations.

Préférences alimentaires de trois espèces de vers blancs

Une première série d'études a été conduite de janvier à mars 2006 sur des larves de *Bricoptis variolosa*¹, Cetoniiidae, et *Apicencya waterloti*², Melolonthidae, récoltées à Andranomanelatra, et en mai-juin 2006 sur des larves d'*Heteroconus paradoxus*³, Dynastidae, récoltées en plusieurs endroits dans un rayon de 30 km autour d'Antsirabe.

Les études ont été conduites à la température du laboratoire du FOFIFA à Antsirabe (20-23 °C) dans des terrariums parallélépipédiques de dimensions 0,30 m × 0,25 m × 0,025 m (largeur × hauteur × profondeur) consistant en des parois de verre transparent dont l'une était amovible. Ces terrariums étaient remplis avec la couche supérieure (0-0,15 m) du sol (stérilisé à l'étuve pendant 72 heures à 60 °C) du site où la larve avait été récoltée. Une extrémité était remplie avec une colonne de bouse de vache également

stérilisée. Un plant de riz de 15 j (cv FOFIFA 161) était repiqué à l'autre extrémité.

Des larves de troisième stade (L3) des trois espèces ont été placées dans la partie centrale du terrarium, à une profondeur de 0,025 m, entre 7 et 14 j après le repiquage du riz (pour permettre son enracinement). Toutes les parois en verre ont été couvertes de carton opaque afin de simuler les conditions naturelles d'obscurité du sol. Le sol a été maintenu humide par arrosage « au besoin » afin d'autoriser la croissance de la plante et la survie larvaire. Les larves ont été retirées 7 jours après l'infestation, en enlevant la paroi de verre amovible.

Des observations visuelles ont été faites chaque matin à 9 h. Elles ont porté sur les dégâts au système racinaire (racines soit sectionnées transversalement soit mangées sur leur longueur), sur la position des larves lorsqu'elles étaient visibles de l'extérieur. Il y a eu quatre répétitions (terrariums) dans le temps. Dans le cas d'*H. paradoxus*, seule la position de la larve à la fin de l'expérimentation a été notée.

Variation du statut des vers blancs en fonction de la matière organique du sol

Une seconde série d'études a été conduite dans les mêmes conditions de laboratoire, avec les mêmes terrariums que précédemment. Ces terrariums ont été remplis avec la couche supérieure (0-0,15 m) de sols ferrallitiques de parcelles menées en labour continu pendant plusieurs années à Andranomanelatra et Ibity. Les mouvements larvaires et les dégâts au riz ont été observés visuellement.

Il y a eu trois traitements par type de sol : i) 1,2 kg de sol « pur » ; ii) 1 kg de sol mélangé à 100 g de pailles de riz broyées ; et iii) 1 kg de sol mélangé à 100 g de bouse de vache séchée. Tous les sols, les pailles de riz et la bouse de vache ont été stérilisés à l'étuve pendant 72 heures à 60 °C avant utilisation. Des analyses de teneurs en carbone et azote organiques ont été effectuées sur des échantillons représentatifs de tous les substrats par le Laboratoire des sols du FOFIFA (Antananarivo).

¹ Gory & Percheron, 1833.

² Dewailly, 1950.

³ Endrödi, 1968.

Les terrariums ont été divisés en leur centre par une paroi de carton fort de façon à faire deux compartiments. Deux plants de riz (cv FOFIFA 161) ont été repiqués à une extrémité de chaque compartiment de chaque terrarium et arrosés quotidiennement. Les études ont été conduites sur des larves de fin de deuxième stade (L2) et de début de troisième stade (L3) d'*Hexodon unicolor*⁴ récoltées en mars 2006 à Andranomanelatra, ainsi que de larves de *B. variolosa* et *A. waterloti*, et de larves d'*H. paradoxus* et *Heteronychus arator rugifrons*⁵, *H. bituberculatus*⁶ et *H. plebeius*⁷ récoltées en mai-juin 2006 sur plusieurs sites dans un rayon de 30 km autour d'Antsirabe.

Une semaine après le repiquage du riz, un ver blanc a été placé sous la surface du sol à l'extrémité opposée à celle du plant de riz dans chaque compartiment. La position des vers blancs (associés au sol seul ou aux racines du riz), et le cas échéant les dégâts au riz, ont été observés une semaine après. Il y a eu quatre répétitions de six compartiments pour *A. waterloti*, *H. unicolor* et *H. paradoxus*, et trois répétitions pour *B. variolosa* et chacune des trois espèces d'*Heteronychus*.

Analyse statistique des données

Les données ont été soumises à l'analyse de la variance avec le module « Modélisation des données/Anova » du logiciel XLStat (Addinsoft, 2011), avec comparaison des moyennes par le test de Newman-Keuls sans transformation pour les données pondérales (biomasse de la macrofaune et rendement du riz paddy), après transformation racine carrée pour les données issues de dénombrements et pourcentages. Les données issues de notations visuelles d'attaque ont été analysées par le test non paramétrique de Friedman suivi de la comparaison multiple des rangs suivant la procédure de Nemenyi (Module « Tests non paramétriques » de XLStat). Les corrélations entre notes d'attaque et rende-

ments ont été effectuées avec le module « Tests de corrélation/association » de XLStat (coefficient de corrélation de Spearman). Dans l'analyse des données de l'essai de 2002-2003, le facteur variétal n'a pas été pris en compte dans la mesure où ce sont les moyennes obtenues sur les six variétés qui ont été considérées pour tous les paramètres.

Résultats

Impact du système de culture sur la macrofaune associée au riz pluvial

Les principaux taxons identifiés sur les deux sites et leurs groupes fonctionnels *a priori* sont donnés au *tableau 1*.

Tableau 1. Groupes taxonomiques identifiés dans le cadre d'échantillonnages de sol et de piégeage « Barber » à Andranomanelatra et Ibity au cours des campagnes 2002-2003 et 2004-2005.

Table 1. Taxonomic groups identified in soil samplings and pitfall trapping at Andranomanelatra and Ibity during the 2002-2003 and 2004-2005 cropping seasons.

| Phylum | Classe | Ordre | Super-famille, Famille | Fonction <i>a priori</i> | |
|------------------------|-------------------------|------------|------------------------|--------------------------|------------|
| Annelida | Oligochaeta | | | Saprophage/géophage | |
| Arthropoda | Arachnida | Araneae | | Prédateur | |
| | | Acari | | Saprophage | |
| | Chilopoda | | | Prédateur | |
| | Crustacea | Isopoda | | Saprophage | |
| | Diplopoda | | | Phytophage | |
| | Insecta | Coleoptera | Carabidae | | Prédateur |
| | | | Cicindellidae | | Prédateur |
| | | | Curculionidae | | Phytophage |
| | | | Elateridae | | Phytophage |
| | | | Scarabeoidea | | Phytophage |
| Tenebrionidae | | | | Phytophage | |
| Larves autres familles | | | | Phytophage | |
| Diptera | | | Asilidae | | Prédateur |
| | Larves autres familles | | Saprophage | | |
| Heteroptera | Reduviidae | | Prédateur | | |
| | Cydnidae | | Phytophage | | |
| Hymenoptera | Formicidae | | Saprophage | | |
| | Adultes autres familles | | Prédateur | | |
| Isoptera | Termitidae | | Saprophage/géophage | | |

⁴ Olivier, 1789.

⁵ Fairmaire, 1781.

⁶ Kolbe, 1900.

⁷ Klug, 1833.

Au nombre des principaux « vers blancs » (larves et adultes de Scarabeoidea), on relevait le Dynastide *H. unicolor*, particulièrement abondant à Andranomanelatra (où il représentait 49,5 % des effectifs capturés aux pièges Barber en décembre 2002, toutes catégories confondues, comparé à 15,0 % à Ibity). Au nombre des auxiliaires, la Cicindèle prédatrice *Hipparidium equestre*⁸, arrivait en tête, représentant 3,1 % des captures en décembre 2002 à Andranomanelatra, comparé à 8,4 % à Ibity. Au nombre des saprophages/géophages, les vers de terre étaient dominants, en particulier à Ibity où ils représentaient 53,2 % des effectifs de la macrofaune tellurique échantillonnée durant la campagne 2002-2003, contre 8,9 % à Andranomanelatra. Ceux-ci appartenaient vraisemblablement surtout à l'espèce *Pontoscolex corethrurus*⁹, particulièrement abondante dans la région (Coq *et al.*, 2007 ; Rabary *et al.*, 2011). En 2002-2003, on n'a pas observé de différences significatives entre traitements en termes de nombre de captures aux pièges Barber, que ce soit en décembre ou en avril, et en particulier pas d'effet négatif du traitement de semences sur les différents compartiments de la macrofaune du sol, bien que les effectifs, sauf pour la fraction « phytophages », soient plus importants en SCV qu'en labour.

En 2003, l'analyse des cumuls des effectifs totaux et des différents compartiments de la macrofaune tellurique n'a pas non plus fait apparaître de différences significatives entre traitements (malgré des effectifs toujours plus importants en SCV qu'en labour, et un test F positif pour les effectifs totaux) ni de différences liées au traitement insecticide des semences. Les effectifs moyens mensuels totaux par m² étaient ainsi de 168 en SCV non traité, de 183 en SCV traité, de 95 en labour non traité et de 81 en labour traité.

En revanche, des différences significatives entre modes de gestion du sol ont été observées sur les prélèvements du mois de février, concernant les prédateurs et les saprophages/géophages (en faveur du SCV), mais pas les phytophages (figure 1). Par

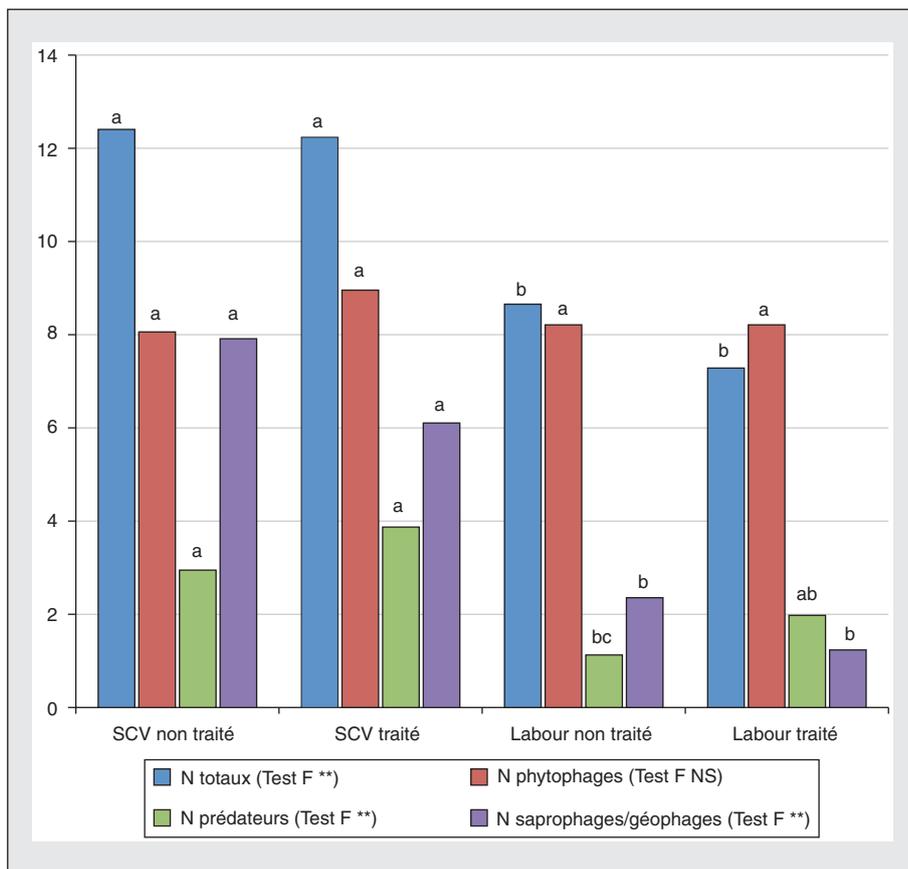


Figure 1. Effectifs moyens de la macrofaune du sol par mètre carré observés à l'échantillonnage de février 2003 à Andranomanelatra et Ibity.

Figure 1. Mean numbers of soil macrofauna per square meter observed during the sampling of February 2003 at Andranomanelatra and Ibity.

Signification au test F : NS : non significatif ; ** : significatif au seuil de 1 %.

Les moyennes d'une même couleur surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

ailleurs, aucun effet dépressif du traitement de semences n'a été observé sur aucun groupe fonctionnel.

En 2005, les effectifs de la faune épigée capturée aux pièges Barber ont été significativement plus importants sur les traitements en SCV que sur les traitements en labour, sans effet dépressif du traitement de semences (figure 2). Sur les prélèvements de faune tellurique, les effectifs et biomasses des différents compartiments de la faune tellurique étaient supérieurs en SCV comparé au labour, mais les différences n'étaient pas significatives.

Impact du système de culture sur l'attaque du riz et le rendement

En 2002-2003, après quatre ans de gestion SCV sous forte pression

d'insectes terricoles, les rendements de riz, en l'absence de protection insecticide par traitement des semences à l'imidaclopride, étaient équivalents à ceux du riz labouré avec traitement des semences (figure 3).

En 2004-2005, une évolution des attaques entre le tallage et la récolte du riz a pu être observée surtout sur les différents traitements en SCV, alors qu'il y a eu peu d'évolution en labour. À Andranomanelatra en particulier, ces attaques tardives ont été le fait de l'espèce *Apicencya waterloti* (Coleoptera : Melolonthidae).

En 2005, le traitement SCV « renforcé » avec semences traitées a eu un rendement significativement supérieur au SCV « normal » non traité, tous les autres traitements se classant de façon intermédiaire (figure 4). Globalement, indépendamment des modes de gestion des sols, les meilleurs rendements

⁸ Dejean, 1826.

⁹ Müller, 1856.

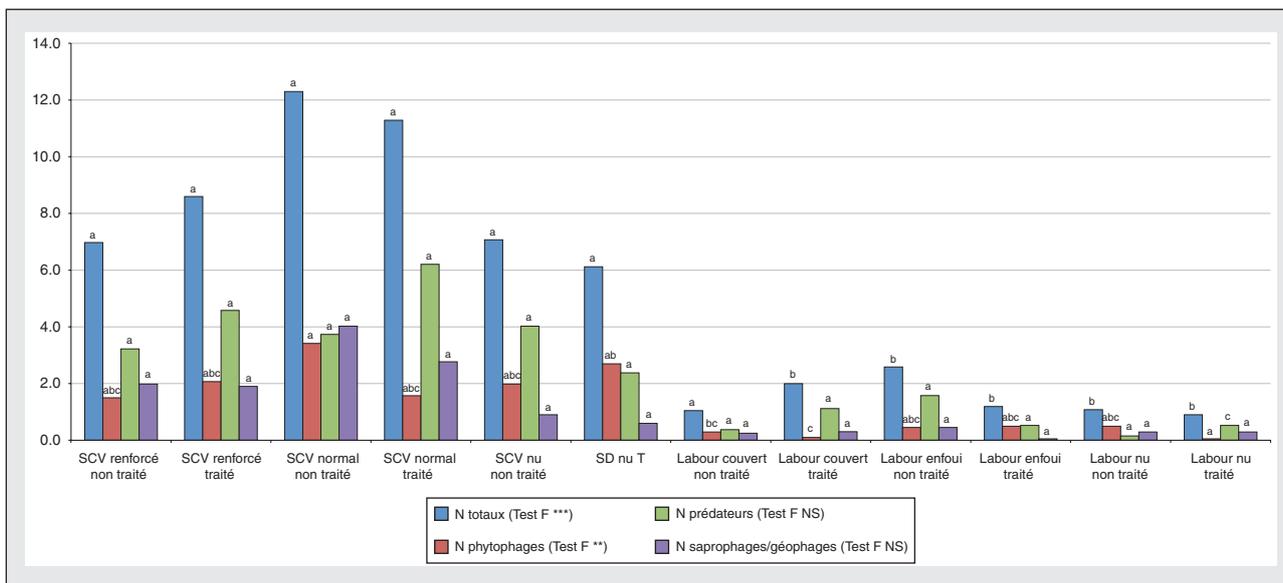


Figure 2. Nombre moyen de captures par piège « Barber » effectuées à Andranomanelatra et Ibity en janvier-février 2005.

Figure 2. Mean numbers of pitfall trap catches in January-February 2005 at Andranomanelatra and Ibity.

Signification au test F : NS : non significatif ; ** : significatif au seuil de 1 % ; *** : significatif au seuil de 0,1 %.

Les moyennes d'une même couleur surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

ont été obtenus avec traitement insecticide des semences. En 2007, il n'y a pas eu de différences significatives de rendements bien que les meilleurs rendements aient été obtenus avec traitement de semences (figure 4).

Les notes d'attaque au tallage et à la récolte ont été très fortement corrélées au rendement en paddy (tableau 2), confirmant l'importance des vers

blancs comme contrainte majeure à la production du riz pluvial, tout en validant l'échelle de notation adoptée (Ratnadass *et al.*, 2012b).

Préférences alimentaires de trois espèces de vers blancs

Dans la première série d'essais, *B. variolosa* s'est révélée être une espèce

saprophage obligatoire au stade larvaire, car les plants de riz n'ont jamais été attaqués et les larves n'ont jamais été trouvées associées aux racines. À l'inverse, *A. waterloti* s'est révélée être une espèce rhizophage obligatoire, toutes les racines des plants de riz ayant été consommées (figure 5).

Par ailleurs, *H. paradoxus*, au bout d'une semaine (en l'absence d'observations quotidiennes pour cette espèce), a été retrouvée associée aux racines du riz, au sol « pur » et à la bouse de vache dans respectivement 40, 20 et 40 % des cas.

Variation du statut des vers blancs en fonction de la matière organique du sol

La seconde série d'essais a confirmé le statut de *B. variolosa* et *H. unicolor* (tous deux saprophages obligatoires), celui de *A. waterloti* (rhizophage obligatoire) et celui de *H. paradoxus* (rhizophage facultatif) de même que celui des trois autres espèces de Dynastides étudiées, *Heteronychus plebeius*, *H. bituberculatus* et *H. arator rugifrons*. En effet, les larves (vers blancs) de ces trois dernières espèces ont rarement attaqué les racines de riz



Figure 3. Rendements en riz paddy (t/ha) selon le traitement de semences et la gestion du sol (Andranomanelatra et Ibity, 2003).

Figure 3. Paddy rice yields (t/ha) according to seed-dressing and soil management (Andranomanelatra and Ibity, 2003).

Les moyennes surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

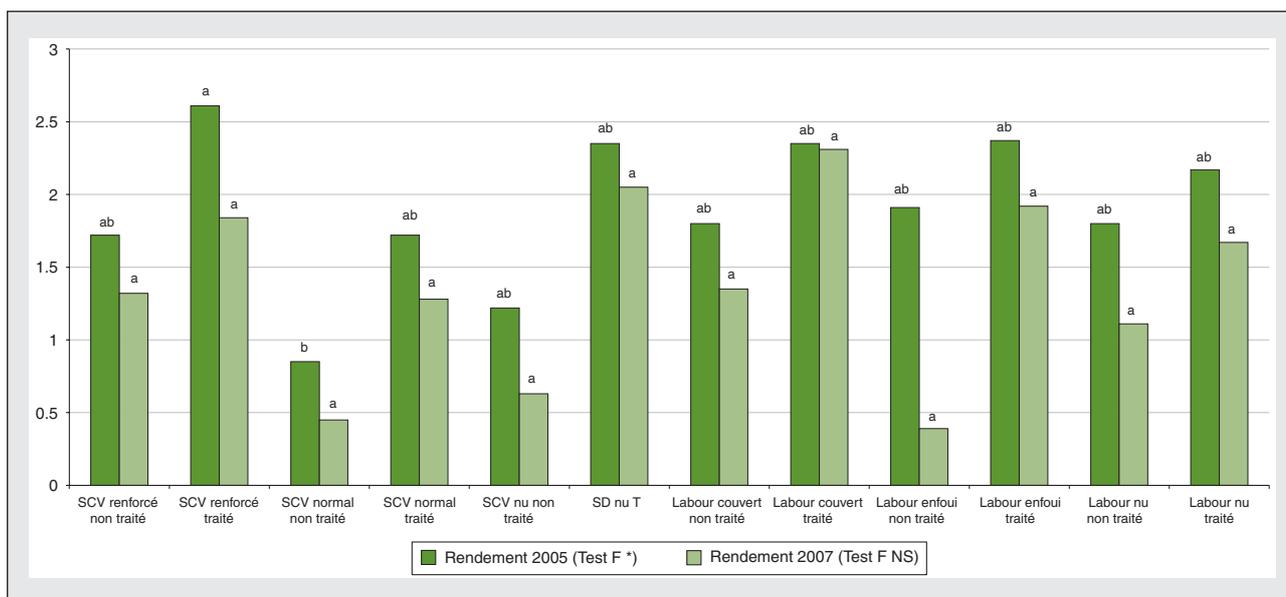


Figure 4. Rendements en riz paddy (t/ha) selon le traitement de semences et la gestion du sol (Andranomanelatra et Ibity, 2005 et 2007).

Figure 4. Paddy yields (t/ha) according to seed-dressing and soil management (Andranomanelatra and Ibity, 2005 and 2007).

Les moyennes d'une même couleur surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

dans les sols additionnés de paille de riz broyée, l'addition s'étant traduite par une plus grande richesse en matière organique (7,1 %, comparé à 5,7 % sans addition) à fort ratio C/N (26,6, comparé à 15,1 sans addition). Elles n'ont évolué de la saprophagie à la rhizophagie que dans les sols « purs » (pauvres en MO) ou riches en une MO à faible ratio C/N, suite à l'addition de bouse de vache (figure 6).

Discussion

Nos résultats montrent que pour la rotation étudiée, quatre années de SCV

ont conduit à une biodiversité de la macrofaune du sol (notamment en ce qui concerne les antagonistes des ravageurs) plus grande que quatre années de labour, dans les deux sites considérés. Il en a été de même pour le rendement du riz pluvial. Cependant, durant les quatre années suivantes, on a assisté : i) à une réduction globale des différences entre effets des modes de gestion du sol ; et ii) à une interaction site × modes de gestion du sol, avec disparition de l'effet gestion du sol à Andranomanelatra, alors que la différence s'est maintenue à Ibity.

Le « tassement » global des différences pourrait être lié à l'introduction de l'avoine dans la rotation, qui aurait

contribué à entretenir les populations de vers blancs. Ce phénomène a déjà été observé dans le cas de systèmes impliquant d'autres graminées comme l'éleusine (Ratnadass *et al.*, 2008) ou le *Brachiaria* (Rabary *et al.*, 2011). L'interaction site × mode de gestion du sol pourrait être liée aux différences d'évolution, non directement liées à notre expérimentation, des spectres d'entomofaune dans les deux sites. En particulier l'importance prise par *A. waterloti*, espèce rhizophage particulièrement destructrice (Randriamanantosa *et al.*, 2010) à Andranomanelatra, les quatre dernières années, avec un impact particulier sur le bloc en SCV (alors que cette

Tableau 2. Corrélations entre rendements et notes d'attaque.

Table 2. Correlations between yields and damage scores.

| Corrélation | R (Spearman) | ddl | p |
|-----------------------------------|--------------|-----|----------|
| Note tallage 2005/rendement 2005 | -0,821 | 22 | < 0,0001 |
| Note récolte 2005/rendement 2005 | -0,834 | 22 | < 0,0001 |
| Note tallage 2007/rendement 2007 | -0,728 | 22 | < 0,0001 |
| Note récolte 2007*/rendement 2007 | -0,725 | 10 | 0,01 |

ddl : degrés de liberté ; * notation effectuée seulement à Andranomanelatra.

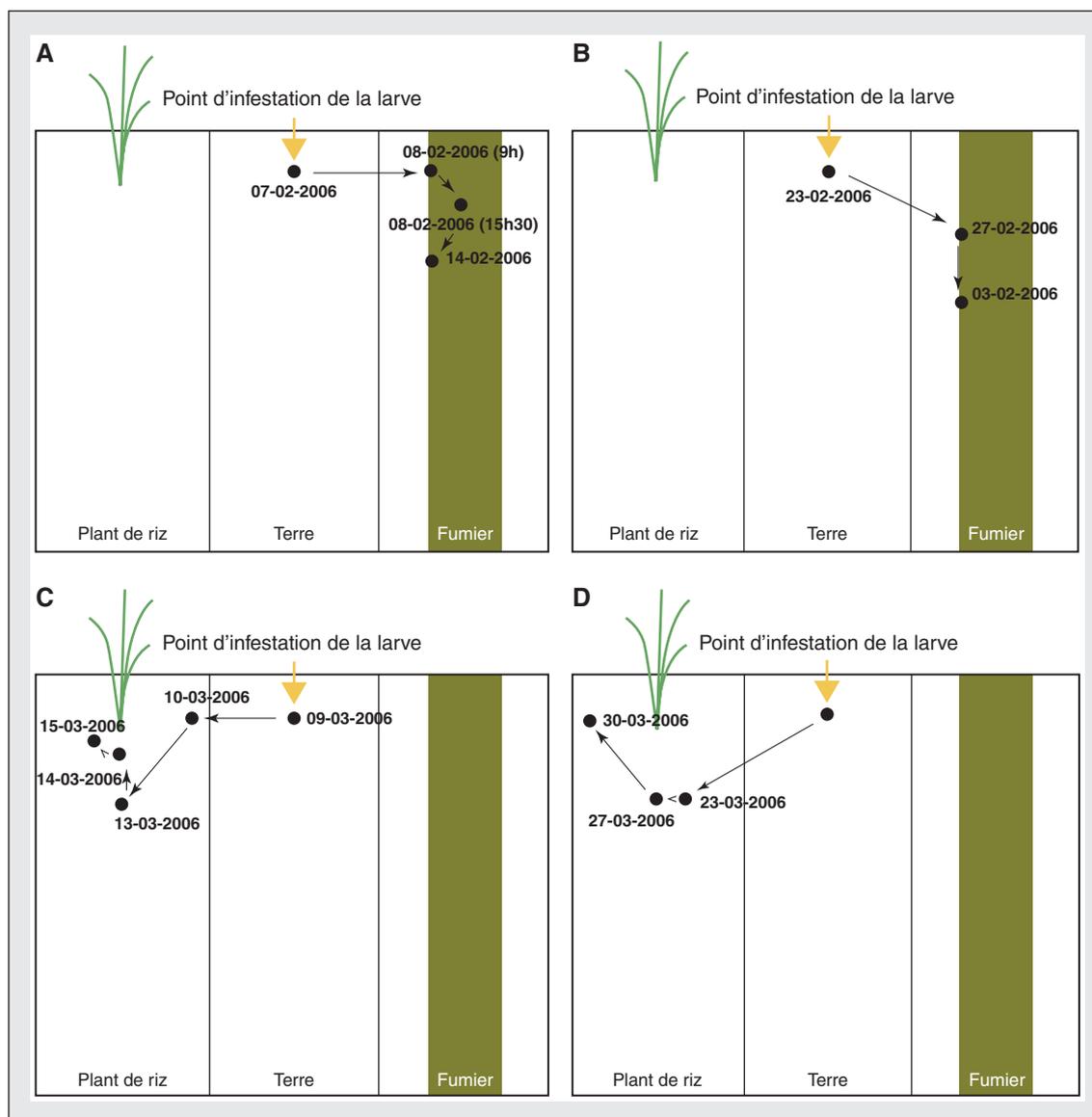


Figure 5. Exemples de mouvements larvaires de Scarabeoidea à partir de l'endroit où l'individu a été déposé au début de l'expérience.

Figure 5. Examples of larval movements of Scarab beetles from the point the larva was deposited at the onset of the experiment.

A et B) *Bricoptis variolosa* ; C et D) *Apicencya waterlotii*.

espèce est restée quasiment absente du site d'Ibity) pourrait avoir contre-carré l'effet positif du SCV. Nos données ne mettent pas en évidence d'effet négatif du traitement de semences sur la macrofaune tellurique, en particulier les groupes non phytophages, quel que soit le mode de gestion du sol. Si les systèmes SCV ont déjà été signalés comme suppressifs des impacts négatifs des vers blancs sur les cultures (Ratnadass *et al.*, 2006), cela avait jusqu'à présent été

attribué principalement à une augmentation de la biodiversité (en faveur d'espèces saprophages et prédatrices), ou à des effets de tolérance ou de compensation de la plante par rapport aux attaques, dus à une meilleure nutrition dans ces systèmes. Par ailleurs, l'application de fumure organique (en particulier de la bouse de vache) a jusqu'à présent surtout été considérée comme une source d'infestation par certaines espèces de vers blancs, en particulier *H. plebeius*

(Rajaonarison et Rakotoarisoa, 1994) à Madagascar. Nos résultats montrent que, contrairement à la perception qu'en ont les agriculteurs et les chercheurs, *H. unicolor* n'est pas un ravageur mais plutôt un auxiliaire, « ingénieur du sol ». Cette espèce de Dynastidae, comme tous les Cetoniidae, par opposition aux autres « vers blancs », devrait donc être comptabilisée comme saprophage plutôt que phytophage, ce que les clés d'identification au stade larvaire

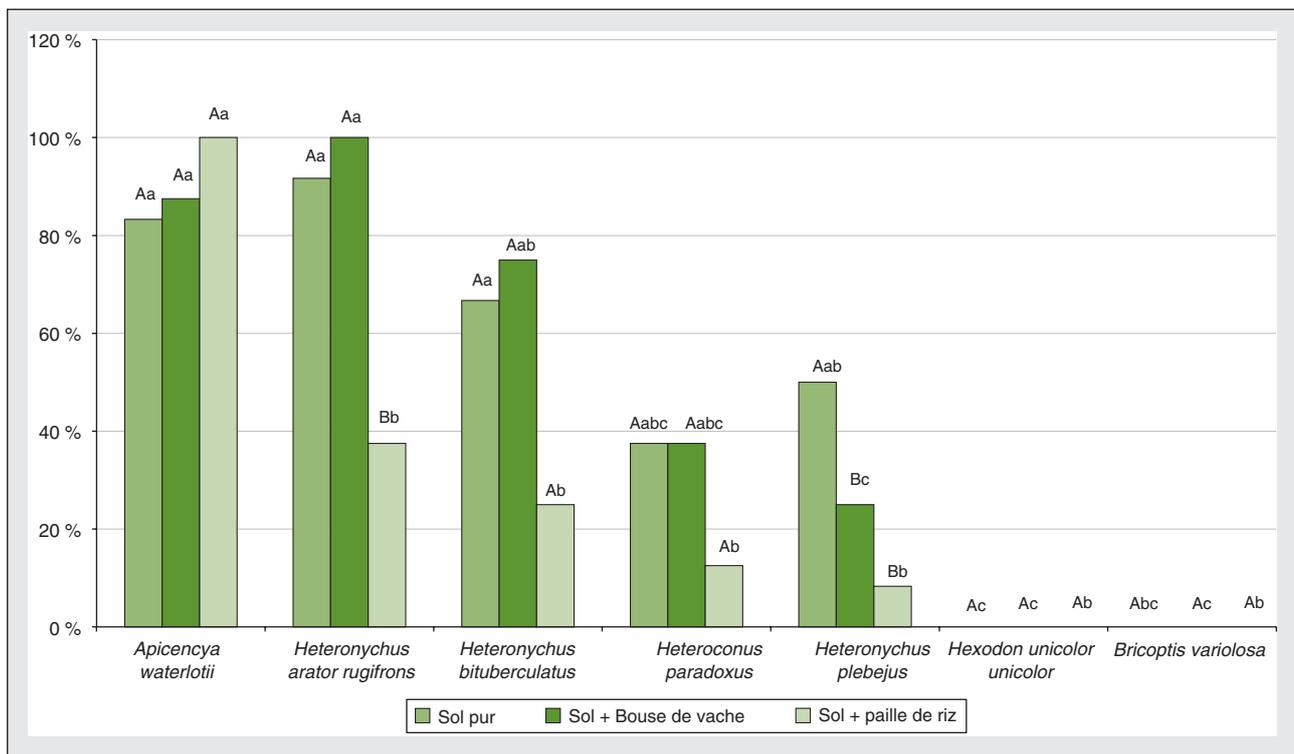


Figure 6. Dégâts aux racines de riz (cv. FOFIFA 161) en terrariums selon l'espèce de ver blanc et la qualité du sol.

Figure 6. Damage to rice roots (cv. FOFIFA 161) in terrariums according to the white grub species and the soil quality.

Pour un même milieu, les moyennes surmontées d'une même lettre minuscule ne sont pas significativement différentes par la méthode de Newman-Keuls. Pour une même espèce, les moyennes surmontées d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes par la méthode de Newman-Keuls.

(Randriamanantosa *et al.*, 2010) autorisent depuis peu. Ainsi, l'amélioration de la production du riz sous SCV serait liée à son double effet suppressif sur les espèces rhizophages et bénéfiques pour les espèces saprophages.

En ce qui concerne *H. paradoxus* et *H. bituberculatus*, l'addition de bouse de vache au sol n'a pas affecté leur relation au riz, contrairement à la paille de riz, bien que son effet n'ait pas été statistiquement significatif. Dans le cas de *H. plebejus*, c'est à la fois la bouse de vache et la paille de riz qui ont significativement réduit le dégât au riz comparé au sol seul, tandis que dans le cas de *H. arator rugifrons*, c'est seulement l'addition de paille de riz qui a significativement réduit les dégâts au riz. Cela va dans le sens d'observations antérieures (Rajaonarison et Rakotoarisoa, 1994) et des connaissances des agriculteurs selon lesquelles la bouse de vache est une source d'infestation des parcelles par *H. plebejus*. Plusieurs espèces de Scarabeoidea peuvent se nourrir à la fois de matière organique morte et de tissus végétaux vivants, mais leur aptitude à sélection-

ner les uns ou les autres est mal connue (Ridsdill Smith, 1975). Des recherches récentes au Brésil ont aussi permis de distinguer différentes familles de Scarabeoidea, particulièrement les Dynastidae qui se nourrissent normalement de matière organique et rarement de racines, et les Melolonthidae qui se nourrissent principalement de racines et moins de matière organique (par exemple *Diloboderus* sp.) (Brown et Oliveira, 2004).

Par ailleurs, la situation est compliquée par le fait que l'addition de fumier peut aussi avoir un effet phagostimulant sur les vers blancs, comme cela a été rapporté par King (1977) sur *Heteronychus arator* en Nouvelle-Zélande. D'un côté, cela pourrait accélérer la décomposition de la litière par les espèces saprophages obligatoires ou facultatives, de l'autre, cela pourrait avoir un impact négatif en augmentant la consommation de tissus vivants par les espèces rhizophages obligatoires.

Reste que le changement de statut de certaines espèces de vers blancs selon le statut organique du sol (à savoir leur

passage de celui de ravageur à celui d'ingénieur du sol), avec son corollaire d'effets bénéfiques « en cascade » pour les cultures (*via* notamment des mécanismes de tolérance suite à une meilleure nutrition des plantes) ouvre de nouvelles perspectives de gestion des agrosystèmes rizicoles pluviaux. Plutôt que de chercher à les détruire, il convient de ménager, voire favoriser ces espèces « plastiques » dans les parcelles de riz pluvial, au même titre que les espèces strictement saprophages, en leur fournissant, par gestion SCV, des résidus végétaux qu'elles décomposeraient, augmentant ainsi la teneur du sol en matière organique. Toutefois, ces perspectives sont à considérer avec précaution, car dépendant fortement du spectre d'entomofaune local et de sa variation, qui n'est pas maîtrisable au niveau de la parcelle (cas de l'infestation par le hanneton *A. waterloti*, dont les adultes ont une forte capacité de dispersion). Ainsi, dans les situations où les *Heteronychus* spp., dont les adultes sont responsables des principaux dégâts, sont dominants, une telle gestion *via* l'amélioration du

statut organique du sol ne saurait suffire. En revanche, elle pourrait être prise en compte dans le cas de la dominance d'une espèce comme *H. paradoxus*, dont les adultes ne sont pas responsables de dégâts sur le riz. Cela, sous réserve, d'une part, de quantifier ces effets bénéfiques et, d'autre part, d'une gestion adaptée, dans l'espace et dans le temps, pour limiter les risques de pression accrue de ces ravageurs sur des parcelles voisines qui n'auraient pas bénéficié de gestion SCV. ■

Références

- Addinsoft, 2011. *XLSTAT Version 2011.4.02*. <http://www.xlstat.com>
- Anderson JM, Ingram J, 1993. *Tropical soil biology and fertility. A Handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford (UK) : CAB International.
- Barber HS, 1931. Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 46 : 259-66.
- Brévault T, Bikay S, Maldes JM, Naudin K, 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research* 97 : 140-9.
- Brown GG, Oliveira LJ, 2004. *White grubs as agricultural pests and as ecosystem engineers*. Abstract for 14th International Colloquium on Soil Zoology and Ecology, 30 Aug-3 Sept, Rouen (France).
- Brown GC, Pasini A, Benito NP, de Aquino AM, Fernandes Correia MA, 2001. *Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: A preliminary analysis*. International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems. 8-10 November 2001, Montreal.
- Coq S, Barthès BG, Oliver R, Rabary B, Blanchart E, 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues – an experimental study (Madagascar). *Soil Biology and Biochemistry* 39 : 2119-28.
- Delvare G, Aberlenc HP, 1989. *Insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles*. Montpellier : Cirad.
- King PD, 1977. Effect of plant species and organic matter on feeding behaviour and weight gain of larval black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera : Scarabaeidae). *New Zealand Journal of Zoology* 4 : 445-8.
- Michellon R, Moussa N, Rakotoniaina F, Razanamparany C, Randriamanantsoa R, 2001. *Influence du traitement des semences et de la date de semis sur la production du riz pluvial en fonction du mode de gestion du sol sur les Hautes Terres*. Antsirabe (Madagascar) : TAFI ; Cirad ; FOFIFA.
- Rabary B, Naudin K, Letourmy P, Mze Hassani I, Randriamanantsoa R, Michellon R, Rafarasoa L, Ratnadass A, 2011. *White grubs, Scarabaeidae larvae (Insecta, Coleoptera) control by plants in conservation agriculture: effects on macrofauna diversity*. 5th World Congress of Conservation Agriculture. 26-29 September 2011, Brisbane.
- Rajaonarison JHJ, Rakotoarisoa D, 1994. *Bionomie et contrôle des populations de Heteronychus arator, H. bituberculatus et de H. plebejus (Coleo. Scarabaeidae : Dynastinae)*. Antananarivo : FOFIFA.
- Randriamanantsoa R, Aberlenc HP, Ralisoa OB, Ratnadass A, Vercambre B, 2010. Les larves des *Scarabaeoidea* (Insecta, Coleoptera) en riziculture pluviale des régions de haute et moyenne altitudes du Centre de Madagascar. *Zoosystema* 32 : 19-72.
- Randriamanantsoa R, Ratnadass A, 2005. *Protection insecticide du riz pluvial par traitement de semences à Madagascar*. In : AFPP, ed. Actes de la 7^e Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, 26-27 Oct 2005, Montpellier.
- Ratnadass A, Michellon R, Randriamanantsoa R, Séguy L, 2006. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. In : Uphoff N, Ball A, Fernandes E, Herren H, Husson O, Laing M, et al., eds. *Biological Approaches for Sustainable Soil Systems*. Boca Raton (Florida, USA) : CRC Press.
- Ratnadass A, Rafamatanantsoa E, Rajaonera TE, Ramahandy F, Ramarofidy M, Randriamanantsoa R, et al., 2008. Dispositifs pour l'évaluation des impacts des systèmes de culture sur les dégâts des insectes terricoles sur le riz pluvial à Madagascar. *Terre Malgache* 26 : 153-5.
- Ratnadass A, Fernandes P, Avelino J, Habib R, 2012a. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32 : 273-303.
- Ratnadass A, Razafindrakoto Raeliarisoa C, Andriamizely H, Raveloson Ravaomanarivo LH, Rakotoarisoa HL, Ramahandy F, et al., 2012b. Protection of upland rice at Lake Alaotra (Madagascar) from black beetle damage (*Heteronychus plebejus*) (Coleoptera: Dynastidae) by seed dressing. *African Entomology* 20 : 177-81.
- Ridssdill Smith TJ, 1975. Selection of living grass roots in the soil by larvae of *Sericesthis nigrolineata* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 18 : 75-86.