

Lutte biologique intégrée contre des insectes terricoles, *Heteronychus* spp à Madagascar, par un champignon entomopathogène sur riz pluvial en semis direct sous couverture végétale

C. Razafindrakoto Raeliarisoa⁽¹⁾, H.L. Rakotoarisoa⁽¹⁾, A. Razafindrakotomamonjy⁽²⁾, A. Ratnadass⁽³⁾ et B. Vercambre⁽⁴⁾

- 1) FOFIFA/URP - SCRiD, CRRME, BP 30, Ambohitsilaozana Station Alaotra, Madagascar - nasoanjaka@yahoo.fr
- 2) FOFIFA/CRRME, BP 30, Ambohitsilaozana Station Alaotra, Madagascar
- 3) CIRAD/UPR/HortSys ICRISAT, BP 12404, Nyamey, Niger
- 4) CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France

RÉSUMÉ

Les travaux menés par le FOFIFA de 1993 à 2001 ont montré que, sur labour, ce ravageur peut être contrôlé efficacement par traitement de sol avec le champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae*. L'impact du ravageur sur le rendement des céréales étant particulièrement important sous couverture végétale, l'efficacité de *M. anisopliae* sur *H. plebejus* en riziculture pluviale a été évaluée au FOFIFA à Ambohitsilaozana de 2004 à 2007 sous paillage. Les tests sous couverture végétale morte ont été conduits sur une parcelle de 1 ha, divisée en 4 blocs comportant chacun 4 parcelles élémentaires avec 4 traitements : T0. Témoin non traité à sol nu et labouré; T1. Sol paillé et non traité; T2. Sol nu, labouré et traité par *M. anisopliae*; T3. Sol paillé et traité par *M. anisopliae*. Les observations ont concerné les pourcentages de levée des plants et d'attaque des touffes et tiges de riz par *Heteronychus* spp. En 2005-06, la levée a été plus faible, les pourcentages de touffes et de tiges attaquées plus élevés sous couverture que sur labour (avec ou sans champignon), sans effet du champignon, alors que sur labour, l'effet du champignon se manifestait dès 15 jours après semis (JAS), et encore plus nettement 50 JAS pour les 2 paramètres. Ces résultats ont été confirmés en 2006-07 : sans application de champignon, les pourcentages de touffes attaquées ont été supérieurs sous paillage (> 35%) par rapport au labour (25 %) à 30 JAS, alors qu'ils étaient réduits (< 17%) sur les parcelles inoculées, quelle que soit la couverture du sol. Les nombres d'insectes prélevés (cumuls de 4 prélèvements) ont été supérieurs sur les parcelles couvertes et non traitées (T1) par rapport aux 3 autres traitements. En 2006-07, les parcelles T1 ont été significativement plus attaquées en fin tallage que les parcelles T0 & T3. Les résultats ont montré que l'efficacité sur sol labouré est meilleure que sur sol paillé après trois années d'étude.

Mots clés

Efficacité, *Metarhizium anisopliae*, attaque, abondance, sol paillé, sol labouré, Madagascar.

SUMMARY

BIOLOGICAL CONTROL OF SOIL PESTS, HETERONYCHUS SPP IN MADAGASCAR, BY ENTOMOPATHOGENIC FUNGUS ON UPLAND RICE UNDER DIRECT SEEDING MULCH-BASED CROPPING

Studies conducted by FOFIFA in 1993 to 2001 showed the effectiveness of the fungus *Metarhizium anisopliae* on this pest on conventional tillage. Its effect in field under direct seeding mulch-based cropping (DMC) vs Conventional Tillage (CT) management was evaluated by FOFIFA in Ambohitsilaozana in 2004-2007. The study of the effect of *Metarhizium* on *Heteronychus* sp in fields under DMC vs CT was carried out in Alaotra lake region; the field had a surface area of 1 ha divided into 4 blocks (four replications), each block with four plots. Four treatments were studied: T0 control untreated with conventional tillage, no cover; T1 untreated and no-tillage systems with permanent cover crop/residues exported; T2 treated with conventional tillage, no cover; T3 treated and no-tillage systems with permanent cover crop/residues exported. Observations of rice tuft and stems attacks by *Heteronychus* sp were done 15, 30 and 45 days after sowing for the study of the effect of *Metarhizium*. Abundance of pest soil, particularly *Heteronychus* sp was observed by sampling soil once a month during the experience on the experimental design. In 2005-2006, stem attacks were higher in cover soil plots than in conventional tillage (with *Metarhizium* (T3) or without *Metarhizium* (T1), whereas a fungi effect was manifested from 15 days after sowing, on conventional tillage. These results were confirmed in 2006-2007. Without fungi application, stems and tufts attacks were higher (35 %) in no-tillage systems than on conventional tillage (25 %), whereas they were reduced (< 17%) on treated plots, with or without the presence of a soil cover. Examination of soil sampling revealed that the abundance of *Heteronychus* sp was significantly higher in untreated and no cover plot (T1) than the three other treatments. In 2006-07, T1 plot was significantly more attacked than T0 and T3. After three years, the results showed that *Metarhizium* application was found to work better on CT than on DMC management and there is interaction of rice-based DMC and entomopathogenic treatment of soil

Key words

Upland rice, *Heteronychus* spp., attack, abundance, density, Madagascar.

RESUMEN

LUCHA BIOLÓGICA CONTRA INSECTOS TERRÍCOLAS EN MADAGASCAR, POR UN HONGO SOBRE ARROZ PLUVIAL EN SIEMBRA DIRECTA

Los trabajos desarrollados por el FOFIFA de 1993 a 2001 mostraron que, con labranza, este destructor puede estar eficazmente controlado por tratamiento del suelo con el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*. El impacto del destructor sobre el rendimiento de las cereales estando particularmente importante con cobertura vegetal, se evaluó la eficacia de *M. anisopliae* sobre *H. plebejus* en rizicultura pluvial al FOFIFA a Ambohitsilaozana de 2004 a 2007 bajo acolchado. Los ensayos bajo cobertura vegetal muerta se condujeron en una parcela de 1 ha, dividida en 4 bloques que comportan cada uno 4 parcelas elementarias con 4 tratamientos: T0. Testigo no tratado con suelo desnudo y arado; T1. Suelo acolchado y no tratado; T2. Suelo desnudo, arado y tratado por *M. anisopliae*; T3. Sol acolchado y tratado por *M. anisopliae*. Las observaciones se refirieron a los porcentajes de germinación de las plantas y de ataque de penachos y cañas de arroz por *Heteronychus* spp. En 2005-06, la germinación fue más pequeña, los porcentajes de penachos y de cañas atacados más elevados bajo cobertura que con labranza (con o sin hongo), sin efecto del hongo, mientras que con labranza, el efecto del hongo se manifestaba a partir de 15 días después de la siembra (JAS), y aún más netamente 50 JAS para los 2 parámetros. Estos resultados se confirmaron en 2006-07: sin aplicación de hongo, los porcentajes de penachos atacados fueron superiores bajo acolchado (> 35%) en comparación a la labranza (25 %) a 30 JAS, mientras estaban reducidos (< 17%) en las parcelas inoculadas, cualquiera que sea la cobertura del suelo. Los números de insectos tomados (suma de 4 muestras) fueron superiores en las parcelas cubiertas y no tratadas (T1) en comparación con los 3 otros tratamientos. En 2006-07, las parcelas T1 fueron significativamente más atacadas en fin de amacollamiento que las parcelas T0 & T3. Los resultados mostraron que la eficacia sobre suelo arado está mejor que sobre suelo acolchado después de tres años de estudio.

Palabras clave

Eficacia, *Metarhizium anisopliae*, ataque, abundancia, suelo acolchado, suelo arado, Madagascar.

À Madagascar, la demande croissante en riz et l'augmentation de la pression foncière sur les terres inondées, rizières irriguées et les bas fonds, conduisent au développement d'une riziculture pluviale sur les versants des collines, des bas de pente jusqu'au sommet des *tanety/collines* (Teyssier, 1994), qui du fait de la fragilité de l'écosystème, ne permet pas de concilier les objectifs de durabilité et de production si la riziculture est conduite de façon classique. Les systèmes de culture avec semis direct sur couvertures végétales (SCV) reposant sur deux grands principes, le non labour et le maintien d'une couverture végétale vive ou morte sur le sol tout au long de l'année, les systèmes SCV permettent de réduire l'érosion tout en maintenant voire en augmentant la fertilité du sol (AFD, 2006) et ouvrent de nouvelles perspectives à cette riziculture. Malgré ses effets positifs et bien que les organismes bénéfiques, qui participent à réguler les populations de bio-agresseurs, soient plus abondants dans les systèmes SCV que dans les systèmes conventionnels à labour (Anonyme, 2002, 2003, 2004; Ratnadass *et al.*, 2006), le mode de gestion des sols influe sur l'abondance et la diversité de la macrofaune du sol, la pression de certains ravageurs sur les cultures peut rester importante en SCV (AFD, 2006; Anonyme, 2002, 2003, 2004; Nadama, 2006; Ratnadass *et al.*, 2006). Les insectes terricoles de la famille des Scarabaeidae ou « scarabées noirs » et dont les larves sont parfois appelées « vers blancs ») constituent l'un des principaux obstacles à la diffusion de cette technique. Les populations d'*Heteronychus* sp sont plus abondantes dans le sol sous couverture végétale morte que dans le sol nu (Charpentier *et al.*, 2001; Anonyme, 2002, 2003, 2004; FOFIFA, 2003a; URP-SCRiD, 2003c; Ratnadass *et al.*, 2003; Rakotoarisoa, 2007) si bien que l'attaque par ces ravageurs est considérablement élevée avec ce système.

Heteronychus spp (Scarabaeidae, Dynastinae) sont des insectes nuisibles aux cultures pluviales tels le riz et le maïs à Madagascar. Les dégâts sur les cultures sont attribués aux adultes qui attaquent les jeunes plants en consommant les collets, juste au moment et après leur levée, provoquant le dessèchement des touffes par dilacération des tissus végétaux au niveau du collet (PLI, 1990, 1993). Ces attaques peuvent évoluer et aller jusqu'au 45 ou 60 jours après semis. Une infestation sévère des parcelles peut engendrer une perte de rendement à la récolte obligeant parfois les paysans à ressemer leurs parcelles (PLI, 1990; Rajaonarison, 1993; Rajaonarison et Rakotoarisoa, 1993; Razafindrakoto, 1997, Razafindrakoto, 1998).

L'utilisation de bio-pesticides à base d'entomopathogènes constituerait à terme une alternative prometteuse à la lutte chimique contre les vers blancs. Dans le cas d'une lutte biologique avec un champignon entomopathogène comme *Metarhizium anisopliae*, on augmente artificiellement les populations d'un champignon indigène, par application sur la parcelle d'un produit contenant des spores ou des filaments mycéliens du-dit champignon (Zimmermann, 1993; Silvy et

Riba, 1999). L'efficacité d'un champignon entomopathogène, en tant qu'agent de lutte biologique, résulte des propriétés des populations de l'hôte et du pathogène, en interaction avec les conditions du milieu. Les facteurs liés au pathogène sont: la virulence, la spécificité de l'hôte, le potentiel épizootique, la durée de conservation des spores sans hôte ou encore la capacité de survie du champignon dans le milieu (sol, biomasse microbienne du sol). Pour l'insecte ciblé, la variabilité de la sensibilité des populations hôtes et facteurs internes affectant par exemple la sensibilité de l'hôte (Glare, 1992; Silvy et Riba, 1999). *Metarhizium anisopliae* provoquant la maladie de la muscardine verte chez l'insecte qu'il parasite. Les champignons infectent les insectes par contact, sans que l'ingestion soit nécessaire (Silvy et Riba, 1999). Contrairement au champignon entomopathogène *Beauveria brongniartii* (Deutéromycète), les hyphes de *Metarhizium anisopliae* restent confinés à l'intérieur de l'insecte-hôte et ne pénètrent pas dans le sol (Gottwald et Tedders, 1984). La contamination du sol par ce champignon est ainsi uniquement assurée par la dispersion des spores que l'on attribue aux mouvements d'eau, aux déplacements d'insectes-hôtes, aux déjections des insectes infectés (Ferron *et al.*, 1993; Zimmermann, 1993) et/ou à l'épandage dans le sol des spores de ce champignon aux champs.

Les travaux menés par FOFIFA (Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural à Madagascar) de 1993 à 2001 ont montré que, sur labour, *Heteronychus* spp peut être contrôlé efficacement par traitement du sol avec le champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae* (Razafindrakoto, 1997, 2006a, 2006b, 2007a et 2007b). L'impact du ravageur sur le rendement des céréales étant particulièrement important sous cette couverture végétale, l'efficacité de *M. anisopliae* sur *H. plebejus* en riziculture pluviale a été alors évaluée au Centre régional de recherche du Moyen-Est du FOFIFA à Ambohitsilaozana de 2004 à 2007 sous paillage (couverture morte). Cette étude fait l'objet du présent manuscrit.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site expérimental

L'étude a été menée dans la région du Lac Alaotra, se situant à l'extrémité Nord des Hautes-Terres malgaches, dans le village d'Ambatofotsy (17° 41' latitude Sud, 48° 27' longitude Est), à 765 mètres d'altitude, dans le domaine du FOFIFA – Centre Régional de Recherche du Moyen Est à une altitude de 750 - 760 mètres. Le climat de la région est de type tropical semi-humide, caractérisé par deux saisons contrastées: une saison sèche fraîche et une saison des pluies, dont la pluviométrie est très variable d'une année sur l'autre ces dernières années (950 à 1500 mm de pluviosité moyenne annuelle).

L'étude compare l'efficacité du *M. anisopliae* sur *Heteronychus* spp selon le mode de gestion de sol, sur labour ou sous paillage sous couverture morte. L'expérience a été réalisée de 2004 à 2007, sur un dispositif expérimental qui a été mis en place en 2004 par l'URP-SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat « Systèmes de Culture et Rizicultures Durables », associant l'Université d'Antananarivo, le FOFIFA et le CIRAD) sur une parcelle de 1 ha à randomisation totale avec 4 répétitions par traitement. En tout, il existe 16 parcelles élémentaires de 18 m x 26 m chacune et 4 types de traitement: T0/Témoin non traité à sol nu et labouré; T1/sol paillé non labouré et non traité; T2/sol nu, labouré et traité par *M. anisopliae*; T3/sol paillé, non labouré et traité par *M. anisopliae*. Le terrain se trouve sur des colluvions de bas de pente, à texture limono-argileuse dominante, issues de l'érosion des sols ferrallitiques rouges à texture argileuse et à structure fine bien développée de la *tanety* à l'Ouest. Il a été classé comme sol de « baiboho ».

La souche de *M. anisopliae* utilisée a été isolée à partir d'insectes terricoles récoltés en cultures de riz pluvial dans la région de l'Alaotra, ayant été identifiée comme *Heteronychus* spp. Le riz sporisé de *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* (souche « CALA ») a été mis en suspension aqueuse. La solution contenant les spores vertes de *M. anisopliae* a été appliquée par pulvérisation dans le sol des parcelles concernées, le long des sillons du labour ou des sillons tracés manuellement en découvrant le sol de la couverture végétale (écartement de 20-25 cm) pour les parcelles couvertes, à la dose de $3,36 \times 10^{12}$ spores/ha. Le champignon a été appliqué en première (2004) et deuxième (2005) années d'expérience (appliquée une seule fois normalement si les conditions sont favorables, le champignon a été appliqué deux fois de suite à cause de l'inondation suivie d'une sécheresse intense lors de la première campagne agricole).

Toutes les parcelles ont été cultivées en riz pluvial de la variété B 22, semé en ligne, en poquet et à raison de 7 à 10 graines par poquet. Aucun apport d'intrants organiques ou chimique pour la fertilisation n'a été effectué. Les semences n'ont pas été du tout traitées avant le semis, aussi bien pour les parcelles non traitées que pour celles ayant été traitées au *Metarhizium*. De même, le sol des parcelles non traitées au *Metarhizium* n'a reçu aucun traitement phytosanitaire pendant la durée de l'expérience.

Lors de la première année de mise en place du dispositif, la couverture morte était constituée par de la paille de riz apportée aux parcelles. Après chaque récolte, les touffes du riz coupées ainsi que les chaumes et la paille ont été laissés et répartis sur la parcelle, servant de couverture morte ayant une épaisseur d'au moins 10 cm. Des apports exogènes de paille de riz ont été effectués au cas où la biomasse aurait été insuffisante.

Pluviométrie

Le relevé des précipitations a été obtenu par la station météorologique localisée dans l'enceinte de la station du FOFIFA

CRR du Moyen Est à Ambohitsilaozana, à 1 km seulement du site de la présente étude.

Estimation des levées des plants et observations des dégâts occasionnés par *Heteronychus* spp

Elles sont pluriannuelles sur le même dispositif. Pour chaque campagne, la levée des plants ainsi que les touffes et les tiges de riz attaqués par *Heteronychus* spp ont été estimées à 15 et 30 jours après semis (JAS) et à 50 JAS en cas du retard de semis (à cause d'un déficit pluviométrique) sur 15 positions prises au hasard d'un carré de 1 m² sur chaque parcelle élémentaire, soit au total 240 positions de 1 m².

Prélèvements de sols

L'évolution des populations d'*Heteronychus* spp a été suivie annuellement pendant deux années, une fois par mois de décembre à mars et de juin à juillet pour la durée de l'expérience. Les prélèvements de sol sont effectués à l'aide d'un cylindre métallique de 20 cm de diamètre sur 20 cm de hauteur. Les vers blancs présents (adultes, larves et les œufs) ont été triés et récoltés pour suivre leur abondance.

Méthodes analytiques

Les données obtenues ont été étudiées par l'analyse de la variance (ANOVA) pour les résultats des comptages des touffes, des tiges attaquées par *Heteronychus* spp et par le logiciel STAT.I.T.C.F (Institut de Technologie Céréalière et Fourragère) pour l'abondance de ce ravageur. Il s'agit de savoir si les effets des traitements sont identiques ou non après ces deux séries d'observations et de rechercher si cet effet est statistiquement significatif ou non en comparant les traitements entre eux par le test de Fisher-Snedecor. L'ANOVA est par la suite suivie par le test de Newman-Keuls pour la comparaison de moyennes par paires et l'obtention des groupes homogènes de traitements qui sont représentés par une même lettre au risque de premier espèce ($\alpha = 0,05$).

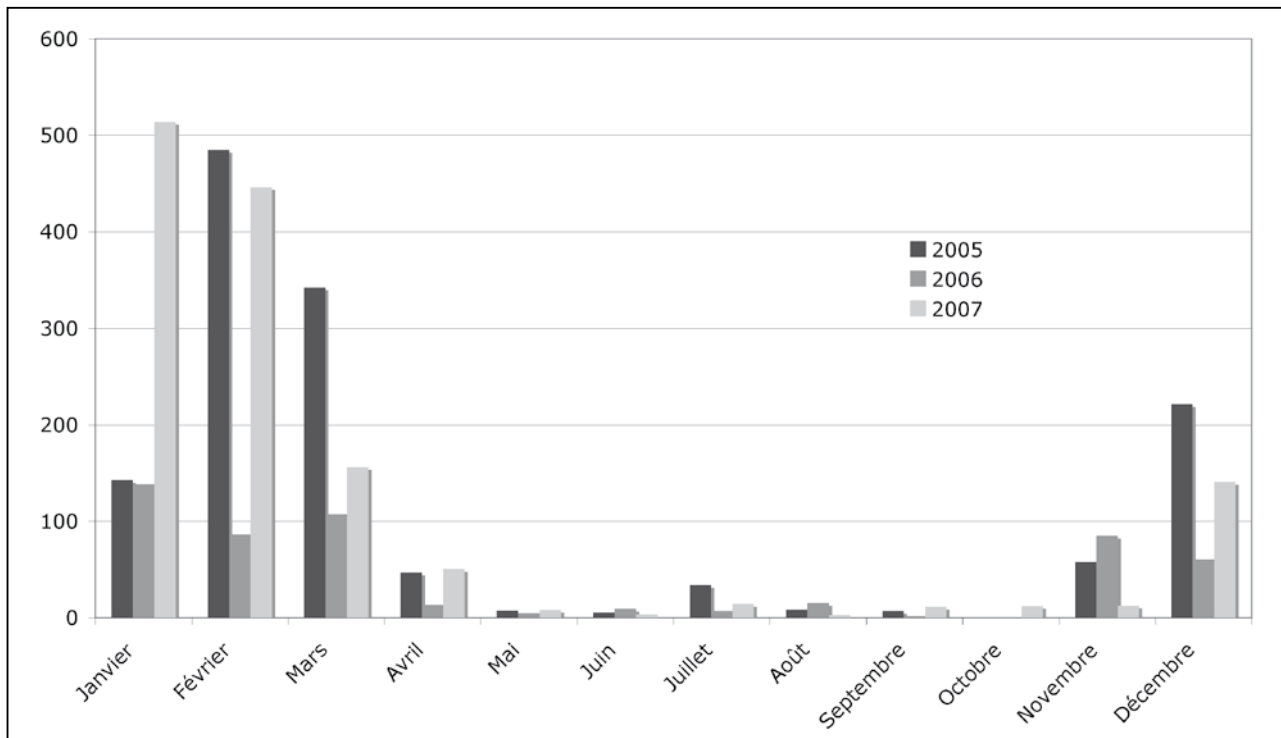
RÉSULTATS

Pluviosité

La campagne 2005-2006 est marquée par des apports pluviométriques élevés que les deux autres campagnes 2004-2005 et 2006-2007 (figure 1). Cette dernière avait le double de celle de 2005-2006 (figure 1). Les quantités de pluies enregistrées entre le mois de novembre de début de campagne et de mars de l'année suivante sont de 610 mm en 69 jours pour 2005-2006 contre 1 261 mm en 78 jours pour 2006-2007. Ces faits montrent la variabilité climatique très marquée pour la région d'étude

Figure 1 : Pluviosité (mm/mois) et nombre de jours de pluie par mois durant la campagne de mesures 2006-2007. La ligne pointillée renseigne la moyenne des précipitations des 5 dernières années. (Données Station CIMEL, URP SCRiD, Antsirabe).

Figure 1: Rainfall (mm) and number of days with rain event per month during the measurement period 2006-2007. The dashed line shows the average of rainfall during the past 5 years. (Data from CIMEL sensor, URP SCRiD, Antsirabe).



d’une campagne à l’autre. Ces variations favorisent les dégâts causés par *Heteronychus* sp sur riz pluvial. Ils sont même plus accentués pour les faibles quantités de pluies de mois de novembre et décembre 2006.

Pourcentage de levée des plants de riz

L’histogramme correspondant est indiqué par la *figure 2*. Les pourcentages de levée du riz ont été plus faibles dans les parcelles couvertes (T1 par rapport à T0 et T3 par rapport à T2) et ceci indépendamment du traitement avec *Metarhizium anisopliae*. Le semis dans la paille a été plus difficile surtout là où la biomasse a été plus épaisse, ce qui rendait le taux de la germination plus difficile.

Pourcentage d’attaque des touffes et des tiges de riz par *Heteronychus* sp

En 2005-2006, les taux de touffes et de tiges attaquées ont été toujours supérieurs sous paillage par rapport au labour, dès 15 JAS (*tableau 1*). L’attaque a été de 32.50 % sous paillage (sous T1) à 50 JAS, sans effet du champignon. Par contre, sous labour (T2), l’effet du champignon a déjà été constaté dès 15

Figure 2 : Histogramme des pourcentages de levée des plants du riz selon les traitements.

Figure 2: Histogram of seeds’ rice germination by treatment.

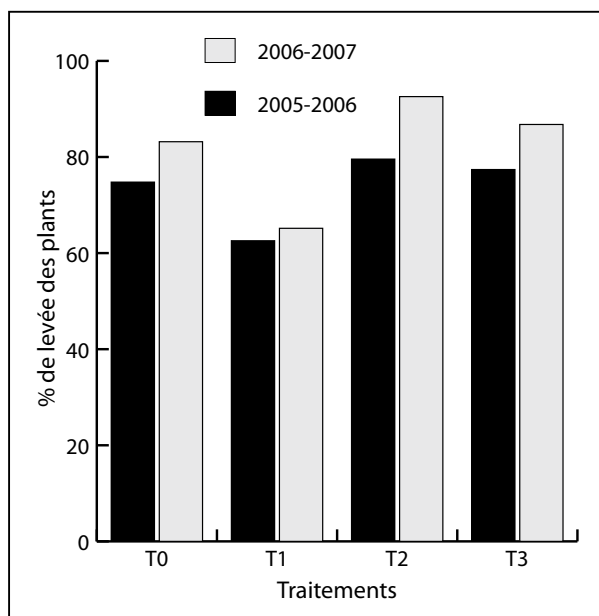


Tableau 1 : Pourcentages (%) des touffes attaquées par *Heteronychus* sp selon les traitements en 2005-2006 et 2006-2007.

T0: témoin parcelle non traitée et nue; T1: parcelle non traitée et couverte; T2: parcelle traitée avec le champignon et nue; T3: parcelle traitée avec le champignon et couverte.

Table 1: Percentage (%) of tuft attacked by *Heteronychus* sp by treatment in 2005-2006 and 2006-2007.

T0: Control conventional tillage untreated; T1. No-tillage untreated; T2. Conventional tillage treated; T3. No-tillage treated.

Traitements	2005-2006			2006-2007		
	30 JAS	50JAS	Classement	15 JAS	30JAS	Classement
T0	19,50	24,80	b	08,95	28,45	b
T1	27,80	32,50	c	11,50	39,30	c
T2	11,25	15,25	a	10,25	11,50	a
T3	10,25	16,50	a	08,46	10,00	a

Les écarts types correspondants sont de 0.118 et de 0.095 respectivement en 2005-2006 et de 0.095 en 2006-2007 pour un $ddl = 3$

JAS, encore plus net 50 JAS. Les parcelles traitées au *Metarhizium* aussi bien sur sol labouré (T2) que sur sol paillé (T3) ont été moins attaquées par rapport à celles de T0 et de T1. Le traitement au *Metarhizium* regroupant T2 et T3 a été classé le meilleur par le test de Newman et Keuls (groupe **a**). Viennent par la suite le groupe intermédiaire **b** incluant le traitement T0 et le groupe **c** renfermant le traitement T1 le plus attaqué.

En 2006-2007, sur le même dispositif, les parcelles T1 ont toujours présenté significativement plus d'attaques en fin tallage que les autres parcelles T0, T2 et T3. Les parcelles traitées au *Metarhizium* T2 et T3 étaient toujours les meilleures.

Les mêmes résultats que ceux des touffes attaquées par *Heteronychus* sp ont été également observés sur les tiges du riz selon les traitements pendant les deux campagnes d'observations.

Abondance d'*Heteronychus* sp

Les variations d'abondance suivent également celles des pourcentages d'attaque. Ces variations ont été significativement différentes entre parcelles traitées et non traitées. Dans les parcelles non traitées par *Metarhizium* quel que soit le mode de gestion du sol, les effectifs d'individus de différents stades d'*Heteronychus* sp (œufs, les trois stades larvaires et les adultes), ont été toujours élevés par rapport à ceux des parcelles traitées (figure 4). Les différences d'effectifs récoltés sont hautement significatives avec les deux derniers stades larvaires d'*Heteronychus plebejus*, larve du deuxième et du troisième stade: 17 et 18 individus de larves du deuxième stade respectivement pour T0 et T1 sans *Metarhizium* contre 07 et 08 pour T2 et T3; 18 et 16 individus larvaires du troisième stade pour T0 et T1 contre 02 et 01 individu pour T2 et T3 traitements avec *Metarhizium*.

Trois espèces d'*Heteronychus* ont été récoltées: H2 (*H. bituberculatus*), H3 (*H. arator*) et H4 (*H. plebejus*). Sur les proportions d'espèces d'*Heteronychus* sp adultes récoltés, l'espèce

H4 prédomine dans toutes les parcelles avec une densité faible dans T2 et T3 (respectivement égale à 7.5 et 6.5 en 2005-2006 et densité nulle en 2006-2007), ceci par rapport à celles de T0 et T1 (figure 4).

DISCUSSION

Abondance et dégâts d'*Heteronychus plebejus* selon les traitements et le mode de gestion de sol (semis direct sur couverture végétale morte ou sur labour)

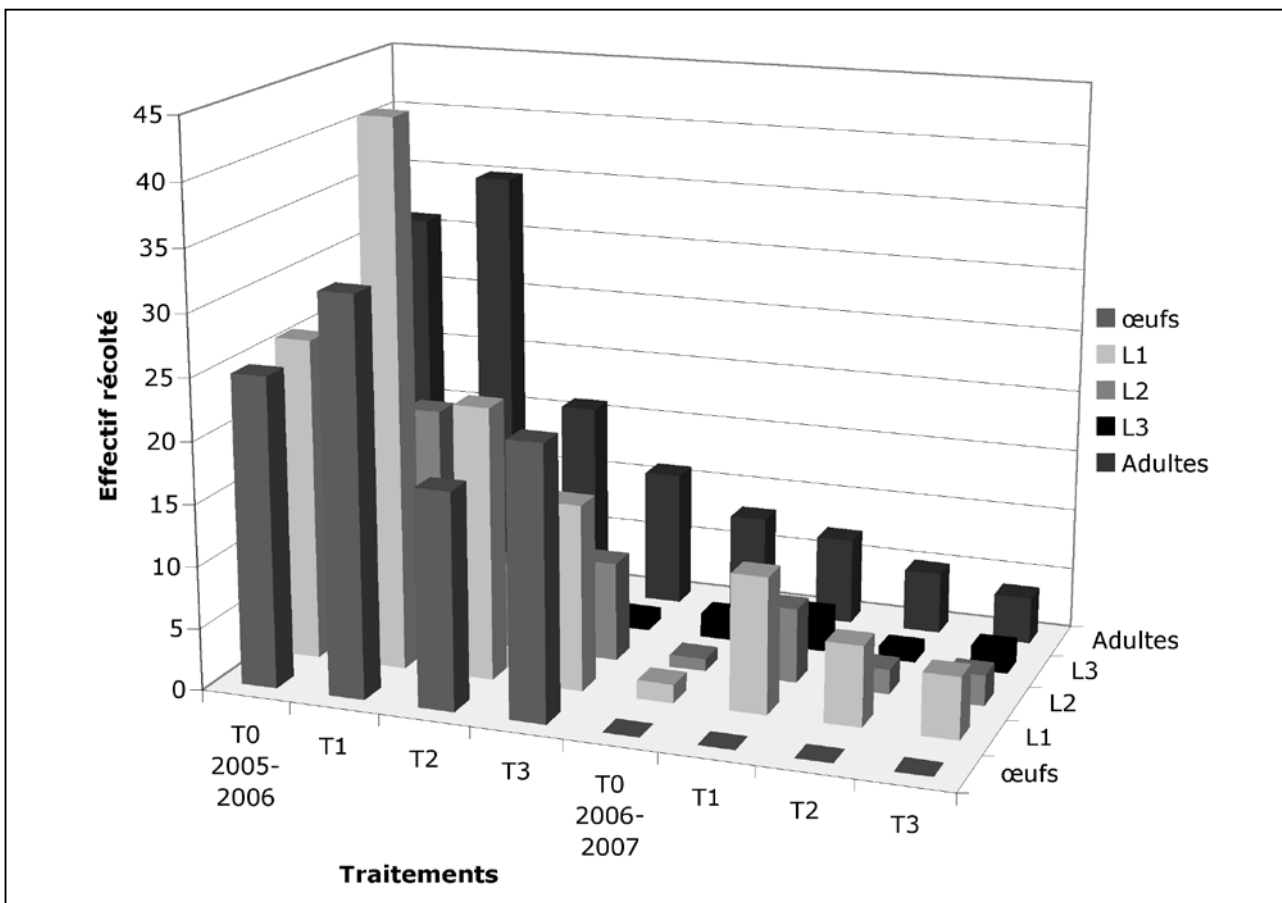
Le mode de gestion des sols (semis direct sur couverture végétale ou labour) influe sur l'abondance et l'effet du *Metarhizium anisopliae* sur *Heteronychus* spp. Par la constitution de refuges, la présence et la diversification de nourriture tout au long de l'année, les SCV créent un environnement favorable à la biodiversité (AFD, 2006; Nadama, 2006). On observe ainsi une augmentation de la densité de la faune du sol (faune épigée ou endogée) dans les parcelles conduites en SCV par rapport aux parcelles labourées et nettoyées des résidus de culture (T0 par rapport à T1 et T2) et entre autre celle d'*Heteronychus* spp (URP-SCRiD, 2003b, 2003d, 2003e; Raunet, 1984, 2005; AFD, 2006; Ratnadass *et al.*, 2006; FOFIFA/BV-Lac, 2007). Ceci peut s'expliquer par le fait que la présence de matière végétale vive ou morte stimule l'appétence des larves (King, 1977). L'abondance des insectes, entre autre *Heteronychus* spp dans notre cas, est due à l'apport de la paille comme couverture sur le dispositif 1 d'où la forte attaque par ces insectes sur la parcelle T1 durant les trois années de l'expérience et sur T3 la première année d'expérience pendant laquelle le champignon ne s'est pas encore exprimé. Les parcelles labourées T2 et même T0 sont moins infestées que T1. De ces résultats, il ressort que les

Figure 3 : Variation de l'abondance des différents stades d'*Heteronychus plebejus* selon les traitements de 2005 à 2007

T0 = témoin parcelle non traitée et nue; T1 = parcelle non traitée et couverte; T2 = parcelle traitée avec le champignon et nue; T3 = parcelle traitée avec le champignon et couverte.

Figure 3: Abundance variation of different stages of *Heteronychus plebejus* by treatment in 2005 to 2007

T0: Control conventional tillage untreated; T1. No-tillage untreated; T2. Conventional tillage treated; T3. No-tillage treated.



parcelles traitées au *Metarhizium*, sous paillage ou sur labour, ont été toujours moins attaquées par *Heteronychus* spp que les parcelles paillées, nues ou non traitées. Ceci montre l'efficacité du produit utilisé. *Heteronychus plebejus* est l'espèce la plus nuisible aux cultures pluviales dans la zone d'étude. La souche du *Metarhizium* utilisée a été isolée et purifiée à partir des larves de cette espèce. Les larves âgées du deuxième et troisième stade constituent l'hôte favorable au développement du champignon entomopathogène utilisé (figure 3). Elle est spécifique de cette espèce et les résultats obtenus au cours de cette expérience confirment ce fait (figures 3 et 4) : la densité de la population de cette espèce diminue considérablement dans les parcelles traitées. En revanche, *H. arator* prend place dans les parcelles traitées. La densité de H2 observée est presque nulle : *H. bituberculatus* (H2) est une espèce que l'on rencontre particulièrement dans les endroits humides comme au bord du

marais ou des parcelles à forte humidité (Rajaonarison, 1993; Rakotoarisoa, 2007).

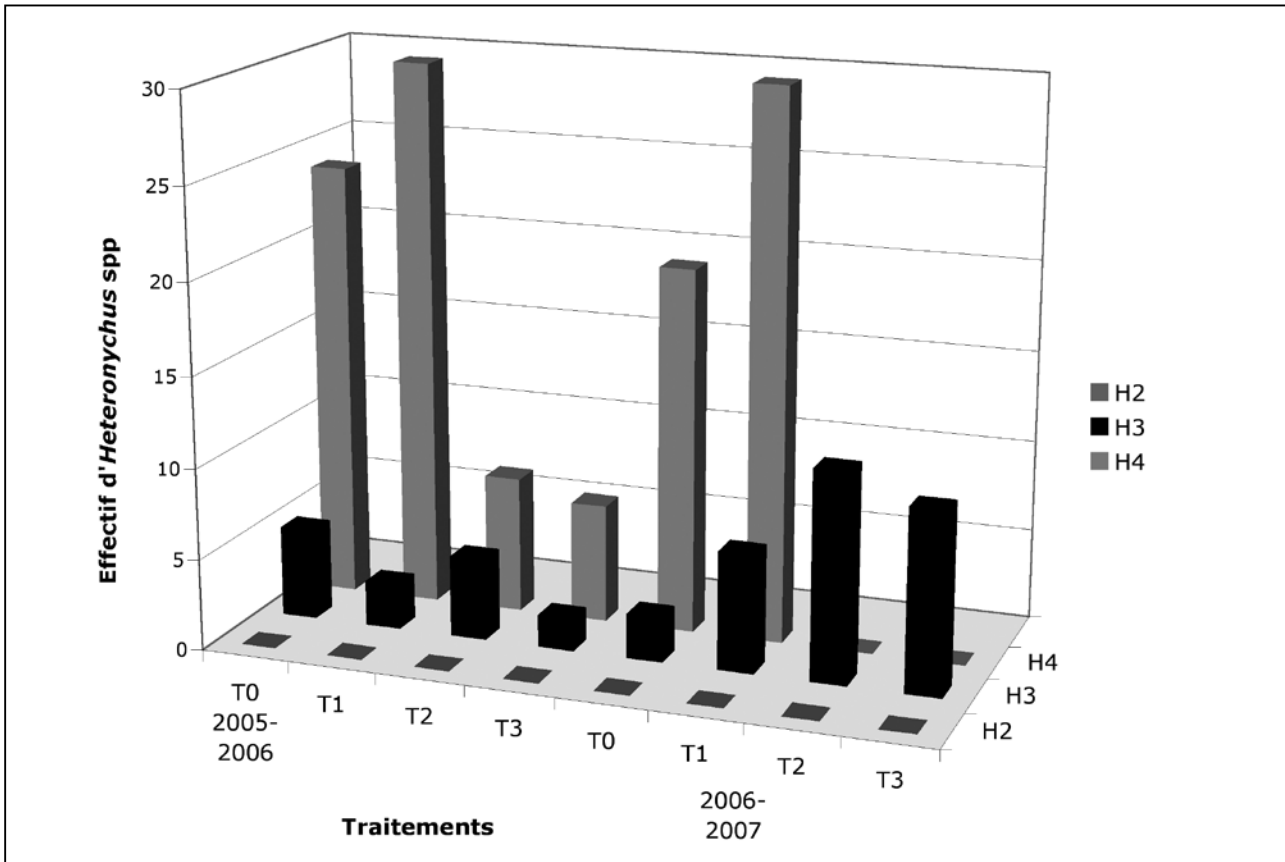
Cependant, des différences ont été observées quant à l'efficacité du *Metarhizium* selon le mode de gestion du sol. En effet, bien qu'il soit le principal réservoir naturel de champignons entomopathogènes, le sol présente de nombreuses contraintes au développement de leur activité régulatrice. Température, humidité, compositions minérales, organiques ou microbiologiques influencent considérablement la rémanence, l'activité biologique ou le comportement épizootologique (comportement épidémiologique de la maladie muscardine verte, transmission et multiplication). L'augmentation de mycoses dans un sol autoclavé confirme les données de Fargues *et al.*, (1983 & 1985), qui démontrent l'existence de facteurs biotiques antagonistes tels qu'amibes, bactéries ou métabolites. Corrélativement des sols trop riches en matière

Figure 4 : Proportion d'adultes d'*Heteronychus* sp selon les traitements de 2005 à 2007

T0 = témoin parcelle non traitée et nue; T1 = parcelle non traitée et couverte; T2 = parcelle traitée avec le champignon et nue; T3 = parcelle traitée avec le champignon et couverte.

Figure 4: Adults proportion of *Heteronychus* sp by treatment in 2005 to 2007

T0: Control conventional tillage untreated; T1. No-tillage untreated; T2. Conventional tillage treated; T3. No-tillage treated.



organique sont moins favorables aux muscardines que les sols pauvres. Ceci pourrait être l'explication de légères différences d'efficacité sur les résultats obtenus sur sol labouré et traité par *Metarhizium* (T2) par rapport au sol couvert et traité au *Metarhizium* (T3). De même, en 2005-2006, l'efficacité du *Metarhizium* était meilleure sur labour que sur sol paillé. L'effet du *Metarhizium anisopliae* utilisé sous la couverture morte était meilleur seulement à partir de la troisième année. L'expérience a été débutée en 2004.

Trois ans après l'application du *Metarhizium* sur le dispositif expérimental, son effet était positif et diminuait les attaques de ces insectes terricoles sur les parcelles traitées avec ce produit sur sol couvert. Ceci montre que les spores sont bien acclimatées à cet endroit et sont conservées dans le sol des parcelles traitées. Ces résultats sont similaires à ceux observés par d'autres auteurs (Riba et al., 1991). Après une phase d'implantation qui se traduit par une augmentation d'activité au cours

des trois premières années, il y a stabilité du potentiel infectieux au cours de plusieurs mois.

Ajoutons par ailleurs que les températures élevées ont un effet létal direct qui s'accroît dès que le germe ne peut plus se développer (entre 35 °C et 50 °C) et un effet indirect par activation des microorganismes telluriques antagonistes. On peut alors penser que la couverture morte pourrait avoir une influence sur l'efficacité biologique de la souche utilisée. La couverture morte tamponne les aléas climatiques en cas de sécheresse, elle permet de maintenir l'humidité du sol et donc une bonne conservation de l'eau (Riba et al., 1986, 1991 et 1991; Silvy et Riba, 1999). Elle réduit également les amplitudes thermiques, favorables au développement des champignons ou son comportement épizootologique. Tel est le cas observé lors de nos expérimentations durant cette campagne. La composante principale du rayonnement solaire paraît défavorable à la survie des propagules du champignon (Riba, 1991), la couverture pourrait

être alors un facteur empêchant la pénétration de ce rayonnement.

Enfin, dans les conditions naturelles, les facteurs hydriques ont de plus un rôle déterminant dans la percolation des propagules qui peu à peu s'enfoncent dans le sol. C'est ainsi que les pluies et les irrigations successives entraînent considérablement les spores qui perdent alors tout contact avec l'insecte-hôte. Ce constat peut être vérifié dans le présent cas de lutte contre *Heteronychus plebejus* à l'aide de la souche du *Metarhizium anisopliae*, souche CALA dans la région d'Alaotra. C'est la raison pour laquelle, appliquée une seule fois normalement si les conditions sont favorables, le champignon a été appliqué deux fois de suite à cause de l'inondation suivie d'une sécheresse intense lors de la première campagne agricole durant cette expérience.

CONCLUSIONS

La présence d'une biomasse sur les parcelles du dispositif expérimental, par l'apport de paille exogène sur les parcelles (couverture morte), est vraisemblablement à l'origine de l'augmentation de la densité de la population d'*Heteronychus* spp sur les parcelles. Ce fait est particulièrement très marqué sous une bonne épaisseur de biomasse.

L'utilisation de *Metarhizium* peut constituer une alternative durable au traitement insecticide de semences de riz pluvial car elle est plus rentable pour lutter contre ce ravageur. Elle est également compatible avec le système agro-écologique SCV. Après trois ans d'expérience, son efficacité reste toutefois meilleure sur sol labouré que sur sol paillé. Il a été également constaté qu'il y a effet du traitement sur les densités d'*Heteronychus* spp. L'activité tellurique des hyphomycètes entomopathogènes est le réel facteur limitant; elle est la résultante d'un ensemble de processus dont la viabilité des propagules n'est qu'une partie. Il faut tenir compte des interactions entre les différents facteurs biotiques et abiotiques sur l'activité tellurique déjà mentionnées ci-dessus et qui pourraient être l'explication des faits observés sur l'efficacité du *Metarhizium* utilisé durant la présente étude. Dans l'avenir, des observations sur la durabilité et la viabilité des spores dans le sol devront faire l'objet d'études pour bien maîtriser cette technique de lutte biologique entreprise contre les insectes terricoles *Heteronychus* spp à Madagascar.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été financés par l'AFD (Agence Française pour le Développement) à travers : (i) le Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants au Lac Alaotra (BV LAC Alaotra, (ii) le GSDM (Groupement Semis direct de Madagas-

car), (iii) et la collaboration entre CIRAD, FOFIFA et l'Université d'Antananarivo que nous tenons tous à remercier vivement ici, ainsi que Rabearimalala Naina Ernest et Rakotondrazaka Alphonse pour leur appui technique sur terrain et au laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- AFD, 2006 - Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV), Une solution alternative aux systèmes de cultures conventionnels dans les pays du Sud. Groupe Agence Française pour le Développement, Paris, France, non paginé.
- Anonyme, 2002 - Rapport d'activité Entomologie /FOFIFA - CALA, Centre régional du Moyen-Est, non paginé, Campagne 2001 - 2002
- Anonyme, 2003 - Rapport d'activité Entomologie /FOFIFA - CALA, Centre régional du Moyen-Est, non paginé, Campagne 2002 - 2003
- Anonyme, 2004 - Rapport d'activité Entomologie /FOFIFA - CALA, Centre régional du Moyen-Est, non paginé, Campagne 2004 - 2005.
- Charpentier H., Razanamparany C., Rasoloarimananana D. et Rakotonarivo B., 2001 - Projet de diffusion de systèmes de gestion agrobiologique des sols et des systèmes cultivés à Madagascar - Rapport de campagne 2000/2001 et synthèse des 3 années de projet, TAFE, Antananarivo, Madagascar, non paginé.
- Fargues J., Reisinger D., Robert P. H., Aubert C., 1983. Biodegradation of entomopathogenic hyphomycetes: influence of clay-coating on *Beauveria bassiana* blastopores survival in soil, *J. Invertebr. Pathol.*, 41: 131-142.
- Fargues J., Reisinger D., Robert P. H., Aubert C., 1985 - Persistence des conidiospores des Hyphomycètes entomopathogènes *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sor., *Nomurea rileyi* (F) Samson et *Paecilomyces fumoso-roseus* Wize dans le sol, en conditions contrôlées, *Agronomie*, 5: 73-80.
- Ferron P., Fargues J et Riba G, 1993 - Les champignons, agents de lutte micro-biologique contre les ravageurs. pp. 62-92. In: Fraval, A. [ed.] La lutte biologique. Dossier de la cellule Environnement de l'INRA n°5, Paris, France.
- FOFIFA, 2003a - Suivi de l'évolution de la faune sous la couverture végétale dans les systèmes de semis direct dans la région d'Alaotra. Rapport des campagnes 2001-2003, Entomologie FOFIFA-CALA, Ambohitsilaozana, 11 p.
- FOFIFA/BV-Lac, 2007 - Rapport d'état d'avancement du 1^{er} novembre 2006 au 9 février 2007, Convention Entomologie FOFIFA / BV-Lac, Ambatondrazaka, 15 p.
- Glare T.R., 1992 - Fungal pathogens of Scarabs, pp. 63-77. In: Jackson, T.A., Glare, T.R. [eds.]. Use of Pathogens in Scarab Pest Management. Andover, Hampshire, England, 297 p.
- Gottwald T.R. et Tedders W.L., 1984 - Colonization, transmission and longevity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hypomycetes) on Pecan weevil larvae (Coleoptera: Curculionidae) in the soil. *Environmental Entomology* 13: 557-560.
- King P.D., 1977 - Effect of plant species and organic mater on feeding behaviour and weight gain of larval black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae). *New Zealand Journal of Zoology* 4: 445-448.
- Nadama, 2006 - Influence de trois modes de gestion des sols sur le profil de la macrofaune du sol en parcelles cotonnières paysannes au Nord Cameroun. Mémoire de fin d'étude niveau ingénieur agronome. Université de Dschang, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Département de protection des végétaux, Cameroun, 54 p.
- PLI, 1990 - Protection Intégrée en Riziculture au lac Alaotra - Rapport d'activité Août 1989 / Juillet 1990, Ambohitsilaozana - Zurich, Madagascar, Suisse, 91 p.

- PLI, 1993 - Contrôle des populations d'*Heteronychus* (Coleo. Scarabaeidae: Dynastinae). *Protection Intégrée en riziculture au Lac Alaotra - Rapport de campagne des saisons 1991 et 1992*. Antananarivo, Madagascar, 45pp
- Rajaonarison J.H.J., 1993 - Contribution à l'étude de la biologie et de l'écologie de 3 espèces d'*Heteronychus*: *H. arator*, *H. bituberclatus* et *H. plebejus* (Coleoptera Dynastinae) de la région du Lac Alaotra. Mémoire de D.E.A, Faculté des sciences - Entomologie, Université d'Antananarivo, Madagascar, 51p.
- Rajaonarison J.H. et Rakotoarisoa D., 1993 - Contrôle des populations d'*Heteronychus* (Coleo. Scarabaeidae: Dynastinae). *Protection Intégrée en riziculture au Lac Alaotra - Rapport de campagne des saisons 1991 et 1992*. PLI, Antananarivo, Madagascar, 45 p.
- Rakotoarisoa H.L., 2007 - Contribution à l'étude de l'efficacité biologique du *Metarhizium* sp. Contre *Heteronychus plebejus* (Klug) sur riz pluvial sous couverture morte dans la région de l'Alaotra. Mémoire de D.E.A., Faculté des sciences - Entomologie, Université d'Antananarivo, Madagascar, 57 p.
- Ratnadass R., Razafindrakoto C. et Randriamanantsoa R., 2003 - Evaluation de l'impact des systèmes de culture avec SCV sur les bio-agresseurs en vue de promouvoir une approche de protection intégrée en riziculture durable. pp. 3-11. Rapport d'activités 2001-2003 du projet SCRiD - Idée 1.1 Caractériser l'interaction entre les différents systèmes SCV et les populations/dégâts des bio-agresseurs sur le riz pluvial (CIRAD / FOFIFA / Université d'Antananarivo), 21 p.
- Ratnadass A., Michellon R., Randriamanantsoa R. et Seguy L., 2006 - Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P. [eds.]. *Biological approaches to sustainable soil systems*, pp. 589-602. CRC Press, Boca Raton, U.S.A.
- Raunet M., 1984 - Carte du milieu physique (hydro-morpho-pédologie) et Notice, Région du lac Alaotra. Echelle 1/50000. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales, Service de Pédologie-Cartographie, Montpellier, France.
- Raunet M., 2005 - SCV et biodiversité. La Gazette des SCV au Cirad, n° 25 (novembre 2005). Cirad, Montpellier, France.
- Razafindrakoto C., 1997 - Rapport d'activité - Entomologie - Campagne 1996-1997. FOFIFA, Centre régional du Moyen-Est, non paginé.
- Razafindrakoto C., 1998 - Biological control against *Heteronychus* sp. (Coleoptera, Dynastidae, Dynastinae), a polyphagous soil pest in Madagascar (Poster presented at the FAO/IAEA International Conference on Area-Wide Control of Insect Pests integrating the Sterile Insect and Related Nuclear and Other Techniques, Penang, Malaysia, 28 May-2 June, 1998).
- Razafindrakoto C. et al., 2006a - Rapport de campagne 2005-2006: Utilisation des champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* contre les insectes terricoles *Heteronychus* sp. dans la région d'Alaotra, FOFIFA/Projet BV-Lac, Ambohitsilaozana, Madagascar, 26 p.
- Razafindrakoto C. et al., 2006b - Valorisation des ressources naturelles en champignons entomopathogènes: étude de la diversité de *Metarhizium anisopliae* dans le cadre de la lutte biologique contre les insectes terricoles '*Heteronychus* sp', ravageurs des cultures pluviales à Madagascar, Atelier 10x10 CNRS/Biodiversité Antananarivo, Madagascar, 6-8 Juin 2006).
- Razafindrakoto C. et al., 2007a - Rapport de campagne 2006-2007: Utilisation des champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* contre les insectes terricoles *Heteronychus* sp. , en Station dans la région d'Alaotra, FOFIFA / projet BVLac, Ambohitsilaozana, Madagascar, 08 p.
- Razafindrakoto C. et al., 2007b - Rapport de campagne 2006-2007: Utilisation des champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* contre les insectes terricoles *Heteronychus* sp. , en milieu paysan dans la région d'Alaotra, FOFIFA / projet BVLac, Ambohitsilaozana, Madagascar, 14 p.
- Riba G., 1986 - Perspectives offertes par le champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* (Bals vuill) dans la lutte contre les ravageurs des grandes cultures. Publication n°36. Riba G., Hamdaoui F., Vercambre B. et Bournoville R., 1991 - Ecologie des champignons entomopathogènes dans le sol. In: INRA [ed.] *Rencontres Caraïbes en Lutte Biologique*, Gadeloupe (5-7 novembre 1990) (Les colloques n°58), pp. 379-388. Paris.
- Silvy C. et Riba G., 1999 - Biopesticides contre maladies, insectes, mauvaises herbes. In: Fraval, A., Silvy, C.[eds.]. *La lutte biologique (II)*. Dossiers de l'environnement de l'INRA n°19. Paris, 274 p.
- Teyssier A., 1994 - Contrôle de l'espace et développement rural dans l'Ouest Alaotra: De l'analyse d'un système agraire à un projet de gestion de l'espace rural. Thèse de Géographie et Pratique du développement, Université Paris I, France.
- URP-SCRiD, 2003b - Impact des modes de gestion du sol (semis direct sur couverture végétale et labour) et de la fertilisation sur la macrofaune et la microflore des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. pp. 17 -24.
- URP-SCRiD, 2003c - Evaluation de l'impact des systèmes de culture avec SCV sur les bio-agresseurs en vue de promouvoir une approche de protection intégrée en riziculture durable. pp. 3-11.
- URP-SCRiD, 2003d - Développement de techniques de protection du riz pluvial contre les insectes terricoles, respectueuses de l'environnement. pp. 9-14. Rapport d'activités 2001-2003 du projet de l'URP-SCRiD - Idée 2.2 Développer des techniques de protection du riz pluvial contre ses agresseurs (CIRAD / FOFIFA / Université d'Antananarivo), 15 p.
- URP-SCRiD, 2003e - Etude de la bioécologie et de la dynamique des populations d'*Heteronychus* sp. et de leurs organismes associés dans la région du Vakinankaratra. pp. 13 -21.
- Zimmermann, G., 1993. The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* et its potential as a biocontrol agent. *Pesticides Science* 37: 375-379.