

**Formation et programmation sur les
problèmes de vers blancs à Madagascar
du 4. au 13.11.2001)**

(Mission réalisée grâce à un financement CIRAD/DESI)

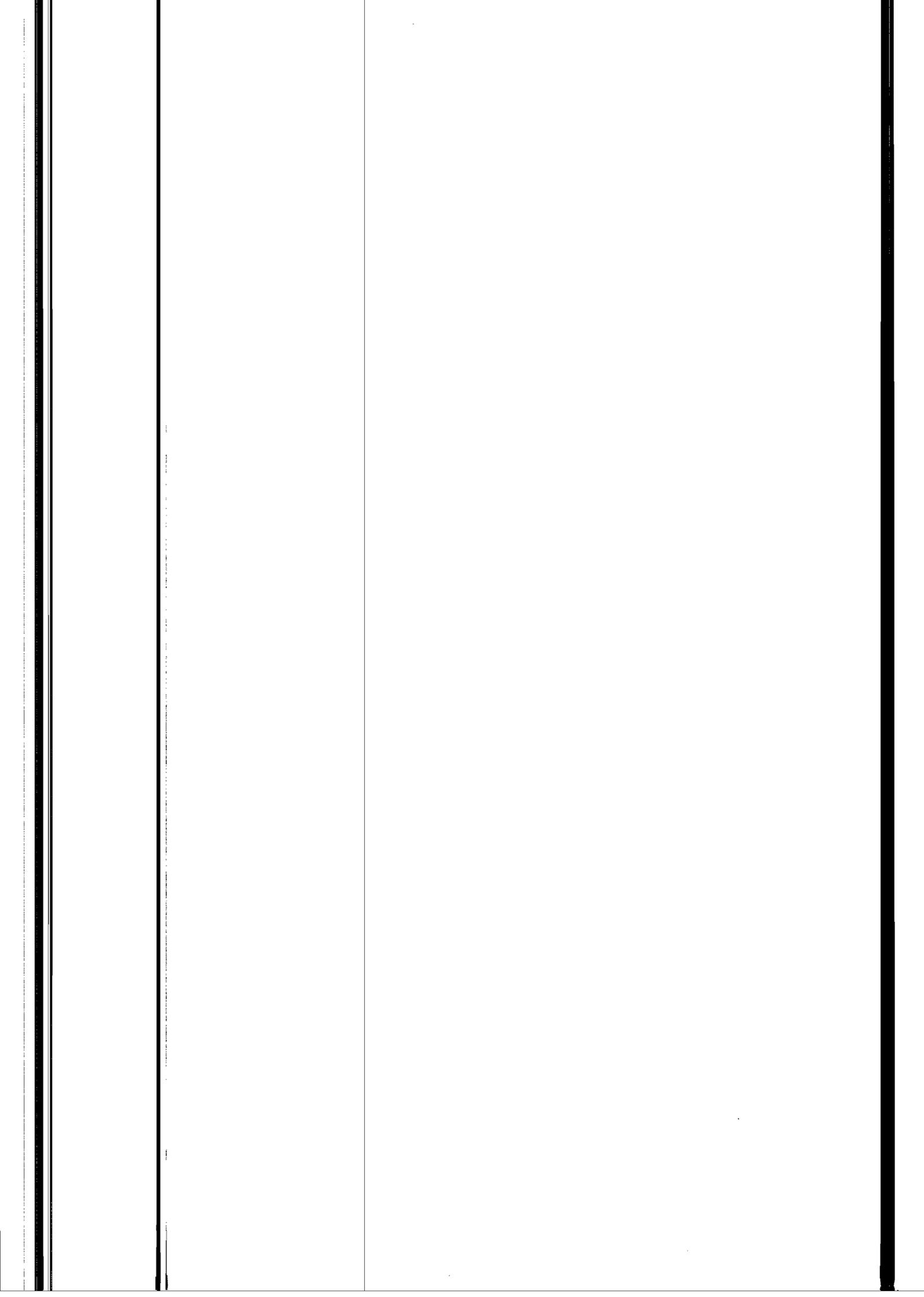
B. VERCAMBRE
Entomologiste
Cirad-ca
Février 2002

A decorative yellow brushstroke is located at the bottom of the page, consisting of several overlapping, curved strokes that create a sense of movement and depth.

**Formation et programmation sur les
problèmes de vers blancs à Madagascar
du 4. au 13.11.2001)**

(Mission réalisée grâce à un financement CIRAD/DESI)

**B. VERCAMBRE
Entomologiste
Cirad-ca
Février 2002**



SOMMAIRE

Remerciements	1
Liste des sigles	2
I. Termes de référence	3
II. Déroulement de la mission	3
III. Résultats	4
IV. Propositions	11
Annexes	

LISTE DES SIGLES

C.A.L.A. :	Complexe Agronomique du Lac Alaotra
C.I.R.A.D. :	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
C.I.R.A.D./C.A. :	Département Cultures Annuelles du CIRAD
C.I.R.A.D./C.A./CALIM. :	Programme Cultures Alimentaires du CIRAD/CA
C.I.R.A.D./C.A./C.A.S :	Programme Canne à Sucre du CIRAD/CA
C.I.R.A.D./D.E.S.I.	Délégation aux Echanges Scientifiques Internationales du CIRAD
CIR.AGRI :	Circonscription de l'Agriculture
CIR.PV :	Circonscription de la Protection des Végétaux
D.R.A./FOFIFA :	Département des Recherches Agronomiques du FOFIFA
D.S.I.R. :	Department of Scientific and Industrial Research (New Zealand)
F.O.F.I.F.A :	FOibe FIkarohana amin'ny FAmpanandrosoana ny eny ambanivohitra Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural
G.P.S. :	Global Positioning System
O.N.G. :	Organisation Non Gouvernementale
P.C.F./S.C.R.D :	Pôle de Compétence en Partenariat/Systèmes de Culture et Rizicultures Durables
P.L.I. :	Projet Lutte Intégrée en Riziculture (Lac Alaotra)
S.I.G. :	Système d'Information Géographique
S.R.R./FOFIFA :	Station de Recherche Régionale du FOFIFA
T.A.F.A :	ONG TAny sy FAmpanandrosoana (Terre et Développement)

Remerciements

Bien que très dense, cette mission a pu atteindre ses objectifs, grâce à l'excellente organisation et la disponibilité de chacun. Merci à Alain RATNADASS et Richard RANDRIAMANENTSOA pour les visites sur le terrain et les discussions fructueuses. Merci à Claude et Roger MICHELLON pour leur généreuse hospitalité, ainsi que pour leur aide à la découverte de Madagascar.

On peut souligner la fonctionnalité des installations provisoires du CIRAD à Tananarive, où les contacts entre chercheurs et/ou organismes de recherches et la convivialité sont grandement facilités.

I. Termes de référence

Un pôle de compétence et de partenariat " Systèmes de culture et rizicultures durables" ou "PCP/SCRD" est en cours de montage à Madagascar. Les membres fondateurs de ce pôle sont le FOFIFA, le CIRAD et l'Université de Tananarive. L'objectif de ce pôle est de promouvoir la recherche et la formation autour de l'amélioration des systèmes de culture à base de riz sur les Hauts-Plateaux et le Moyen Ouest. Parmi les thèmes prioritaires figurent la 'Lutte intégrée contre les insectes du sol', principaux ravageurs de ces systèmes (RATNADASS, 2001). Les espèces d'insectes concernées correspondent essentiellement à des 'vers blancs', nom générique désignant les stades larvaires de la super-famille des *Scarabaeoidea*, principalement représentée par 2 familles : les *Dynastidae* (genre *Heteronychus*,...) et les *Melolonthidae* (genre *Hoplochelus*, ...).

C'est dans ce cadre qu'une mission a été demandée par le Programme CALIM du CIRAD/CA, co-animateur du PCP/SCRD, donnant ainsi un aspect régional à une mission 'Vers Blancs' prévue conjointement à la Réunion, lieu où des études et une méthode de lutte ont été mises au point sur un ver blanc (*Hoplochelus marginalis*) durant la décennie 1981-1993. Cette mission comportait 2 volets :

- ✓ observations de terrain, mise au point d'un programme pluriannuel d'études et de formation, analyses des résultats disponibles, discussion des axes à poursuivre et des orientations nouvelles, échange d'expérience et compétences dans le cadre de conférences avec les partenaires intéressés (principalement FOFIFA, Université et CIRAD) ;

- ✓ formation des chercheurs et agents venant en appui au pôle sur la systématique, la biologie et la dynamique des vers blancs ; méthodes de prélèvements ; méthodes d'élevage ; mise au point d'une collection de référence (larves et adultes) ; méthodes de lutte (culturales, chimiques et biologiques) contre les adultes et les larves. Cette mission a été rendue possible grâce à un financement CIRAD/D.E.S.I..

II. Déroulement de la mission

Cette mission s'est déroulée du 5 au 13 novembre 2001, en 2 phases. Un séjour à Antsirabe du 6 au 11 novembre a permis : i/ d'aller sur le terrain avec l'entomologiste de la Station de Recherche Régionale/FOFIFA (Richard RANDRIAMANENTSOA) et le co-responsable du PCP/SCRD (Alain RATNADASS), lui-même entomologiste ; ii/ d'initier une action touchant à la systématique des scarabées ; iii/ de réaliser un exposé au niveau régional en relation avec les mêmes chercheurs ; iv/ d'élaborer un programme de recherches (thèmes et protocoles). Le 5, puis du 11 au 13 novembre, à Tananarive, il a été possible de discuter avec M. PARTIOT, délégué du CIRAD à Madagascar, de faire une conférence sur la lutte biologique appliquée aux vers blancs dans le cadre de la Direction Générale du FOFIFA à laquelle furent conviés les universitaires, enfin de visiter le Laboratoire d'Entomologie du FOFIFA à Ambatobe après entretiens avec le



Photo A : Site d'Ibity. Essai comparaison système de culture (parcelle labourée et sous couverture) et écobuage

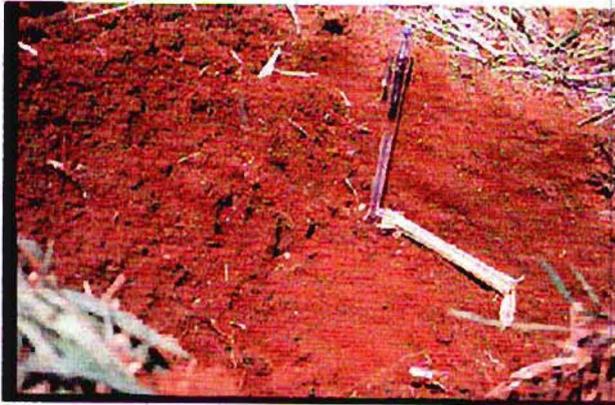


Photo B : Ibity (Hauts Plateaux)
sol ferrallitique, peu profond



fond de la fosse

Photo C : Betafo (Hauts Plateaux)
sol volcanique, plus profond

Chef du Département des Recherches Agronomiques et les entomologistes présents (Annexes 1 et 2).

III. Résultats

1. Visites sur le terrain

Le but était d'initier une reconnaissance faunistique à partir du matériel biologique récolté à un moment stratégique (début saison des pluies) dans plusieurs situations contrastées près d'Antsirabe et dans le Moyen Ouest (voir carte en annexe 3). Il s'agit de points d'essais CIRAD/FOFIFA/TAFA situés : i/ en sols ferrallitiques, sur socle cristallin (Ibity) ou sur dépôts fluvio-lacustres (Andranomaletra); ii/ en sols ferrallitiques sur coulées de laves (Ivory); iii/ en sols volcaniques (Betafo) et sols volcaniques évoluant vers la ferrallitisation (Antanikatsaka). Selon les lieux, des comparaisons sont réalisées selon 4 thèmes principaux : variétés, dates de semis précoces ou normales (courant novembre) et tardives (mi décembre), systèmes de culture (labour ou semis direct/écobuage) (photo A), avec ou sans traitements phytosanitaires des semences ou du sol (Annexe 4). En 2000-2001, sept insecticides (imidaclopride, carbosulfan, furathiocarbe, thiamethoxam, carbofuran, fipronil, chlorpyrifos-éthyl) et 4 fongicides (métalaxyl, carboxine, thirame, difenoconazole) ont été concernés, en mélange ou non, donnant de nombreuses modalités de traitements. Ceux-ci sont dirigés essentiellement contre les vers blancs. Les plantes cultivées sont le riz pluvial, le maïs, le soja. Dans le cas de semis direct, des cultures décalées sont poursuivies afin de bénéficier de la biomasse végétale avant semis ou après récolte de la culture principale ; parfois celle-ci est plantée dans les résidus de la culture précédente afin de profiter des avantages des couvertures mortes ; enfin, on peut semer dans une couverture vivante à base de graminées (*Brachiaria*) ou légumineuses (*Arachis*, *Lotus*, *Trifolium*) maîtrisée par des herbicides adaptés. Les principales tendances disponibles pour le moment sont les suivantes [RAJAONARISON, 1994 ; RAMANANTSIALONINA, 1998-99 ; MICHELLON et coll. (1999, 2001a et 2001b) ; DZIDO, 2001] :

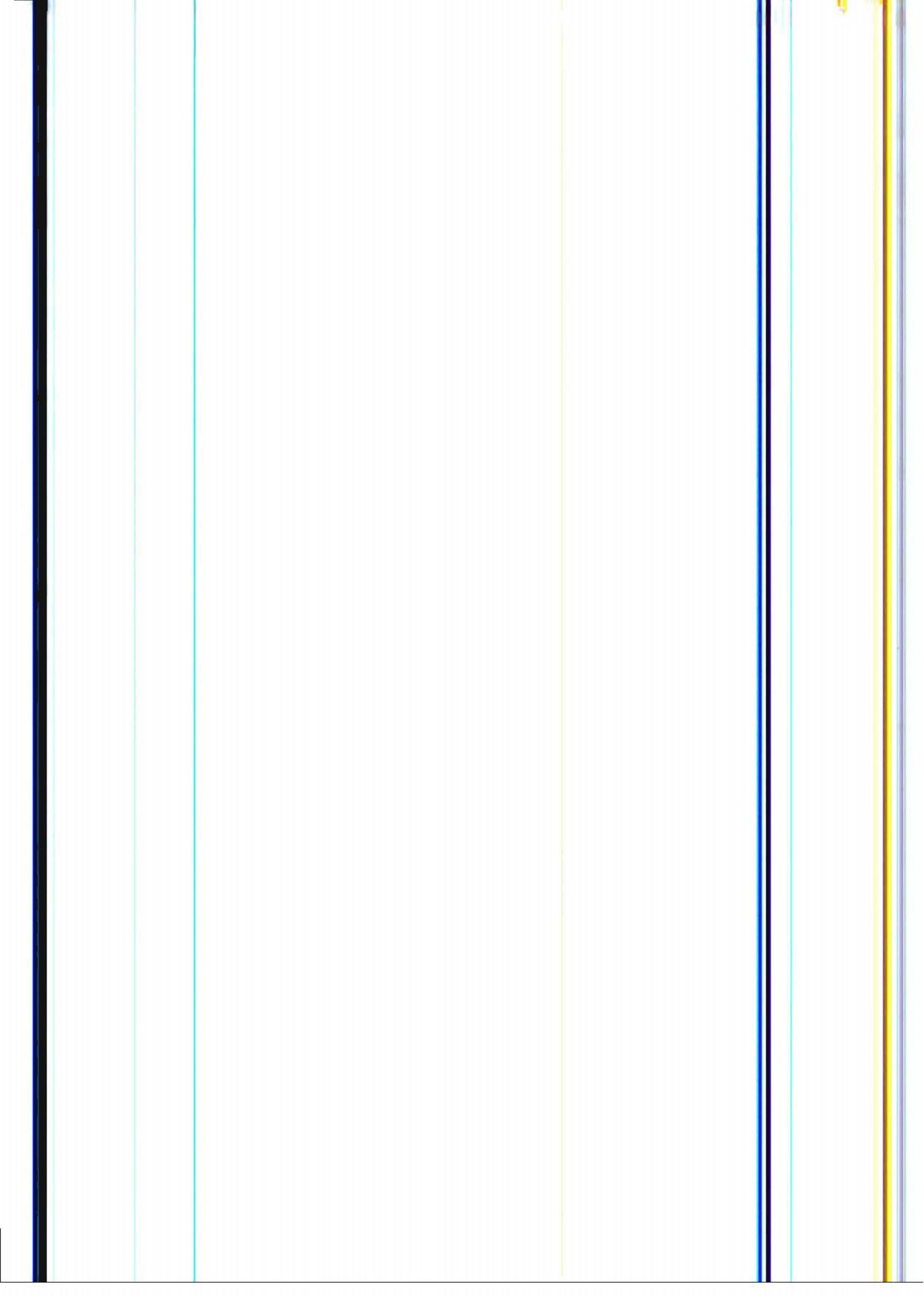
- les parcelles menées en semis direct, quelles que soient les cultures, donnent des rendements plus stables, en général supérieurs à ceux des parcelles traditionnellement menées avec labour (93 % des 19 essais répertoriés au tableau 1) ;
- ceci s'expliquerait par la protection due aux insecticides ; quand les mesures sont faites, on observe moins de vers blancs sur les parcelles avec couvertures mortes et, d'autre part, les larves s'alimenteraient indistinctement sur les racines des couvertures vivantes et de la culture, au lieu de se concentrer sur les racines de la culture pure ;
- les traitements des semences sont moins chers que les traitements en plein et sont mieux valorisés par les cultures avec labour, du fait des attaques plus importantes sur ce système de culture (sur 7 essais comparatifs, on note une augmentation arithmétique de rendement de + 12,9% sur semis direct et de +

Tableau 1 : SYNTHÈSE DES ESSAIS INSECTICIDES (Traitements de semences et/ou épandages sur sol)

Campagne auteurs	Ravageurs concernés	Cultures	Lieux	Type de sol	Type de production	Système de culture	Type de traitement	% Rendement (Parcelle non traitée)
1990 - 91 Rajaonarison	<i>Heteronychus</i> spp (<i>arator</i> : > 90%)	Riz pluvial	Lac Alaotra (CALA)		g. riz paddy/m ²	labour (traditionnel)	semences sol	- 5,2% +1,7 à 18%
1991 - 92 Rajaonarison	<i>Cetoniidae</i> <i>Celidota stephensi</i> <i>Euryomia argentea</i> <i>Sericinae</i> : ? <i>Dynastidae</i> <i>Heteronychus</i>	Riz pluvial	Lac Alaotra (Metambako)		g. riz paddy/m ²	labour (traditionnel)	non indiqué (traditionnel)	(?) - 21,2%
			Lac Alaotra (Andranomena)				non indiqué (traditionnel)	(?) - 12,0%
1997 - 98 Michellon et al.		Riz pluvial	Betafo Hauts-Plateaux	volcanique	t. riz paddy/ha	labour	semences	- 23,1%
					t. riz paddy/ha	labour	semences + thirame	- 40,0%
		maïs	Betafo Hauts-Plateaux	volcanique	densité de plantes x 10 ³ /ha	labour	sol	- 37,5%
	<i>Dynastidae</i> <i>Heteroconus paradoxus</i>	maïs	Ivory (Ankazomiriotra) Moyen Ouest)	ferrallitique sur coulée basaltique	densité de plantes x 10 ³ /ha	labour	appât seul	- 41,10%
							semence seul	- 49,0%
							semence + appât sur sol	- 14,5%
	<i>Cetoniidae</i> <i>Euryomya argentea</i> <i>Bricopterus sp</i>					semis direct	appât seul	- 2,7%
							semence seul	- 6,7%
semence + appât sur sol							- 8,8%	
<i>Gryllidae</i> <i>Brachytripes megalcephalus</i>					labour	sol	- 37,5%	
						maïs	Ibity Hauts-Plateaux	ferrallitique sur socle cristallin
		maïs	Betafo Hauts-Plateaux	volcanique	t. maïs/ha	labour + semis direct	semences	+ 13,3%

SYNTHESE DES ESSAIS INSECTICIDES (Traitements de semences et/ou épandages sur sol) (suite)

1998 - 99 Ramanantsialonina	Pas d'indications sur les espèces de vers blancs	Soja	Ibity Hauts-Plateaux	ferrallitique sur socle cristallin	t. graines/ha	labour	semences	- 13,9%
			Betafo Hauts-Plateaux	volcanique		semis direct		- 9,9%
						labour		semences
						semis direct		- 9,2%
2000 - 01 Dzido	Complexe d'espèces (Dynastidae, Melolonthidae Gryllidae Curculionidae)	Riz pluvial	Antanikatsa Hauts-Plateaux	volcanique en voie ferrallitisation	t. riz paddy/ha	-	semences	- 76,3%
		Riz pluvial	Andranobe Hauts-Plateaux	-	t. riz paddy/ha	-	semences	- 87,2%
		Riz pluvial	Mangolaza Hauts-Plateaux	-	t. riz paddy/ha	-	semences	- 53,2%
		Riz pluvial	Andranomanelatra Hauts Plateaux	ferrallitique sur dépôts lacustres	t. riz paddy/ha	-	semences	- 9,2%
2000 - 01 Michellon et al.	<i>Heteronychus Heteroconus</i>	Riz pluvial	Ibity Hauts-Plateaux	ferrallitique sur socle cristallin	t. riz paddy/ha	labour	semences	- 84,8%
						semis direct		- 33,4%
	<i>Hoplochelus (présûmés)</i>	Riz pluvial	Andranomanelatra Hauts Plateaux	ferrallitique sur dépôts lacustres	t. riz paddy/ha	labour	semences	- 30,6%
						semis direct		- 49,6%



35,9% sur labour) (tableau 1); néanmoins, le prix des nouvelles matières actives est élevé : le produit à base d'imidaclopride vaut 10 fois plus cher (environ 200.000 FMG/ha) que les produits à base de furathiocarbe ou de carbosulfan (15.000 à 25.000 FMG/ha) ;

- les insecticides ont une bonne action sur les larves, mais une faible efficacité sur les adultes ; or ce sont ces derniers qui sont à l'origine de dégâts sur le collet des jeunes plants dans la famille des Dynastides. Il serait intéressant de voir si les modifications de comportements des adultes sont induits par les plantes de couvertures ou par le traitement insecticide (répulsivité, ... ?). Les traitements avec appâts (son de blé + lindane) semblent moyennement efficaces ; cette technique serait à reprendre avec d'autres spécialités ;
- en dehors des considérations sanitaires, le système du semis direct améliore considérablement la conservation de l'eau et des sols, entraînant également une réduction de moitié des temps de travaux pénibles par suppression du labour et des sarclages ;
- selon les lieux et les années, ces données peuvent varier. D'après CHARPENTIER et RAZAFINDRAKOTO (communications personnelles), les attaques dues aux scarabées seraient plus importantes sur les cultures menées en semis direct dans les régions plus basses ;
- du point de vue expérimental, les coefficients de variation sont élevés (données agronomiques ou dénombrement des vers blancs) ; une réflexion serait à engager pour les réduire.

Dans le détail, les conclusions sont à tirer avec prudence, compte tenu de la variabilité des facteurs en jeu : conditions environnementales (sols, climat, entomofaune), diversité des facteurs de production mis en œuvre (culture : riz, maïs, soja ; mode du travail du sol : labour et semis direct ; type et densité de la couverture : morte ou vivant ; stade d'évaluation de l'efficacité : levée des plants, tallage, récolte ; critères de mesure de cette efficacité ; modalité des traitements : semences, appâts, sol... . Les points indiqués ci-dessous seront donc à préciser :

- il paraît difficile d'évaluer l'effet individuel des insecticides et des fongicides, car les traitements sont souvent mixtes ; quand les insecticides sont utilisés seuls, les effets sur les rendements sont moins élevés que les traitements mixtes ;
- les meilleures efficacités semblent provenir des insecticides systémiques, parmi lesquels l'imidaclopride paraît le meilleur, car le plus régulier, suivi par les 3 autres : furathiocarbe, carbosulfan et thiamethoxam ; les produits actifs par contact ou ingestion (fipronil ou lindane) semblent équivalents mais moins efficaces que les précédents. Ceci pourrait s'expliquer par une action privilégiée sur des ravageurs s'alimentant sur les jeunes tiges à la levée ;
- en traitement de sol, les insecticides systémiques se comportent mal, alors que parmi les produits de contact, le lindane a été efficace ;
- des analyses plus précises sur des essais menés sur soja ou riz (RAMANANTSIALONINA, 1998-99 ; DZIDO 2001) amènent aux conclusions provisoires suivantes : meilleure action des insecticides systémiques mélangés aux fongicides également systémiques, mais les gains sur les rendements sont moins



Photo D : Site d'Ivory. (Moyen Ouest)
Présence de termites sur couverture morte (tiges de mil)

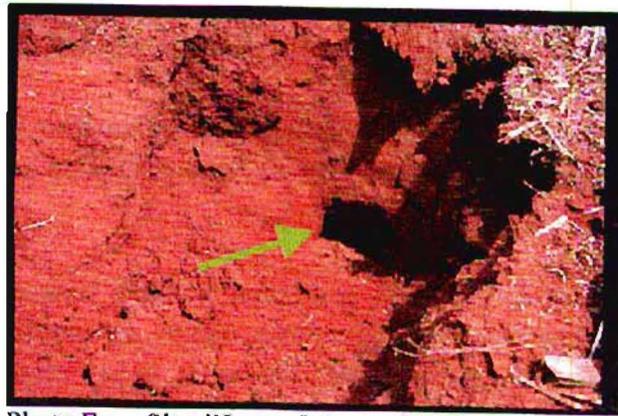


Photo E : Site d'Ivory (Moyen Ouest)
Galerie profonde de *Brachytrupes* sp (Orthoptère)

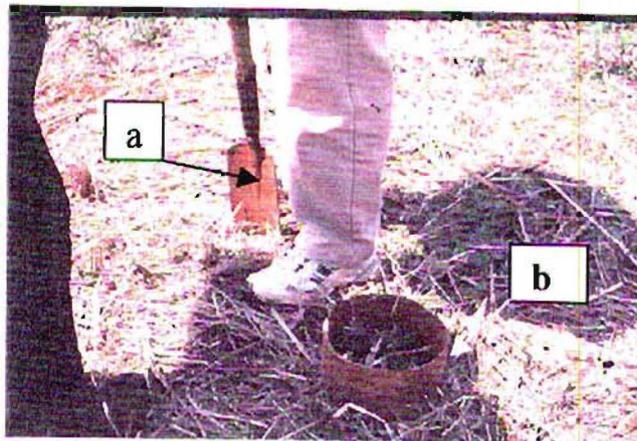


Photo F : Outils de prélèvement
Angady (a) et cylindre de fer Ø 20cm (b)

élevés sur soja que sur riz ; selon les essais, les dégâts peuvent être précoces, tardifs ou les deux, ce qui dénote les deux formes d'actions : sur les adultes de Dynastides et sur les larves de diverses familles. On note un effet favorable du carbosulfan sur la densité des plants et le rendement du soja, mais pas sur riz ;

- l'action bénéfique des fongicides peut avoir deux explications : action directe sur les maladies du riz ou actions sur les infections consécutives aux attaques d'insectes.

Durant la mission, les prélèvements ont consisté à creuser des fosses à l'aide de l'angady (sorte de bêche droite traditionnelle) d'environ 20 à 30 cm de largeur et un à plusieurs mètres de longueur suivant les lieux. La profondeur dépendait de la nature du sol, étant limitée à l'épaisseur de terre meuble (20 à 40 cm)(photos B et C). Tous les organismes trouvés ont été placés dans des boîtes en plastique contenant de la terre, en groupe ou individuellement quand l'échantillon était à isoler (nymphe, adulte, champignon...). Au laboratoire, ces organismes ont été triés et mis en récipients distincts. Plus de 200 taxons ont été isolés afin d'être observés individuellement. Une séance a été consacrée à l'observation fine (binoculaire, dessin) de larves de vers blancs en suivant la méthode indiquée dans le protocole placé en annexe 5. Les caractères morphologiques des larves ont été empruntés à RICHTER (1966), synthétisés par ABERLENC, tandis que les adultes seront déterminés à l'aide des clés mises au point par R.P. DECHAMBRE (1986) pour les Dynastides et LACROIX pour les Melolonthides (1989 et 1993).

Parmi les réflexions suscitées par les visites sur le terrain, on peut souligner les 2 suivantes :

- l'extrême diversité des situations pédologiques et de dynamique de l'eau créé par l'orogénèse des Hauts Plateaux et du Moyen Ouest ; cet état, ajouté à un climat tropical de montagne (températures contrastées dont les moyennes mensuelles sont comprises entre 6 et 32°C), ne peut qu'aboutir à des équilibres biologiques originaux. Il paraît important de déterminer les températures du sol afin de mieux comprendre la dynamique des populations d'insectes très sensibles à ce facteur ; l'altitude sera donc un facteur déterminant pour expliquer les différences d'ordre sanitaire, parfois pour des écarts apparemment faibles. A Ibity (environ 1.500 m d'altitude), on observait des larves âgées (à confirmer) et des adultes d'*Heteronychus*, alors qu'à Ivory (environ 1.000 m d'altitude), l'entomofaune semblait plus diversifiée : présence de termites (photo D), d'un grillon de taille impressionnante à mœurs endogées (*Brachytrupes* sp, photo E), d'un curculionide (*Polycleis* sp) et on observait des adultes et jeunes larves (à confirmer) d'*Heteronychus* ;

- durant la mission on a utilisé une méthode de prélèvement 'utilitaire' très différente de la méthode utilisée par les entomologistes et agronomes. La méthode en usage est de creuser des trous à l'aide d'un cercle de métal épais (20 cm de diamètre) enfoncé à l'aide d'une planche et d'un manche en bois, sur 3 niveaux de profondeur (0-10 ; 10-20 ; 20-30 cm). Elle est issue d'un ouvrage préconisant des méthodes en liaison avec l'étude du sol (ANDERSON et INGRAM, 1993) et/ou d'études antérieures poursuivies au Lac Alaotra

(RAJAONARISON, 1994). Elle a pour avantages d'être simple, répétitive, peu destructive ; le faible volume de terre à trier permet également de multiplier les prélèvements, ce qui est souhaitable pour des insectes dont les larves sont à répartition inégale et de s'adapter à une journée de prélèvement quand il faut tester plusieurs traitements. Les inconvénients, liés à ces avantages, sont de donner beaucoup de trous vides (entre 85 et 95% dans l'étude de RAJAONARISON) et des coefficients de variation élevés bien que classiques dans les études de ce genre (égaux ou supérieurs à la moyenne, même étude). D'autre part, l'enfoncement du cylindre dans la terre ne doit pas être toujours facile, notamment dans les cultures avec couvertures végétales ou pailis (en surface) ou les cultures labourées (en profondeur). Un plan d'échantillonnage établi pour *Heteronychus arator rugifrons* dans les conditions du Lac Alaotra indiquait qu'il fallait prélever 125 carottes de terre lorsque la densité était de 0,25 individu/carotte (8 individus/m²) et 750 pour une densité de 0,1 individu/carotte (3 individus/m²) pour une probabilité statistique de 90% et une erreur standard de 20% (RAJAONARISON, 1994).

Un prélèvement de base concernant les vers blancs ne peut qu'être un compromis entre plusieurs contraintes : système de culture (répartition de l'offre alimentaire), disposition de la cultures (écartement des lignes ou des plantes sur la ligne), type de comportement d'accouplement et de ponte de l'adulte (stade mobile, souvent grégaire, dépendant des sources d'alimentation variées, il engendre un stade peu mobile), temps nécessaire et pénibilité des trous à réaliser, recherche d'une moyenne significative.... La méthode choisie jusqu'ici est donc intéressante, nécessitant une certaine adaptation qui pourrait être source d'une recherche méthodologique. Parmi les principes qui pourraient guider cette action :

- prélever également sur la ligne et l'interligne ; si on ne veut pas pratiquer de prélèvements destructifs, on peut ne prélever qu'un demi trou de chaque côté de la ligne ; la détermination des espèces se nourrissant de racines vivantes devraient être plus aisées en comparant les prises entre 'lignes' et 'interlignes' : les larves seront d'autant plus ravageuses qu'elles seront proches plus précocement et plus longtemps des racines.
- la largeur du prélèvement à cheval sur la ligne et celui de l'interligne doivent être égaux et mesurer la moitié ou un sous-multiple de l'interligne adopté pour la culture ; le prélèvement dans l'interligne doit se faire en son milieu, les prélèvement pouvant être jointifs [exemple sur le riz pluvial : planté avec un interligne de 20 cm, le prélèvement sur la ligne fera 20 cm de large, ainsi que le prélèvement sur l'interligne ; sur maïs planté avec un interligne de 0,8 m, le prélèvement sur la ligne devrait avoir 20 ou 40 cm de large (soit 10 ou 20 cm de chaque côté de la ligne)]
- afin de réduire la variance, la longueur du prélèvement pourrait être un multiple (2 ou 3) de sa largeur, avec l'inconvénient d'être destructif et l'avantage d'avoir moins de trous sans larve (la culture étant de toute façon détruite) : l'expérience indiquera la méthode ayant le meilleur rapport qualité (meilleur indicateur de moyenne)/coût (destruction plante,

pénibilité, temps). De ce point de vue, la compétition entre le cercle de fer et l'angady risque de se conclure à l'avantage de cette dernière (photo F). L'idéal serait d'avoir des lames d'angady de la largeur du prélèvement, ou un sous-multiple (par exemple, une largeur de lame de 20 cm serait indiquée pour des trous de prélèvement ayant 20 et 40 cm de largeur.

- une discipline du prélèvement doit être adoptée : utiliser un plastique noir, sur lequel on dépose la nouvelle terre à trier ; dès que cette terre est triée, l'évacuer pour laisser le plastique libre ; trier peu de terre à la fois, l'étaler largement pour avoir une faible épaisseur ; prendre aussi, si possible, des ouvriers localement pour éviter des transports coûteux tout en multipliant le nombre de trous prélevés.

2. Programmation

Une matinée réunissant le FOFIFA et le CIRAD a été consacrée à la définition d'un programme de travail sur les vers blancs. Les thèmes abordés sont indiqués dans l'annexe 6. Il s'agit de sujets d'études classiques en matière d'entomologie, dont certains ont déjà été abordés, parfois depuis plusieurs années [cf. références bibliographiques (annexe 11) ; Programme d'entomologie pour la campagne 2001-2002 (annexe 7)].

Les vers blancs sont très étudiés dans le monde. Un effort particulier doit être fait pour rassembler la bibliographie déjà publiée sur ce sujet, tout en sachant que le genre *Heteronychus* a une biologie particulièrement souple, utilisant des repos de développement soit du stade adulte soit du dernier stade larvaire lui permettant de vivre dans des conditions très différentes¹. Cet effort d'information ne doit pas négliger les savoirs paysans qui pourraient être abordés aux travers d'enquêtes sur les observations locales et les pratiques, de divers ordres, utilisées par les paysans pour limiter les attaques de vers blancs (noms locaux, perception des nuisibilités relatives, usages alimentaires, pratiques de lutte.....). Une liste de questions possibles est proposée en annexe 8. Un certain nombre d'indications ont été données lors des questions débattues après l'exposé du 9 novembre.

Les grands traits de la dynamique des populations, ainsi que les organismes antagonistes, seront déjà largement connus après l'étude faunistique, l'ensemble devant prendre 2 à 3 ans. On a vu que ces recherches nécessitent de clarifier les méthodes de prélèvements. Si des méthodes d'élevages sont entreprises, on peut adapter les techniques indiquées par HURPIN (1971)(Annexe 9). Il resterait à mieux connaître le comportement des adultes (la littérature indique que les accouplements du genre *Heteronychus* sont réalisés dans le sol par ex.) : quelles sont les amplitude des mouvements des adultes après leur émergence ? Quels sont leur sites de repos durant la journée ? Quelle est la distance de vol ? Combien de cycle de reproduction pour la femelle, les adultes étant capables de vivre pendant plus de 6 mois ? Quelle est l'influence, tant positive que

¹ Attention : les cycles des vers blancs (*Heteronychus arator* et *Costelytra zealandica*) indiqués sur les fiches techniques mises au point par le D.S.I.R. de New-Zélande et fournies durant la mission, ont été donnés pour démonstration, mais ne représentent pas les données malgaches.

négative, à long terme, des systèmes de gestion du sol (écobuage, couvertures mortes et vivantes d'une part ; labour d'autre part) ; quelle est l'influence de la rotation sur les attaques de vers blancs ? Peut-on synthétiser les phéromones ou utiliser des composés ayant déjà fait leur preuve ? Ou encore, peut-on utiliser des adultes encagés (MORIN, 1999) (annexe 10) ? Si une action de type 'Système d'Information Géographique' se mettait en place, il devrait ouvrir une base de données sur les signalisations des attaques de vers blancs ravageurs (d'où l'intérêt d'utiliser un GPS pour indiquer les coordonnées des captures). On pourrait établir une cartographie des dégâts et mieux appréhender les facteurs majeurs de variation [les sols ferrallitiques jaunes semblent moins favorables à la présence des vers blancs (RANDRIAMANANTSOA, communication personnelle) ; influence des reliefs sur le comportement de vol ?...] ; la CIRPV ou les autres institutions de développement ne pourront jouer leur rôle, important, dans cette action, que si on leur fournit les clés simplifiées de détermination.

Déjà abordées lors des recherches antérieures compte tenu de son intérêt agricole, l'évaluation des pertes dues aux vers blancs seraient à poursuivre en affinant progressivement l'aspect 'espèces ravageuses dominantes' en descendant au niveau des 'stades larvaires clés'. Le tableau 1 a repris les données brutes indiquées dans les rapports, sans différencier les molécules mises en comparaison, ni indiquer les aléas ayant accompagné les expérimentations (manque de véhicule, attaques de criquets, vols d'épis...) et qui fragilisent parfois les conclusions. Parmi les nouvelles matières actives prometteuses, l'imidachlopride semble donner les meilleurs résultats, n'ayant pas les effets défavorables montrés sur les vers de terre par le fipronil (RAMANANTSIALONINA, 1999). Son coût (200.000 FMG/ha) en traitement de semences qui représente près de 0,3 tonnes/ha de riz paddy, pourrait rendre d'autres molécules plus attrayantes économiquement (5 à 10 fois moins chères) bien que relativement moins efficaces. Mais les études économiques disponibles montrent l'intérêt des traitements de semences, sinon leur aspect incontournable (RAMANANTSIALONINA, 1999 ; DZIDO, 2001). La notion de seuil de nuisibilité sera très difficile à mettre en œuvre, mais la reconnaissance des larves déprédatrices par rapport aux larves 'neutres' est une phase préliminaire. Une question pendante est la participation des larves de cétoines à des dommages réels. Plusieurs auteurs les ont cités comme ravageurs, en rendant responsables les apports de fumier laissés en tas sur les champs (RAJAONARISON, 1994) alors que d'autres ne notent pas de différences en pertes de rendement et densités de vers blancs en apportant du fumier (DZIDO, communication personnelle). La conformation des larves de cétoines ne les prédisposent pourtant pas à une vie sous terre (absence de pattes développées, qui sont l'outil de fouissage des larves de hannetons classiques). Autant le corps fuselé de ces larves semble être adapté à une vie dans un milieu fragmenté, dans lequel elles progressent sur le dos, grâce à des séries de poils particuliers, autant il semble peut-être adapté à la vie endogée. Ceci étant, il est important de regarder de plus près les mœurs des espèces mises en cause.

Pour le moment, le traitement des semences par les produits insecticides semble la meilleure manière de régulariser les productions. Cette régularisation est une phase indispensable à la mise au point de méthodes alternatives. Par cette technique de traitement raisonné, on minimise les effets secondaires sur les organismes utiles et les coûts. Déjà, en matière de pratiques agronomiques favorables, le système du 'semis direct' semblent avoir, sur le Hauts Plateaux et le Moyen Ouest, des effets bénéfiques. D'autres expérimentateurs sont d'avis contraires dans des zones plus basses. Ces résultats ne sont probablement qu'apparemment contradictoires. L'analyse plus précise indiquée dans le programme ci-dessus devrait éclaircir le problème. Lors de la visite au Laboratoire d'Entomologie du FOFIFA à Ambatobe, L. RANDRIAMBOLANORO, Chef de la DRA et C. RAZAFINDRAKOTO, Entomologiste FOFIFA au CALA (Lac Alaotra) ont indiqué qu'un champignon du genre *Metarhizium* ayant pour hôte le genre *Heteronychus* pourrait être un bon candidat pour des essais en pleins champs. Il faudrait approfondir cette question et voir comment la Réunion pourrait apporter son aide (Université pour une meilleure caractérisation moléculaires des souches, Société Bétel-Réunion pour une formulation granulée... ?)

Selon les thèmes abordés, des aides spécifiques (financières, scientifiques) auxquelles pourraient être liées des formations, devront être déterminées, en fonction de leur intérêt pour le développement. Bien que ces aspects soient tous importants, les moyens humains et financiers à mettre en œuvre sont également notables et une réflexion est nécessaire pour faire émerger les priorités.

3. Formation

a. Exposé à la Station Régionale de Recherches au FOFIFA Antsirabe (18 participants)

Une invitation a été lancée auprès des différentes institutions régionales travaillant sur les problèmes de développement agricole pour les convier à assister à un exposé sur la biologie des genres *Heteronychus* (R. RANDRIAMANANTSOA) et *Hoplochelus* (B. VERCAMBRE), ainsi que sur le programme d'expérimentations prévues pour la mise au point d'une méthode de lutte contre ces ravageurs (A. RATNADASS). Une demande de collaboration a été faite à la CIRPV afin de participer à une action de délimitation des zones d'attaque des vers blancs selon les espèces et la gravité des dommages.

b. Conférence à la Direction Générale du FOFIFA à Tananarive (16 participants)

Une conférence plus ciblée sur la lutte biologique contre les vers blancs à l'aide d'organismes biologiques, prenant appui sur l'expérience de l'opération menée à la Réunion, a réuni des chercheurs de l'Université, du FOFIFA et du CIRAD. A l'issue de l'exposé, une proposition de collaboration régionale entre le FOFIFA et le CIRAD a été émise afin d'obtenir des granulés contenant un champignon entomopathogène (*Beauveria*, *Metarhizium*).

IV. PROPOSITIONS

Les points qui paraissent les plus urgents à mettre en œuvre seraient les suivants :

1. Recherche
 - a. Bibliographie et savoirs paysans : le programme CAS du Cirad-ca dispose déjà d'une bibliographie importante (publications ou rapports) concernant les vers blancs, portant notamment sur Madagascar, pouvant être abondée par une nouvelle recherche sur les articles nouveaux. Une convention pourrait être établie pour une telle recherche, ainsi que la fourniture de copies des documents. En ce qui concerne les enquêtes, quelques propositions de questions sont présentées en annexe, mais un protocole d'enquête plus complet doit être élaboré sur place.
 - b. Systématique : des recherches ont déjà été engagées par J. RAJAONARISON au CALLA et dans la région de Tananarive. Il n'est pas souhaitable de recommencer les mêmes recherches et une coopération doit être recherchée afin de pouvoir bénéficier des résultats déjà acquis (signature d'une convention avec ce chercheur afin de protéger ses découvertes). Ceci n'empêche pas de réaliser une recherche valable pour les Hauts Plateaux et le Moyen Ouest. Si les résultats acquis peuvent la faciliter, le protocole proposé va plus loin dans la caractérisation des larves et, d'autre part, les communautés d'insectes risquent de différer, faisant ainsi progresser nos connaissances sur la répartition régionale des vers blancs à Madagascar. Le rôle des larves de cétoines dans les dégâts doit être établi clairement.
 - c. Méthodologies de prélèvements : dans ce domaine de recherche de base, le programme CAS peut proposer, si utile, une convention (protocole + interprétation géostatistique des données) pour une étude particulière sur la répartition spatiale des vers blancs dans une parcelle.
 - d. SIG : on a déjà souligné l'intérêt d'une coopération étroite entre CIRPV et les chercheurs du PCP/SCRD. Les produits devraient être une aide à la détermination d'indicateurs de risques selon les configurations des facteurs-clés de pullulations d'insectes.
 - e. Phéromones : c'est un domaine complexe, mais on peut débiter des recherches préliminaires dans la ligne indiquée dans l'article de J.P. MORIN (Annexe 10).
 - f. Evaluation des pertes : les résultats globaux obtenus sont déjà suffisamment significatifs pour qu'on ne lance pas de nouvelles actions spécifiques. Une étude économique sur les données existantes pourrait donner des évaluations de seuils économiques de perte en fonction des techniques et des coûts des produits chimiques. Mettre en œuvre des études plus fines en fonction des espèces présentes semble prématuré pour le moment.

g. Lutte :

- Techniques culturales : sujet de grand intérêt, mais complexe, compte tenu du fait que les systèmes de culture utilisés mettent en jeu de nombreux facteurs plus ou moins liés. Les différents objets doivent être soigneusement délimités avant de les comparer. Une concertation agronome - microbiologiste du sol - entomologiste est nécessaire afin de lister et de sérier tous les facteurs susceptibles d'avoir une action, de préciser les interactions, directes ou indirectes, de définir les méthodes et les outils d'analyse. Il faut réduire au maximum les 'boîtes noires' afin d'explicitier les causes éclairant les divergences sur les conclusions des agronomes selon qu'ils travaillent sur les Hauts Plateaux ou à des altitudes plus basses (ou en d'autres régions). Une action est entreprise en ce sens par J. BOYER (Cirad Réunion).

- Produits insecticides : cet aspect a déjà été abordé largement et est à évaluer en fonction de la technique précédente.

- Plantes à effet répulsifs/insecticides : domaine très intéressant, mais également difficile, que connaît bien A. RATNADASS. Deux éléments seraient à considérer : qualitativement, la nature et richesse en composés efficaces des végétaux ou parties de végétaux utilisés pour les essais ; économiquement, la disponibilité à grandes échelles des plantes qui se révéleraient intéressantes ou le coût des produits synthétisés. Une première étape est de mesurer les effets observés dans les essais prévus en 2001-2002 (essai 6 de l'annexe 7).

- Lutte microbiologique : deux aspects également :

+ Germe dont l'étude est déjà avancée : un champignon du genre *Metarhizium* est actuellement étudié par les entomologistes du FOFIFA (J. RAJAONARISON et C. RAZAFINDRAKOTO). Il est prévu des essais en champs paysans au Lac Alaotra en utilisant du riz 'sporisé'. Il serait utile de voir comment le PCP/SCRD pourrait participer à cette opération, soit en aidant à la fourniture de granulés, soit en mettant en place des essais sur les Hauts Plateaux.

+ Germes apparaissant durant les élevages extemporanés (Annexe 5) ou des quarantaines à la SRR d'Antsirabe. Se mettre en rapport avec les entomologistes du FOFIFA pour leur exploitation.

2. Formation

Actuellement, une thèse sur les vers blancs est engagée par J. RAJAONARISON, entomologistes du FOFIFA (Biologie et Lutte biologique) en liaison avec l'Université de Tananarive. En matière de formation, 3 aspects pourraient être envisagés :

a. caractérisation des souches de champignon des ravageurs du sol en relation avec l'Université de la Réunion (G. MOREL et M. FOUILLAUD).

b. caractérisation des phéromones des différentes espèces de vers blancs, en relation avec le Laboratoire INRA de Phytopharmacie et Médiateurs chimiques (JP MORIN).

c. influence des systèmes de cultures sur les attaques de vers blancs. C'est un large sujet qui nécessite une réflexion entre entomologistes et agronomes pour dégager les

formations prioritaires. La mission préliminaire faite par nos collègues du FOFIFA au CIRAD/Réunion va dans ce sens.

A N N E X E S

ANNEXE 1 : PROGRAMME DE LA MISSION

- Di 4 11 : Départ de Montpellier : 17.40, Arrivée à Paris Orly : 18.40 ; Départ pour la Réunion : 21.00,
- Lu 5 11 : Arrivée à Gillot : 11.05, Départ pour Madagascar : 13.15, Arrivée à Ivato : 14.15. Accueil par Alain RATNADASS. Contact avec M. PARTIOT.
- Ma 6 11 : Courses à Tananarive. Départ pour Antsirabe. Visite au Directeur de la Station Régionale de Recherche (SRR) du FOFIFA d'Antsirabe. Prise de contact avec les chercheurs du FOFIFA (Entomologie) et du CIRAD. Organisation des prospections. Installation.
- Me 7 11 : Prospections à Ibity et à Andranomanelatra (Tafa).
- Je 8 11 : Prospections à Ivory (Moyen ouest), Betafo et Antanikatsaka (Hauts Plateaux).
- Ve 9 11 : Séance de travail et de programmation sur les vers blancs des cultures pluviales (SRR-FOFIFA, CIRAD, PCP/SCRD). Exposé sur la biologie et la dynamique des vers blancs (type *Dynastidae Heteronychus* : R. RANDRIAMANANTSOA et *Melolonthidae Hoplochelus* : B. VERCAMBRE), 18 participants (FOFIFA, CIRAD, CIRAGRI, CIRPV, ONG Tafa).
- Sa 10 11 : Exploitation des insectes prélevés lors des prospections : initiation à la systématique des larves.
- Di 11 11 : Trajet Antsirabe - Tananarive.
- Lu 12 11 : Conférence sur la "Lutte micro-biologique contre les vers blancs" à la DG du FOFIFA (16 participants : FOFIFA, CIRAD, Faculté des Sciences) - Visite des laboratoires d'entomologie du FOFIFA, à Ambatobe et entretiens avec les chercheurs.
- Ma 13 11 : Départ de Tananarive-Ivato : 12.20, Arrivée à Gillot Réunion : 13.20. Accueil par Jacques ROCHAT

ANNEXE 2: PERSONNES RENCONTREES

- R. ANDRIAMPARANY : responsable essai Antanikatsa
H. CHARPENTIER : agronome, CIRAD/TAFA
J.L. DZIDO : sélectionneur CIRAD/FOFIFA, Chef du Programme Riz d'Altitude
R. MICHELLON : agronome CIRAD/TAFA
M. PARTIOT : délégué CIRAD à Madagascar
Y. RABETOANDRO : directrice scientifique de la DG-FOFIFA
R. RAJAOFERSON : technicienne entomologie SRR-FOFIFA à Antsirabe
L. RANDRIAMBOLANORO : chef du Département Recherches Agronomiques, FOFIFA
R. RANDRIAMANANTSOA : entomologiste, SRR-FOFIFA Antsirabe
A. RATNADASS : entomologiste, co-animateur du projet PCP - SCR D
F. RATOLOJANAHARY : chef de site TAFA - Ivory
C. RAZAFINDRAKOTO : Entomologiste FOFIFA - CALA Lac Alaotra
M. RAZAKAMIARAMANANA : chef de la SRR-FOFIFA Antsirabe

ANNEXE 4 EXEMPLE D'ESSAI CONCERNANT LES SYSTEMES DE CULTURE

COMBUSTIBLES

IBITY

NORD

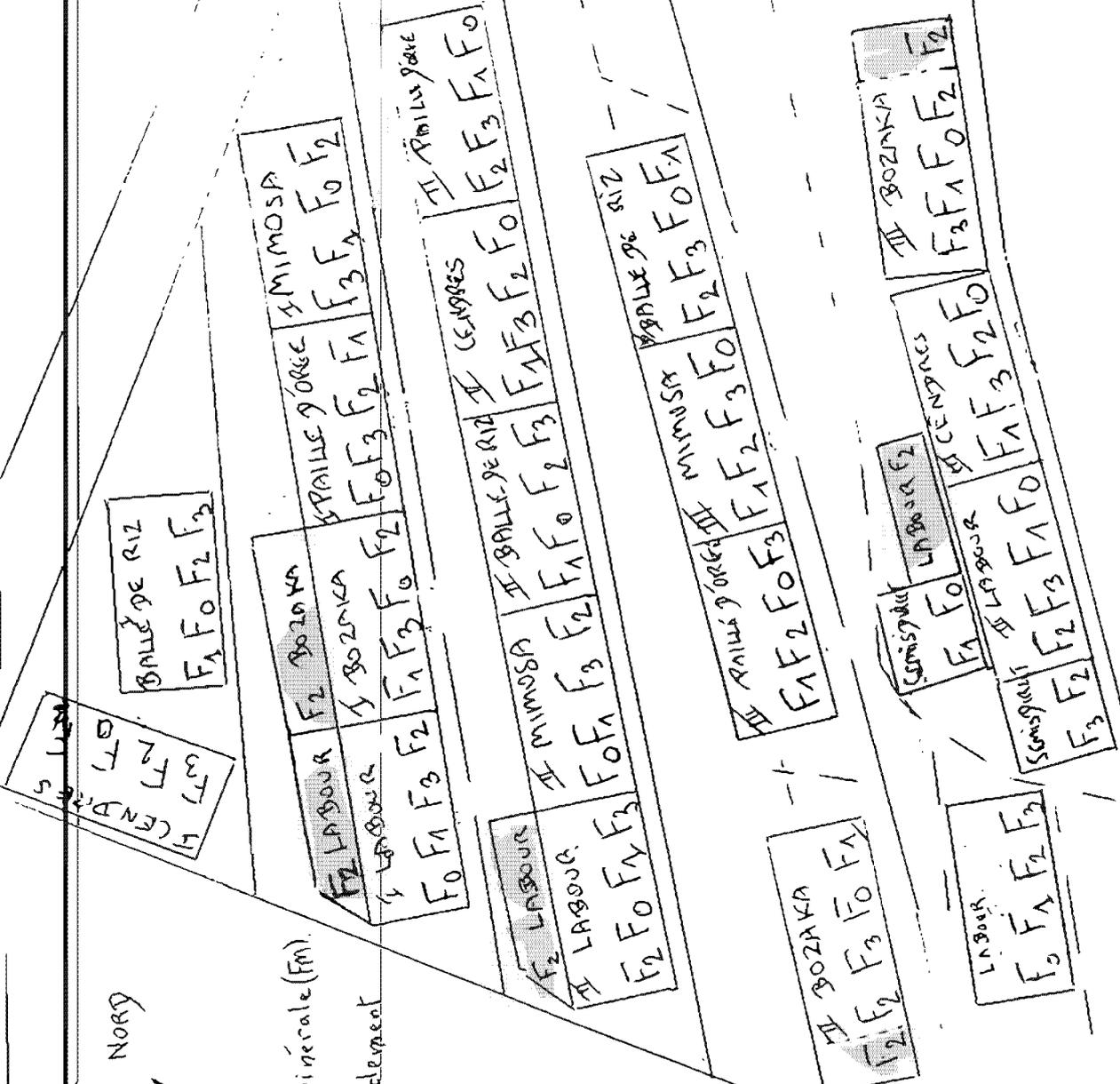
F₀: sans fumure

F₁: fumier seul

F₂: fumier + fumure minérale (FM)

F₃: fumier + FM + amendement minéral.

POUR L'ÉCOBUAGE



ANNEXE 5

CIRAD/CA

Programme Canne à Sucre

Mise au point de clés simples pour

la reconnaissance des vers blancs au champ.

Correspondance avec leur stade œuf, nymphal et adulte

I. Objectifs

Depuis plus d'un siècle (ALLUAUD, 1893 ; FRAPPA, 1937 ; CARESCHE et BRENIERE, 1962 ; RAJAONARISON, 1994 dans le rapport du PLI ; RAJAONARISON et RAKOTOARISOA, 1994 ; RAJAONARISON, 1996 ; MICHELLON et coll., 1999 ; RATNADASS, 2001), les chercheurs et développeurs en agriculture observent des dégâts dus à des insectes de type scarabée sur un grand nombre de cultures (riz, blé, orge, maïs, canne à sucre, prairies). La diversité de la faune malgache, avec un taux élevé d'endémisme pour ce type de nuisible polyphage, en est une des causes première (LACROIX, 1993). Mais l'homogénéité apparente du stade larvaire (le 'ver blanc' ou 'kalabe', 'sakivy'....) empêche souvent de reconnaître l'espèce en cause et ceci durant toute la durée de son développement qui peut durer plus de 6 mois. Les tailles différentes des 3 stades qui se succèdent durant le cycle annuel est aussi source d'erreur : le 3^e stade d'une espèce peut ressembler en taille à un 2^e stade d'une autre espèce. Par ailleurs la diversité des régimes alimentaires laisse supposer que tous n'ont pas le même degré de nuisibilité (il existe des vers blancs s'alimentant principalement sur la matière organique), l'adulte ('fano', 'voangaly'....) pouvant être à l'origine de dégâts, d'autres s'alimentant sur des tissus vivants dans certaines conditions, d'autres enfin pouvant être prédateur). Lors de prélèvements de ces larves en conditions de culture, il est donc difficile de savoir à qui on a affaire, cette difficulté se répétant pour les nymphes, puis se poursuivant dans la correspondance entre les larves dans le sol et les adultes que l'on trouve rassemblés durant la première partie de la nuit sur les feuillages des végétaux, aux lumières ou au niveau du sol. Dans le cas de larves, il existe des critères de différenciation (rasters sur l'extrémité de la partie ventrale de l'abdomen, différentes parties sur la capsule céphalique : forme ornementation ..., segments de l'antenne ...) qui ne peuvent être validés que par rapport à une liaison formelle avec l'adulte, le seul stade reconnu exhaustivement par les faunes dont on dispose.

Il est donc proposé de faire une action spécifique permettant de réaliser cette liaison de manière définitive et de donner à l'ensemble des intervenants des clés simples sur les stades larvaires qui, la plupart du temps, sont les individus les plus facilement retrouvés sur le terrain. Les retombées seront de nature scientifique (production d'articles), biologique (suivi de la dynamique des populations), et pratiques (utilisation de lutttes adaptées).

2. Méthodologie

Plusieurs étapes sont à considérer :

a/ réunir la documentation existante

De nombreux travaux, publiés ou non, ont déjà été consacrés à ces ravageurs. A. RATNADASS s'est procuré la synthèse de DECHAMBRE (n° 65 de la Faune de Madagascar, Insectes Coléoptères, Dynastidae) qui est déjà un apport indispensable. Lors de nos entretiens au FOFIFA d'Ambatobe, nous avons vu que l'équipe d'entomologie du Lac Alaotra avait déjà progressé dans cette voie (depuis 1988). Il serait intéressant de les contacter afin de bénéficier de leurs résultats. Ceci n'empêche pas d'appliquer ce protocole, car les conditions édapho-climatiques des Hauts-Plateaux donneront des configurations faunistiques différentes (espèces présentes, fréquences relatives, succession des stades...).

b/ prélèvement des échantillons

- en partant des larves : lors des prélèvements, spécifiquement entomologique ou à d'autres occasions, les insectes sont placés individuellement en boîte de plastique avec un peu de terre humide ou éventuellement mis dans une bouteille d'eau. On peut aussi mettre plusieurs larves dans une boîte de grande dimension en cas de besoin, mais toujours avec de la terre pour éviter que les larves ne se blessent mutuellement, ce qui cause la perte par septicémie des insectes touchés. La technique de la bouteille a pour avantage sa simplicité (on mélange tous les vers blancs ensemble), l'évitement des septicémie (les larves deviennent immobiles), sa facilité de transport et de tri au laboratoire, le stress qui peut révéler des maladies, mais il faut vérifier la validité de la technique pour chaque espèce car elle a été recommandée pour des Melolonthides (particulièrement la durée de résistance des larves). Chaque échantillon sera référencé au niveau requis (date, lieu, altitude précise, type de sol, culture, profondeur, traitement,...). L'utilisation d'un GPS ne peut être qu'encouragé. La récolte est ramenée au laboratoire pour caractérisation.

- en partant des nymphes : c'est un stade de durée courte et on en rencontre peu, ce qui justifie de les placer individuellement dans une boîte en plastique, en veillant bien au calage (terre fine et fraîche). Référencement (au départ, on sera souvent amené à identifier les larves par des lettre) et placement en laboratoire.

- en partant des adultes : stade utilisé pour la détermination, ils peuvent être mis directement en collection ; on peut aussi les disséquer pour avoir des données sur le développement de la reproduction et de la capacité biotique des femelles, les mettre en cage pour attirer le sexe opposé (chez les Melolonthides, c'est la femelle qui produit les phéromones, chez les Dynastides, c'est le mâle). Le piégeage lumineux est un bon moyen d'avoir beaucoup de matériel, mais un mauvais indicateur de fréquence (cf. fig.1 et tableau 15, RAJAONARISON, 1994 ; d'autre part, il ne renseigne pas réellement sur les milieux où vivent les larves ; si les lampes aux U.V. ne s'imposent pas, en revanche la puissance de la lampe paraît importante pour capturer les adultes en quantité (prendre 250 watts si possible). A des heures précises (souvent au crépuscule et en début de nuit), on peut capturer des couples sur les végétaux (lieux des recherches à préciser selon les espèces).

c/ caractérisation des individus (larves, nymphes)

- larves : on sera amené à diviser les échantillons en 2 groupes (larves vivantes : élevage, voir paragraphe d/ ; larves tuées : caractérisation / mise en collection, cf. paragraphe e/). Les larves à caractériser seront tuées soit par congélation, soit par plongeon dans de l'eau bouillante. Afin de caler la larve en bonne position pour observation des caractères d'intérêt, il faut choisir un support adéquat (polystyrène creusé, pâte à modeler... par ex.). A l'aide d'un binoculaire, un certain nombre de caractères seront systématiquement repérés et dessinés soigneusement, avec échelle (nécessité d'un objectif avec réticule) : capsule céphalique (morphologie des différentes pièces, sutures, soies) ; mandibules ; antennes ; stigmate thoracique ; nombre d'articles des pattes ; dents sur des tibias et griffes des pattes ; raster (partie abdominale postérieure) avec ses différentes zones, cf. croquis ABERLENC d'après RICHTER (1966), fente anale... Cette liste n'est pas exhaustive, mais reprend les caractères les plus cités dans la littérature (PAULIAN et BARAUD, 1982 ; RICHTER, 1966...). On mesurera la largeur de la capsule céphalique (détermination du développement par les stades, au nombre de 3) ainsi que le poids (réalisée dans le temps sur l'ensemble du cycle) on pourra établir une courbe de croissance en conditions naturelles).

- nymphes : diviser en 2 échantillons : élevage, tuées pour mise en collection ; on observera la couleur, les expansions latérales, le pygidium (extrémité abdominale), les cerques terminaux, les stigmates (PAULIAN et BARAUD, 1982). Un dessin sera fait avec mention de l'échelle.

d/ mise en observation / élevage

- les larves vivantes âgées seront conduites (avec ou sans alimentation) jusqu'à la formation de la nymphe (voir paragraphe précédent). Partant depuis le début de la nymphose, on pourra noter les températures et réaliser une pesée journalière à partir du 2-3^e jour (durcissement de la cuticule) jusqu'à l'obtention de l'adulte. Une partie sera mise en collection. Une partie peut également être laissée en élevage en mélangeant mâles et femelles (il existe des différences entre adultes : chez les Heteronychus, les tarsi des pattes antérieures des mâles sont épaissis ; chez beaucoup de femelles des

Melolonthides, les éperons portés par les tibias des pattes postérieures sont plus incurvés et aplatis ; les antennes, la différence de pilosité sont parfois des signes de reconnaissance ; consulter les clés ou suivre les recommandations données par MORIN et coll., 1999, afin de reconnaître le sexe qui produit les phéromones, ainsi que déterminer les couples par les appariements, cf. Annexe 10).

- un élevage des larves plus jeunes ne s'impose pas car assez lourd en temps et préparation de l'alimentation, sauf pour objet particulier (suivi de maladies ou courbe de croissance) ; on disséquera le tube digestif pour distinguer le mode alimentaire des espèces selon le stade (matière organique ou vivante) ; une partie sera mise en collection.

e/ détermination des adultes et œufs

- au niveau spécifique : les prélèvements et les élevages fourniront une certaine quantité adultes qui seront alors liés à leurs stades antérieurs. Ceux-ci seront préparés selon les normes usuelles, référencés puis déterminés à l'aide des clefs disponibles dans la collection "Faune de Madagascar": [n° 88 (1 et 2), Coléoptères Hopliidae, par M. LACROIX ; n° 74, Aphodiidae par P. BORDAT, R. PAULIAN et R. PITTINO ; n° 73 (1 et 2), Coléoptères Melolonthidae par M. LACROIX ; n° 65, Coléoptères Dynastidae par R.-P. DECHAMBRE] ou comparés à une collection sûre ou encore envoyés pour vérification à un laboratoire de faunistique spécialisé en agriculture tropicale. Si les insectes appartiennent à d'autres familles (Curculionides, Cétoines,...) l'envoi à ce dernier laboratoire serait également nécessaire. Un cahier d'archives doit être ouvert afin de centraliser les données : n° d'échantillons et date d'envoi, références complètes, dates des déterminations reçues, nom du déterminateur..., en rapport avec la collection de références en boîte.

- au niveau du sexe : sur le terrain, on peut prélever les couples durant ou après l'appariement, souvent à la tombée de la nuit, quelques minutes après le coucher du soleil (20 min pour *Hoplochelus marginalis* à la Réunion) . Une partie peut être utilisée à la collection et on peut isoler les femelles accouplées pour obtention des œufs. Placer ceux-ci dans de la terre humide, car ils gonflent par absorption d'eau. Noter la température et la durée de développement, c'est un moyen d'obtenir les très jeunes stades, de vérifier la largeur de la capsule céphalique et le raster. De plus, un lot peut être conservé pour dissection régulière et observation du développement des œufs dans les ovaires de la femelle. On peut également profiter de la situation pour élever le premier stade larvaire, puis les autres en fonction du temps disponible, car les rendements sont faibles (cf. article de HURPIN, 1971, annexe 9). Enfin un lot peut servir comme piège pour les autres adultes (cf. paragraphe e/ et article J.P. MORIN, Annexe 10).

f/ mise en collection

Comme indiqué dans l'introduction, il y a lieu de distinguer les adultes qui seront mis en collection à sec et les stades 'mous' (larves, nymphes et œufs) qui seront placés en collection liquide.

- la collection à sec sera mise en œuvre avec les précautions d'usage pour éviter les attaques d'insectes ou moisissures. Plusieurs solutions sont possibles en fonction des moyens disponibles. Une salle climatisée est souhaitable mais pas toujours faisable. On peut également utiliser une armoire métallique à fermeture étanche, dans laquelle on dispose des lampes chauffantes. Pour conserver les adultes, on utilisera aussi des boîtes étanches, si possible normalisées, au fond desquelles on déposera une solution de fongicide à l'aide d'un pinceau et des boules de naphthaline placées dans un cube en carton léger (veiller à remplacer régulièrement les boules).

- la collection liquide sera faite dans des bocaux à confiture à fermeture étanches ou dans des bouteilles à larges bords, qui peuvent bien se fermer par un bouchon à vis. Si les larves sont mises en alcool 70-80%, elles seront préalablement tuées dans de l'eau bouillante (évite le noircissement des larves). Mise en solution de formol 40% cette précaution n'est plus à prendre, mais cette dernière forme de conservation rigidifie les larves et leur manipulation est rendue difficile par l'agressivité du produit (odeur, contact). Etiquetage internes et externes, référencement dans un cahier d'archives.

g/ rédaction d'articles (dessin, photos)

Une mention particulière est faite pour que l'on apporte un soin particulier aux dessins qui seront amenés à être publiés (préciser et vérifier l'échelle). Ils peuvent donner des vues d'ensemble et de détails. Les dessins de détail sont très importants, car ils servent à établir les différences. Prendre comme exemple les dessins publiés dans les articles fournis durant la mission. Les dessins sont à préférer aux micro-photos, qui n'ont pas toujours la profondeur de champ requise pour le détail ; ceci n'empêche pas de faire les micro-photos qui seront en complément des dessins. Les résultats seront à coup sûr originaux car d'après LACROIX (1993), toutes les espèces de Melolonthides de Madagascar sont endémiques, tandis que c'est le cas pour 90% des espèces de Dynastides (DECHAMBRE, 1986).

h/ élaboration de clefs à l'usage du développement

Quand on disposera avec certitude des déterminations des adultes et de la suite des stades liés, il sera possible d'établir des détails caractéristiques permettant de séparer les espèces quelles que soient leur formes dans le temps et dans l'espace.

i/ effets collatéraux

La fréquence élevée des prélèvements et le nombre d'individus mis en élevage devraient avoir 2 conséquences majeures : donner une bonne image de la dynamique annuelle des stades des différentes espèces de vers blancs; donner une bonne idée de l'identité et de l'importance relative des organismes antagonistes (maladies, protozoaires, parasitoïdes). Les prédateurs présumés pourront être collationnés également lors des prélèvements.

ANNEXE 6

PROGRAMME DE RECHERCHES EN ENTOMOLOGIE - THEMES

1. ETAT DES LIEUX

- BIBLIOGRAPHIE : recherches locales / internationales
- SAVOIRS PAYSANS (enquêtes)

2. RECHERCHES EN FAUNISTIQUE

- RAVAGEURS (cf. protocole, annexe 5)
- ORGANISMES AUXILLIAIRES (parasitoïdes, prédateurs, maladies)

3. RECHERCHES METHODOLOGIQUES

- PRELEVEMENTS
- PIEGEAGES (lumineux, phéromonaux pour les adultes en vol)
- ELEVAGE ARTIFICIEL (extemporané, régulier)

4. RECHERCHES BIOLOGIQUES

- CYCLES ANNUELS
- COMPORTEMENT DES LARVES (alimentaires, mouvements dans le sol vis-à-vis des racines)
- COMPORTEMENT DES ADULTES (vol, accouplements, phéromones...)
- DYNAMIQUE DES POPULATIONS (y compris facteurs de mortalité naturelles)
- COMMUNAUTES D'INSECTES en fonction du biotope et des agro-systèmes.

5. RECHERCHES SUR LES REPARTITIONS SPATIALES

Plusieurs échelles : au niveau de l'unité plante, unité parcelle, unité terroir (selon un transect rizières - culture de tanety bas, milieu et haut de pente) ; typologie des biotopes, unité région (Système d'Information Géographique)

6. EVALUATION DES PERTES ECONOMIQUES

- En fonction des systèmes de culture (Labour/Semis direct), en fonction du temps et de l'espace (sol, altitude) ; niveau des pertes en fonction du type de couverture (espèces végétales, rotation)

7. METHODES DE LUTTE

Techniques culturales

Travail du sol]

Résistance variétale] *voir à travers les systèmes de cultures*

Lutte biologique : étudier la possibilité d'avoir un biocide granulé contenant un organisme microbiologique antagoniste (champignon, bactérie) utilisable en traitement du sol

Lutte chimique : produits de synthèse : poursuivre les traitements de semences (y compris effets non intentionnels et conséquences environnementales et économiques)

Extraits de plantes : aspect qualitatif et économique

Lutte bio-technique (basée sur le comportement de l'insecte) : phéromones ou produits analogues (phénol, géraniol, anéthol... seuls ou en mélange)

8. FORMATION - FICHES TECHNIQUES

ANNEXE 7

PCP/SCRD FOFIFA-CIRAD

Programme d'entomologie pour la campagne 2001-2002

- Essai N°1 :** Résistance variétale du riz pluvial aux insectes terricoles sous semis direct
Lieu : Ferme Tafa à Andranomanelatra
Emplacement A côté sélection riz sur dispositif de référence (couverture morte soja/maïs)
Dispositif : Blocs de Fisher
4 variétés : FOFIFA 152 (sensible); 154 (résistante); 158 & 134S
4 répétitions
Parcelles de 5 X 8 m
Fertilisation : 150 kg NPK/ha
Observations comptage attaques/100 poquets & relevés de 5 pitfall traps/parcelle
10 JAL, 20 JAL, 30 JAL + 2 en cours de végétation
Récolte et pesée du paddy
- Essai N°2 :** Influence de l'écobuage sur la macrofaune du sol
Lieux : Ibity, Betafo & Bernasoandro
Emplacement Essais "Comparaison combustibles" (Recherche accompagnement Tafa-FOFIFA)
Dispositif : Variété de riz ?
2 traitements (Témoin & Ecobuage avec Bozaka, effectué en 1998)
3 répétitions
Parcelles de 13,5 m²
Fertilisation : fumier + fumure minérale conseillée
Observations 2 prélèvements mensuels de sol de déc. à juin par carottage (5 carottes/parcelle)
Tamisage, tri et comptage de toute la faune présente
Diminution probable de la fréquence en fonction de la mission à La Réunion
- Essai N°3 :** Protection du riz pluvial contre les insectes terricoles par traitement des semences
Lieu : Antanikatsaka
Emplacement Parcelle paysanne
Dispositif : Factoriel à 4 répétitions
Variété de riz FOFIFA 152
8 traitements de semences croisés avec 3 traitements de sol
(Témoin; Gaucho 1,5 & 10 g/kg; LeSak 1 l/ha; Apron+ & Apron*, Chlorpyrifos)
X(Témoin; Régent 1 l/ha; Carbofuran 6 kg/ha)
Parcelles de 20 m²
Fertilisation : 150 kg NPK/ha
Observations Prélèvements de sol 2 fois/mois de nov. à juin par carottage ; 5 carottes/parcelle
comptage attaques sur 50 poquets choisis au hasard par parcelle
10 JAL, 20 JAL, 30 JAL + 2 en cours de végétation
Récolte et pesée du paddy
- Essai N°4 :** Effet du mode de gestion du sol et du traitement de semences de riz pluvial sur les attaques d'insectes terricoles
Lieu : Ivory (Ankazomiriotra)
Emplacement Dispositif de référence Tafa
Dispositif : Split-plot à 4 répétitions
Variété de riz B22
Traitements principaux=gestion du sol (labour/défriche & semis direct/mil-sorgho)
subdivisés par des traitements de semences (Témoin, Apron+ & Gaucho)
Parcelles de 30 m²
Fertilisation :
Observations 1 prélèvement de sol/mois de nov. à juin par carottage ; 3 carottes/parcelle
comptage attaques sur 50 poquets choisis au hasard par parcelle/24 parcelles

10 JAL, 20 JAL, 30 JAL + 2 en cours de végétation
Récolte et pesée du paddy
Si possibilité, doublement de la fréquence

Essai N°5 : Effet de la date de semis, du mode de gestion du sol et du traitement de semences de riz pluvial sur les attaques d'insectes terricoles

Lieux : Ibity & Andranomanelatra

Emplacement Recherche d'accompagnement TAFE-FOFIFA-CIRAD

Dispositif Dispositif factoriel à 4 répétitions

Traitements : gestion du sol (semis direct & labour) ; 3 DS ;

4 traitements de semences (Témoin, Apron+, Gaucho/Caltir & Marshal/Caltir)

Parcelles de 21 m²

Fertilisation : Fumier, NPK, dolomie & urée

Observations Néant

Pérennisation des dispositifs en vue de la campagne 2002-2003

Essai N°6 Efficacité insecticide d'extraits de plantes sur les insectes terricoles

Lieu : Station FOFIFA d'Antsirabe (laboratoire)

Dispositif Randomisation totale à 6 répétitions

Traitements : sol sans traitement, et traitements avec broyats de *Melia azedarach*,
Jatropha curcas, *Ricinus communis* et cendres de Sisal.

Proposition de questions pour enquête²

1. Have you rainfed rice fields ?
2. What is the maximum number of years you would continue to grow rice on the same land ?
 - 1 year
 - 2 year
 - 3 year
 - >3 year
 - not fixed
 - don't rotate
 - don't recall
3. Which type of soil have you ?
4. type of rice
 - irrigated
 - non irrigated
5. Which rice variety did you grow (main only) ?
6. Why did you choose this variety ?
 - Cheaper
 - Had stock already
 - Good yield
 - Resistance to pest
 - Easy to harvest
 - More resistant to drought
 - Agreement in farmer's group
 - Extension worker advice
 - Resistance to disease
 - Others
7. Did you use any herbicides for controlling weeds in your last crop ?
 - Yes
 - No
8. How many spray rounds did you make ?
9. Did you use any fungicide for controlling diseases in your last crop ?
 - Yes
 - No
10. How many spray rounds did you make ?
11. Did you use any insecticides for controlling pests in your last crop ?
 - Yes
 - No

² Adapté d'un questionnaire mis au point par une équipe philippine (Collège d'Agriculture de l'Université Xavier) - Documentation J. DEUSE.

12. Do you observe the same impact of insect damage in the fields near of irrigated rice that one's in the upper land ?
13. How many spray rounds did you make ?
14. Did you use the same pesticides on irrigated rice that on rainfed one's ?
15. Which pesticides did you use ?
 - Pesticide a
 - Pesticide b
 - Pesticide c
16. Where do you get most information on insecticide use from (multi in order) :
 - seller/local retailer
 - company representative
 - labels
 - private extension service
 - government extension agents
 - farm field school
 - cooperative
 - TV
 - Radio
 - Newspapers
 - Other farmers/family
 - Own experience
 - Others
17. Which of these insects pests caused you the biggest loss of yield in your crop ?
(show pest cards)
 - Borers
 - White grubs
 - Leaf eating insects (grass hopper, caterpillar)
 - others
18. How much of your potential do you think you lost to this most serious pest in your last crop ?
 - XXXX units (local)
 - ... YY: % of actual yield
19. Apart from spraying chemicals insecticides, what other methods of insect control did you use on your last crop ?
 - Remove straw
 - Cut young attacked tillers
 - Remove dead heart
 - Crop rotation
 - Date of planting
 - Periodic flooding
 - Planting according to moon phase
 - Use of nitrogen
 - Manual control of weeds

Chemical control of weeds
burning straw
resistant variety
traditional
use of selective insecticide
seed treatment
granule chemical
others

ÉCOLOGIE DES SCARABEIDES ET LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES VERS BLANCS

par B. HURPIN

*Station de Recherches de lutte biologique
La Minère, 78-Versailles*

Les *Scarabaeidae* constituent une des plus importantes familles de Coléoptères à la fois au point de vue nombre et diversité des espèces et au point de vue intérêt économique.

Cette famille compte, en effet, des ravageurs des cultures dans toutes les parties du monde : *Polyphylla olivieri* Cast au Moyen-Orient, *Melolontha melolontha* L., en Europe, *Popillia japonica* Newm., *Anghimallon majalis* Raz et de nombreuses espèces de *Phyllophaga* en Amérique du Nord, *Costelytra zealandica* White et plusieurs espèces de *Heteronychus* en Nouvelle Zélande; différents *Aphodius* en Australie; des *Heteronychus* à Madagascar et en Afrique du Sud. Pour ces insectes hôtes de régions tempérées et appartenant, pour la plupart, aux *Melolonthidae* et *Rutelidae* les dégâts sont le fait des larves ou « vers blancs ». Dans les zones tropicales, ce sont surtout les *Dynastidae* qui se visent à l'état imaginal; les dommages aux palmiers et cocotiers, causés par les *Oryctes* en Afrique, en Asie des moussons et en Océanie sont bien connus. Dans le continent américain les *Strategus* s'attaquent également aux palmiers. Quant aux Cétaines (*Cetonia* sp., *Potosia* sp., *Pachmoda* sp., etc.) elles sont nuisibles aux fleurs et aux fruits aussi bien en climat tempéré qu'en climat équatorial ou méditerranéen.

La famille des *Scarabaeidae* présente donc une grande plasticité écologique qui se manifeste également par la diversité des régimes alimentaires tant des larves que des adultes.

Tout un groupe, les *Lapurosticti*, est coprophage à l'état larvaire et au stade imaginal, tandis que les

Pleurosticti, auxquels appartiennent les espèces citées, se nourrissent de matières végétales fraîches ou décomposées. Mais on observe toutes les transitions entre les *Scarabeus* ou les *Geotrupes* inféodés aux excréments de Vertébrés et les Cétaines qui fréquentent les fleurs. Alors que la quasi totalité de *Aphodius*, par exemple, sont coprophages, des dégâts d'*Aphodius pardalis* Lce sur prairies ont été signalés dans l'Oregon; et *A. howitti* Hope et *A. pseudotaxmaniae* Given sont des ennemis redoutables des prairies en Australie. De même, parmi les *Geotrupidae* le genre *Lethrus* Scopoli comprend des espèces phytophages, dont les adultes au lieu de constituer des réserves d'excréments pour l'alimentation des larves utilisent des pousses et des feuilles de végétaux arbres fruitiers et vignes.

Il apparaît donc que les *Scarabaeidae* sont adaptés à tous les climats et à tous les types de régime alimentaire, de sorte qu'on les rencontre aussi bien dans le désert qu'en forêt équatoriale.

I. PROBLÈMES POSÉS PAR LA LUTTE CONTRE LES SCARABEIDES

a) Lutte contre le Hanneton.

Pour les Scarabeides nuisibles à l'agriculture, qui nous intéressent ici, le type et l'espèce la plus étudiée en Europe est le Hanneton commun, *Melolontha melolontha* L., principal représentant d'un genre comprenant une trentaine d'espèces vivant dans les



FIGURES 1 à 4

FIG. 1. — *Amphimallon nigratum* Raz. Melolonthide dont les larves sont nuisibles aux gazons en Europe Occidentale et le Nord-Est des Etats-Unis ($l = 8$ à 10 mm). FIG. 2. — *Diloboderus abderus* Sturm, mâle. Dynastide nuisible aux cultures en Argentine ($l = 18$ à 24 mm). FIG. 3. — *Oryctes rhinoceros* L. mâle. Dynastide nuisible à l'état imaginal en Asie et Océanie ($l = 40$ à 50 mm). FIG. 4. — *Oxythyrea funesta*. Cetone grise nuisible à l'état imaginal aux fleurs en Europe ($l = 7$ à 9 mm).

zones forestières des régions tempérées de plaine ou sur les contreforts de montagnes.

En dépit du nombre considérable de travaux consacrés au Hanneton depuis plus d'un siècle, bien des aspects de la physiologie, de l'éthologie et de l'écologie de cet insecte étaient encore mal connus à la fin de la 2^e guerre mondiale, à l'époque où les dégâts considérables enregistrés dans la majeure partie de l'Europe imposaient la mise au point d'une méthode de lutte efficace, pour laquelle les découvertes en matière d'insecticides organiques de synthèse offraient des perspectives insoupçonnées jusque là.

C'est pourquoi, à partir de 1948, l'Institut National de la Recherche Agronomique en France, de

même que les services d'autres pays tels que la Suisse et l'Allemagne, a développé les recherches sur la biologie de ce Coléoptère et les essais sur la prévention des dégâts.

Sous l'impulsion de M. B. TROUVELOT une équipe a été constituée avec les chercheurs de la Station de Zoologie de Colmar (A. COITURIER et P. ROBERT) et ceux de la Station de Zoologie de Rouen (R. RÉGNIER, B. HURPIN et G. RICOU) bénéficiant pour certaines opérations de la collaboration de collègues de la Station Centrale de Zoologie de Versailles (E. BILIOTTI, R. FAURE) et du laboratoire de Phytopharmacie (M. RAUCOURT, G. VIEL et E. VENTURA).

Parallèlement aux études biologiques sur le comportement des imagos, la physiologie de la reproduction et les facteurs de régulation des populations, des expérimentations de grande envergure furent effectuées avec la participation d'organismes professionnels tels que l'Institut Technique de la Betterave ou officiels comme la Protection des Végétaux, pour mettre à l'épreuve les possibilités de lutte offertes par les insecticides de synthèse appliqués contre les adultes lors des opérations d'Etrépagny (Eure) et de Monthureux (Haute-Saône) en 1949, de Dannemarie

(Haut-Rhin) en 1950, de Bresles (Oise) en 1951, d'Attigny (Ardennes) et de Senlis (Oise) en 1952, de Paimpont (Ille-et-Vilaine) en 1953. Des traitements de massifs boisés eurent lieu simultanément en Allemagne, Autriche, Suisse, Tchécoslovaquie, tandis que les essais contre les larves dans les prairies et les cultures n'étaient pas négligés. Ces recherches et expérimentations ont fait progresser considérablement les connaissances tant en matière de stratégie de lutte qu'en ce qui concerne l'éthologie et l'écologie de l'insecte.

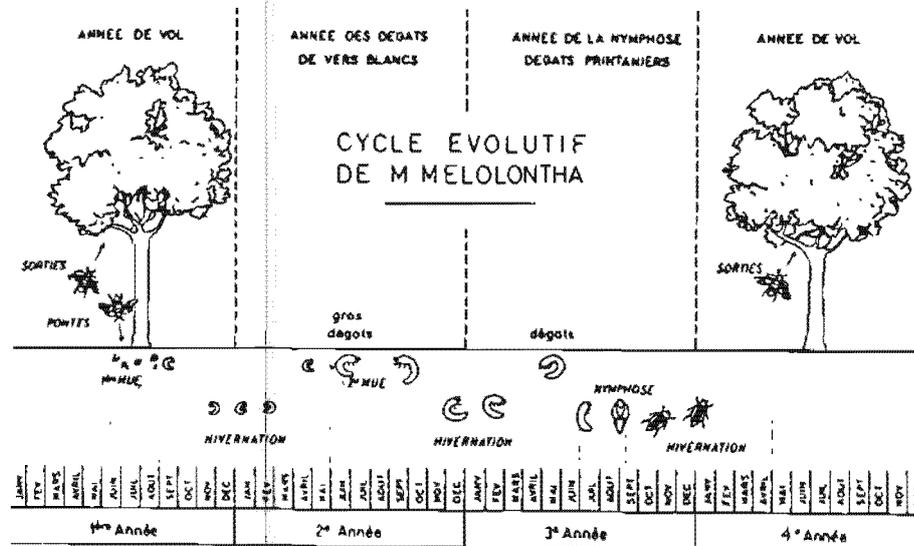


FIG. 5. — Schéma du cycle évolutif du Hanneton commun, *Melolontha melolontha* L.

Devant les difficultés techniques et biologiques à surmonter pour un résultat aléatoire le hannetonage chimique a été remplacé par la lutte directe contre les vers blancs, dans les champs où leur nombre constitue un danger pour la culture, en les détruisant avant qu'ils ne commettent des dégâts, c'est-à-dire avant la fin du printemps de l'année qui suit celle des vols. Cette destruction peut être obtenue par des façons culturales appropriées, mais de multiples causes rendent les résultats très variables : type d'appareil utilisé, nature et humidité du sol, âge des larves, etc.

Aussi, jusqu'à présent, les praticiens avaient re-

cours aux organochlorés, d'efficacité éprouvée, surtout si les applications étaient faites à l'automne de l'année des vols. Ces insecticides, par leur rémanence, étaient susceptibles d'agir sur les larves de deux cycles successifs. Mais cette persistance ainsi que les résidus accumulés dans les végétaux puis dans les animaux phytophages, avant de passer dans les espèces Carnivores, constituent des inconvénients tels que ces produits sont déconseillés maintenant, sinon en voie d'interdiction, pour la désinsectisation des sols.

Le problème de la lutte contre *M. melolontha* et les espèces de Scarabéides nuisibles à l'état larvaire

est donc à nouveau posé et les perspectives offertes par la lutte biologique doivent être précisées et mises à l'épreuve de la pratique. C'est le but de nos travaux.

Les recherches entreprises sur le Hanneton commun sont étendues à d'autres Scarabéides nuisibles tels que divers rhizotrogues (Hanneton de la St-Jean), *Phyllopertha horticola*, et en particulier aux *Oryctes*.

b) Lutte contre les *Oryctes*.

Dans le cas des Dynastides, nuisibles à l'état imaginal, la seule méthode de lutte valable est une mesure de prévention écologique : l'élimination de tous les arbres morts et autres déchets végétaux susceptibles de constituer des gîtes larvaires. Mais cette mesure n'est pas toujours appliquée malgré les prescriptions des services officiels, elle est souvent difficile à mettre en œuvre et n'est sûre que dans les plantations industrielles assez vastes pour qu'il y ait peu de risques d'infestation à partir de la brousse avoisinante.

Les procédés mécaniques (extraction manuelle des *Oryctes* de leurs galeries) ou chimiques (dépôt d'un mélange d'insecticide et de sciure à la fesselle des palmes) ne sont que des palliatifs onéreux et d'efficacité limitée. Aussi, une méthode plus rationnelle est-elle recherchée en tenant compte des échecs des multiples tentatives d'introduction et d'utilisation de prédateurs ou de parasites effectuées depuis le début du siècle. Dans ce but, un projet conjoint des Nations-Unies et de la Commission du Pacifique Sud dont le siège est à Apia (Samoa Occidentales) a été établi depuis 1964 afin de préciser la biologie et l'écologie de ces ravageurs et en particulier définir une méthode d'étude des populations, parvenir à un élevage et examiner les possibilités offertes par les pathogènes (champignon et virus), ainsi que par la lutte auto-cide et les attractifs chimiques. Nous contribuons à ce programme pour la mise au point d'un élevage permanent, l'étude de la biologie de la reproduction et l'examen des modalités de stérilisation.

c) Lutte contre les *Cétaines*.

De même, la lutte chimique contre les Cétaines qui s'attaquent aux fleurs des arbres fruitiers, est délicate et dangereuse pour les abeilles et les insectes entomophages. La destruction des lieux de reproduction et de développement larvaire est difficile du fait de leur dissémination. Une méthode rationnelle est donc recherchée également pour ce groupe de Scarabéides.

Pour effectuer ces recherches deux techniques doivent être maîtrisées : l'élevage permettant les essais et manipulations de laboratoire, l'échantillonnage des populations permettant de suivre les fluctuations naturelles de celles-ci, d'étudier leurs causes et d'apprécier les résultats des interventions.

2. MÉTHODES D'ÉLEVAGE

L'élevage des Scarabéides constitue une des activités de l'Insectarium annexé à la Station de recherches de La Minière. Des procédés éprouvés par plusieurs années de pratique permettent de conduire l'élevage de *Melolonthidae*, *Cetoniidae* et *Dynastidae*.

a) Cas des *Hannetons*.

Pour les représentants du premier groupe et notamment pour *M. melolontha* il est nécessaire d'isoler les larves dans des boîtes individuelles et trois facteurs sont déterminants :

— la température qui doit être de l'ordre de 20 °C;

— l'alimentation, car le développement de ces insectes polyphages dépend de la nature des racines consommées : certains végétaux comme la Pomme de terre se sont révélés toxiques lorsqu'ils sont ingérés en exclusivité, la plupart des Graminées donnent des résultats médiocres alors que les Composées et la Carotte, par exemple, assurent une croissance satisfaisante;

— la nature et l'humidité du substrat, qui doit être léger et conserver aussi constante que possible

l'humidité relative. A l'usage, la tourbe a été recon- nue comme le meilleur milieu. L'humidification opti- mum est obtenue en ajoutant 200 ml d'eau à 100 g de tourbe desséchée à l'étuve à 105 °C.

Dans ces conditions il est possible d'obtenir en élevage le développement complet de *M. melolontha* de l'œuf à l'imago en 13 à 15 mois, avec un rende- ment de l'ordre de 30 % : 30 Hanneçons à partir de 100 œufs.

L'élevage des adultes exige chez *M. melolontha*, un séjour à 13 °C pendant environ 3 mois pour per- mettre la maturation des ovaires. Après ce délai, les insectes sont placés à 20 °C sous un éclairage de 3 000 lux et alimentés avec de jeunes pousses de chêne, issues de glands germes.

b) Cas des Cétoines.

L'élevage des Cétoines est effectué à l'état larvaire, soit avec du terreau pour les espèces peu sensibles à la mycose à *Metarrhizium* (*Potosia cuprea*, *Oxy- thecia funesta*), soit avec du terreau additionné de bouse de vache pour *Ceonia aurata*, espèce décimée par ce champignon en l'absence de fèces. Les adultes sont alimentés avec du pollen dans des coupelles disposées en surface du terreau criblé destiné à re- cevoir les pontes. La température optimum est de 25 °C. Dans ces conditions 60 à 70 % des œufs donnent des insectes parfaits et la durée du cycle en laboratoire est de 4 à 6 mois.

c) Cas des Dynastides.

Pour les *Oryctes*, il est indispensable, comme pour *C. aurata*, d'élever les larves dans un substrat (bois décomposé, sciure ou terreau) renfermant des fèces, telle que la bouse de vache, pour éviter les hécatom- bes dues à *Metarrhizium*. Cet élevage, conduit à 28/30 °C, peut être réalisé par groupes de plusieurs dizaines ou centaines de larves. La ponte est obtenue dans du terreau criblé en alimentant les adultes avec des rondelles de banane. Un rendement de 50 à 70 adultes à partir de 100 œufs a été enregistré au cours des 8 générations élevées jusqu'à présent.

Pour d'autres espèces de la même famille, *Phyllo- gnathus sileus* par exemple, la bouse de vache n'est pas indispensable, de la même façon que pour cer- taines Cétoines. Les causes physiologiques de ce phé- nomène sont en cours d'investigation.

3. ETUDE DES POPULATIONS

a) Méthodes.

Nos travaux se sont rapportés en ce domaine seu- lement au Hanneçon commun. Pour les *Oryctes* les recherches sont confiées à C. HAMMES, entomologiste de l'O.R.S.T.O.M. qui étudie à Wallis les fluctua- tions des populations de *O. rhinoceros* en liaison avec la Station de La Minière.

L'étude des populations de vers blancs est effec- tuée à l'aide de sondages dont la fréquence dans le temps, la répartition par unité de surface sont fonc- tion des buts recherchés.

Pour la prospection d'un territoire il est général- ment procédé en deux étapes : des sondages d'orien- tation destinés à établir la répartition générale de larves dans la zone considérée, et des sondages complémentaires destinés à préciser l'infestation de certaines parcelles. Pour une évaluation approxi- mative 10 trous de 1 m × 0,25 m par hectare suffisent. Lorsque l'estimation des populations doit être plus précise la densité des trous est portée à 25 à l'hec- tare.

Les sondages sont opérés aux périodes d'activité des larves : mai, juillet et septembre et, si nécessaire, soit à l'automne soit au printemps suivant pour le dénombrement des imagos.

Ces modalités ont été appliquées à de nombreuses reprises dans le Bassin Parisien (Normandie, Sarthe). En 1966 nous avons entrepris l'étude des popula- tions de Hanneçons en Chautagne, territoire d'en- viron 300 ha dont la configuration topographique assure un certain isolement de ces populations à l'aide de sondages biométriquement définis, à raison de 25 trous de 0,25 m² par hectare dans 28 parcelles tirées au hasard. Un cycle complet de *M. melolontha*

a été suivie. Outre le Hanneton commun la Chautagne héberge différentes espèces de Scarabéides dont l'étude est menée parallèlement : *Melolontha hippocastani*, *Amphimallon majalis*, *A. solstitialis*, *A. ruficornis*, *A. ater*, *Hoplu hungarica*.

Les informations fournies par ces sondages sur l'évolution des densités et sur l'état sanitaire des insectes sont complétées par des prospections plus extensives réalisées grâce à un réseau de correspondants qui nous fait parvenir des vers blancs recueillis à l'occasion des labours, par exemple.

Les larves ramassées dans les sondages ou expédiées par les correspondants sont mises en élevage d'observation pendant 2 à 3 mois pour permettre l'évolution et par suite la caractérisation de maladies ou de parasites en cours de développement lors de la récolte et inapparents à ce moment.

b) Etude du Hanneton commun.

— Influence du climat.

Dans le cas de *M. melolontha*, le plus important et le mieux connu des Coléoptères Scarabéides d'Europe, les niveaux de population sont essentiellement déterminés par les facteurs climatiques : c'est le climat de l'été qui suit les vols qui joue le rôle primordial.

En effet, les œufs et les larves du premier stade ne supportent pas plus de quelques jours une température supérieure à 25 °C ni une dessiccation du sol telle que l'humidité relative devienne inférieure à 5 % en terrain sablonneux et à 10 % en terre riche en limon. Ces exigences définies en laboratoire (HURPIN, 1956) correspondent aux faits enregistrés à maintes reprises dans la nature : en 1949 et en 1959, par exemple, les étés exceptionnellement chauds et secs ont provoqué une telle hécatombe que depuis cette époque les régions intéressées du Bassin Parisien demeurent pratiquement indemnes de vers blancs.

Les conditions climatiques de l'année suivant celle des vols ont beaucoup moins d'influence, car les larves plus vigoureuses s'enfouissent à la recherche

d'une zone plus fraîche lorsque les couches supérieures du sol sont trop chaudes et sèches.

De même, l'hiver joue un rôle très limité dans l'évolution des populations de vers blancs qui supportent des températures de l'ordre de 0 °C rarement atteintes à la profondeur (30 cm environ) à laquelle ils sont descendus à l'automne (HURPIN, 1957). En outre ces insectes résistent à l'immersion plusieurs jours en laboratoire et d'autant plus longtemps que la température est moins élevée, de sorte que les inondations hivernales doivent se prolonger pour avoir un effet sensible.

Pour les autres espèces de *Melolonthinae*, les données sont beaucoup moins précises, les recherches n'ayant pas jusqu'à présent été suffisamment développées.

— Rôle des ennemis naturels.

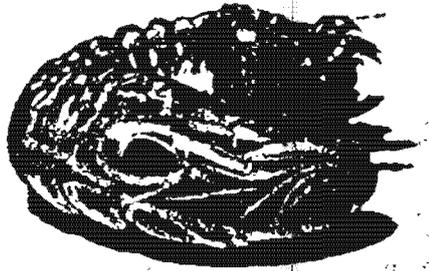
L'intervention des facteurs climatiques et aussi des conditions d'alimentation ayant été définies, ce sont surtout les ennemis naturels qui ont fait l'objet de nos principales investigations depuis une dizaine d'années, dans le but de procéder à leur inventaire, d'établir le rôle de chacun dans la dynamique des populations, de caractériser les milieux où ils se manifestent et d'étudier les possibilités d'utilisation en lutte biologique.

Parmi les parasites, nous avons décelé quelques foyers de *Mermis*, nématode de plusieurs centimètres de longueur, visible à travers le tégument du ver blanc; la biologie de ce nématode a été étudiée par A. COUTURIER. Dans une prairie naturelle de MENTL-JEAN (Orne) un taux de parasitisme de 60 % a été noté ainsi que le maintien de ce parasitisme au bout de 4 années. L'humidité constamment élevée du sol dans la parcelle considérée est vraisemblablement en rapport avec l'existence de ce foyer limité à quelques ares dans la partie la plus humide. Nous avons obtenu sporadiquement des Tachinaires *Dexia rustica* F. et *Microphthalma europaea* Egg. Cette dernière, qui parasite également d'autres vers blancs, notamment *Phyllognathus sileus* en Algérie, s'accouple aisément au laboratoire, à la différence des

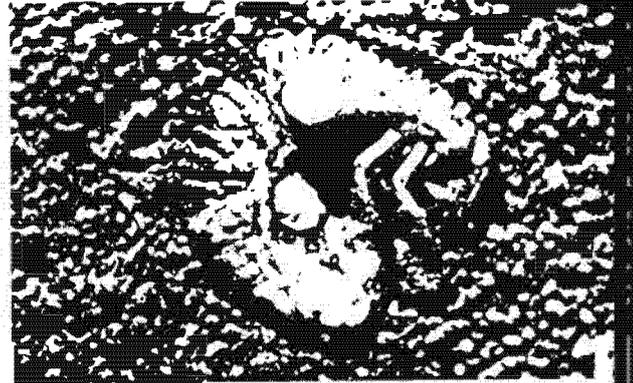
De la. Un élevage de *Microphthalma* est conduit à La Minière depuis 1961 en vue d'examiner les modalités du parasitisme et de déterminer, en particulier, la spécificité parasitaire et les réactions de défense de l'hôte. En 1967 et 1968 plus de 15 000 pupes de cette mouche ont été expédiées en Nouvelle Zélande pour tenter de l'acclimater et l'utiliser dans la lutte contre *Costelytra zealandica* et les *Heterony-*

chus nuisibles aux prairies; jusqu'à présent, sans résultat positif.

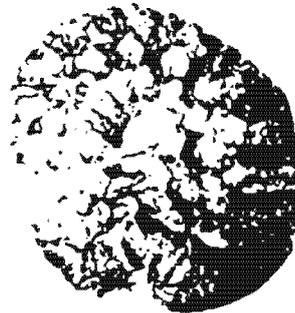
Dans l'ensemble les entomophages n'ont qu'un rôle secondaire dans la régulation des populations de *M. melolontha*, et, d'une façon plus générale, de différentes espèces de Scarabéides. Celle-ci, en dehors des facteurs climatiques, dépend bien davantage de maladies.



6



8



9



FIGURES 6 à 10

FIG. 6. — Larve de *M. melolontha* parasitée par un *Atrypa*. FIG. 7. — Larves de la Tachinaire *Microphthalma europaea* sortant du ver blanc pour la nymphose. FIG. 8. — Larves de *M. melolontha* présentant les symptômes caractéristiques de la maladie à *Bacillus popilliae*: pygidium blanc laiteux. FIG. 9. — Larve de *M. melolontha* tuée par la mycose à *Beauveria tenella*; momification de l'insecte et début d'extériorisation du mycélium. FIG. 10. — Mycose à *Metarrhizium anisopliae* chez le ver blanc.

4. RECHERCHES SUR LES MALADIES

Depuis 1956, à la Station de La Minière, nous avons orienté notre activité dans la mise en évidence des processus écopathologiques et épizootiologiques intervenant dans les maladies des Scarabéides, en prenant comme insecte type, mais non exclusif, le Hanneton commun.

— L'« écopathologie » de ces insectes est considérée sous deux aspects.

— Rôle des maladies parmi les différents facteurs du milieu déterminant les niveaux de population.

— Action des facteurs du milieu sur les germes entomopathogènes.

Le premier aspect se rattache aux recherches écologiques résumées dans le paragraphe précédent. Il suppose la caractérisation des milieux étudiés, l'inventaire des organismes en cause : germes et parasites, la détermination de la fréquence relative des diverses maladies.

Le deuxième aspect concerne l'examen du comportement de certains germes vis-à-vis du milieu considéré du point de vue entomologique, c'est-à-dire l'étude de la spécificité, et du point de vue climatique et physiochimique, ce qui correspond à l'action de la température, de la lumière, de la nature du sol, des substances antagonistes (antibiotiques et antiseptiques, par exemple) sur les germes. Les modalités de conservation et de dispersion des micro-organismes sont également prises en considération.

— Les recherches épizootiologiques ont pour ambition, à propos des maladies des Scarabéides, d'apporter une contribution à la connaissance des conditions de développement d'une épizootie, en essayant de préciser le rôle des facteurs se rapportant à la pathogénie du germe (pathogénèse et mode d'action, virulence des souches, doses nécessaires, etc.), l'influence des facteurs dépendant de l'insecte (origine géographique, stade, état physiologique) et l'action du milieu (agents climatiques, principalement). Ces

études sont réalisées en collaboration avec la Station de recherches cytopathologiques (I.N.R.A.-C.N.R.S.) de Saint-Christol-les-Alès, et l'Institut Pasteur de Paris en liaison avec les spécialistes étrangers intéressés par les mêmes questions, en particulier en Allemagne, en Suisse, et en Tchécoslovaquie.

a) Inventaire.

Alors qu'en 1945 seule la mycose à *Beauveria* était signalée, l'inventaire auquel nous nous sommes livrés, avec l'appui de C. VAGO, montre que les vers blancs peuvent être les hôtes de tous les types de microorganismes : bactéries, rickettsies, virus, protozoaires, champignons et même mycoplasmes d'après une récente publication de DEVAUCHELLE *et al.* (1969).

Les bactéries appartiennent aux trois types distingués par BUCHER :

— Des bactéries pathogènes potentielles, comme *Pseudomonas septica* Bergey qui provoquent des septicémies rapidement mortelles, lorsqu'elles se trouvent introduites dans l'hémolymphe soit par des lésions du tégument, soit par suite de processus d'enchaînement avec d'autres germes.

— Des bactéries pathogènes facultatives, telles que *Serratia marcescens* Bizio et *Aerobacter* sp., qui deviennent mortelles lorsque leur prolifération dans le tube digestif détermine des lésions de la paroi intestinale entraînant leur passage dans l'hémocoèle et une septicémie.

— Des bactéries pathogènes obligatoires, dont l'exemple est *Bacillus popilliae* souche *Melolontha*, agent de la « maladie laiteuse », ainsi nommée à cause de la couleur blanc crème de l'hémolymphe du fait de la multiplication des spores. Celles-ci sont caractérisées par leur morphologie et la présence d'un « cristal » non colorable.

Les rickettsies sont représentées par *Rickettsiella melolonthae* Krieg, isolée pour la première fois en Allemagne, qui a été découverte en forêt de Fontainebleau chez des larves de *M. hippocastani*. Les vers blancs malades remontent l'hiver en surface du sol

au lieu de s'enfoncer comme des insectes normaux. Les rickettsies se développent dans le cytoplasme des cellules, notamment celles du tissu adipeux.

Les virus appartiennent essentiellement au groupe des *Vagoiavirus*, caractérisés par la prolifération dans l'hémolymphe et le tissu adipeux d'inclusions losangiques ne refermant aucun élément pathogène. Les virus, du groupe variole-vaccin, sont inclus dans des sphéroïdes distinctes de ces inclusions fusiformes. Ce nouveau virus, *Vagoiavirus melolonthae*, découvert en mai 1961 dans un champ à Ségrie (Sarthe), est le prototype d'une nouvelle catégorie de virus d'insecte. Une virose analogue a, en effet, été identifiée chez 5 espèces de Scarabéides de différentes parties du monde : *Phyllopertha horticola* L. (*Melolonthidae*) en France, *Demodena boranensis* Bruch (*Melolonthidae*) en Argentine, *Figulus sublaevis* (*Lucanidae*) à Madagascar, *Othnobius baiesi* et *Dermolepilla albobirta* Waterhouse (*Melolonthidae*) en Australie, ainsi que chez 4 espèces de Lépidoptères.

Les protozoaires comprennent 3 espèces :

— Une microsporidie, *Nosema melolonthae*, décrite précédemment par KRIEG (1955) dont les amas de spores forment des plages blanches visibles sous le tégument.

— Une coccidie, *Adelina melolonthae*, découverte pour la première fois en septembre 1963 à Ségrie. C'est un protozoaire coelomique du tissu adipeux qui provoque la mort des larves.

— Une grégarine, du genre *Monocystis*, a été observée dans quelques foyers du Pays de Bray, du Pays d'Ouche et de Chautagne. Elle se manifeste par des kystes blanchâtres, visibles à travers le tégument des vers blancs, qui continuent néanmoins à évoluer et donnent des adultes dans lesquels le sort de ces grégarines reste à établir.

Les champignons sont les pathogènes les plus fréquents dans les populations de *M. melolontha*, et la mycose à *Beauveria tenella*, autrefois appelé *Isaria arisa* est, de beaucoup, la maladie la plus répandue et la plus active. Mais la muscardine verte à *Metarrhizium anisopliae* a été rencontrée à de nombreuses reprises, ainsi que la mycose à *Spicaria farinosa*.

Tous ces champignons sont des pathogènes vrais.

En outre, les vers blancs sont tués par des espèces qui ne sont en général pas capables de traverser le tégument et qui doivent bénéficier de la présence de blessures ou d'usures de la cuticule pour pénétrer dans la cavité générale : *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*.

b) Fréquence et répartition des maladies.

Des données précises en ce domaine sont difficiles à obtenir du fait de la variabilité des durées de conservation des cadavres dans le sol : les adultes tués par les champignons sont enrobés dans le mycélium et peuvent être repérés plusieurs semaines après la mort, alors que les larves atteintes par les autres micro-organismes se décomposent très rapidement.

Les sondages ne fournissent donc que des informations partielles sur le pourcentage de vers blancs tués par telle ou telle maladie : la part des mycoses apparaît plus importante qu'elle n'est en réalité ; la précision des résultats est plus grande pour un type de maladie que pour les autres.

Pour tenir compte des affections en incubation au moment du prélèvement, les insectes sont mis en élevage individuel pendant 2 à 3 mois. Mais les maladies qui se manifestent au laboratoire auraient-elles évolué de la même façon dans la nature ?

Ces réserves étant faites, il apparaît que, d'une façon globale aussi bien qu'à l'échelle d'une parcelle, la mycose à *Beauveria tenella* est la maladie la plus fréquente et la plus répandue. Dans certains champs de la Sarthe, en novembre 1957, en fin de période de pullulation de *M. melolontha*, nous avons noté jusqu'à 80 % de larves momifiées par *Beauveria*, pour une densité de 25 larves au mètre carré. La mycose à *Metarrhizium* se rencontre sporadiquement et n'intéresse en général que des cas isolés. Il en est de même pour les autres champignons hôtes du ver blanc. La maladie laiteuse à *B. popilliae* s'observe seulement chez les L_3 en été de l'année qui suit les vols. Ubiquiste, car elle a été identifiée dans diverses régions de France (Normandie, Ile de France, Alpes, Massif Central), cette bactérie

maintient à l'état enzootique dans les terrains contaminés. Le pourcentage maximum qui ait été enregistré fut de 12 %, dans une prairie de la Sarthe.

Les protozoonoses à *Nosema melolonthae* et à *Adelina melolonthae* sont également très répandues dans les terres fraîches en climat humide. Elles sont le plus souvent trouvées chez quelques individus dans une population. Parfois, cependant, une tendance épizootique se manifeste : dans une prairie naturelle de Sillé-le-Guillaume (Sarthe), nous avons eu l'occasion d'observer un foyer limité à 4 hectares, dans lequel la nosémose atteignit jusqu'à 20 % des vers blancs. En association avec la mycose à *Beauveria* la nosémose provoque en 2 ans la quasi disparition de la population. La coccidie a été notée à diverses reprises dans la Sarthe, l'Ille-et-Vilaine, la Vienne, parfois chez 10 % des vers blancs.

La rickettsiose, par contre, a été trouvée seulement dans deux biotopes : en forêt de Fontainebleau chez les larves de *M. hippocastani* et dans une localité du Doubs chez des larves de *M. melolontha*. Elle a été également identifiée dans une population de *A. majalis* du Béarn.

De même la virose à *Vagoiavirus* découverte dans un champ de Ségrie n'a jamais été retrouvée ailleurs. Les raisons de cette localisation aussi stricte restent à établir. Il n'est pas impossible que dans les deux cas il y ait des relations, à définir, avec l'état sanitaire des petits rongeurs, campagnols par exemple, qui fréquentent les mêmes parcelles.

c) Conservation et dispersion des germes.

Ces deux critères constituent des éléments importants à connaître pour interpréter les données sur la répartition et la fréquence des maladies.

Les facultés de conservation des principaux pathogènes du Hanneton sont examinées par élevage de vers blancs dans des substrats prélevés périodiquement dans des sols artificiellement contaminés avec une dose connue de germes. L'influence de la nature du sol n'est pas négligée dans cette étude, dont les résultats sont confrontés avec les données fournies par l'expérimentation en laboratoire sur l'action ger-

micide des facteurs climatiques, des antiseptiques, des antibiotiques, etc. Il a été ainsi montré que la transmission de l'infection d'une génération à l'autre aussi bien pour la bactérie que pour la rickettsie ou le virus, s'effectuait par le maintien des germes dans le sol du fait de leurs propriétés de résistance.

Leur dispersion est assurée à partir des cadavres par les agents climatiques, par les déplacements des vers blancs, mais aussi vraisemblablement par d'autres animaux de la faune du sol, dont nous nous proposons de déterminer le rôle en prenant comme exemple le *Beauveria*, plus facile à suivre que les autres microorganismes.

Dans la nature, la conservation des germes est liée aussi à l'importance de la quantité disponible. Ainsi, de notre expérimentation en laboratoire et en parcelles dans la Sarthe conduite de 1958 à 1964, il ressort que la maladie laiteuse ne se développe que si l'inoculum est suffisant, de l'ordre de 100 millions de spores par gramme de terre et si la température est supérieure à 15 °C. Compte tenu du cycle évolutif de *M. melolontha* et de ces exigences thermiques pour la sporulation, l'infection n'a lieu que chez les larves du 3^e stade au cours de l'été qui suit les vols, soit une année sur trois. Ce qui réduit beaucoup les possibilités d'action de la maladie, dont le principal intérêt réside dans l'accumulation dans le sol des spores issues des cadavres des vers blancs atteints. L'enrichissement progressif en germes résistants aux agents climatiques rend les terrains contaminés de moins en moins propices à l'évolution de l'insecte. Ce processus, démontré aux Etats-Unis chez *Popillia japonica*, dont le cycle est annuel, ne s'est pas vérifié pour la bactérie du Hanneton commun.

En ce qui concerne *Vagoiavirus melolonthae*, la persistance de la virulence dans le sol est telle que l'infection de générations successives de *M. melolontha* est possible. C'est ce que nous avons montré par traitement de parcelles de prairies à l'aide de larves malades. La virose fut décelée à partir du 3^e mois après le traitement et son incidence augmenta progressivement, de sorte qu'au bout de 4 ans le pourcentage de vers blancs atteints dépasse 15 %. La virose intervient pendant toute la période d'activité

des larves, de mai à octobre, et intéresse la majeure partie du cycle depuis le deuxième stade larvaire jusqu'à la nymphose.

Dans le cas de *Rickettsiella melolonthae*, la persistance de la virulence est de l'ordre de 18 mois dans le sol, selon nos essais. Or le cycle de *M. melolontha* comporte une période de 15 à 16 mois au cours de laquelle il n'y a aucune activité larvaire, de juin-juillet de la 3^e année d'un cycle à août-septembre de l'année suivante, pendant la nymphose, la vie imaginale et le développement embryonnaire. En outre, les chances de contamination des larves du premier stade sont assez limitées, de sorte que la multiplication des rickettsies a lieu surtout pendant la deuxième année du cycle. Il en résulte que le maintien des foyers est favorisé, sinon conditionné, par la pré-

sence d'autres espèces sensibles à la maladie : *A. hippocastani*, *Amphimallon* sp., par exemple.

d) Action des facteurs du milieu sur les germes.

Il s'agit dans ce domaine de définir le comportement des germes en présence de divers types de facteurs d'agression : température, ultraviolets, antiseptiques, antibiotiques notamment. Les études ont porté jusqu'à présent surtout sur la bactérie, le virus et la rickettsie. Le tableau I résume certains des résultats obtenus. Il fait ressortir la grande résistance de ces trois microorganismes, et spécialement celle de la rickettsie, alors que les rickettsies pathogènes pour l'homme ou les vertébrés sont au contraire très sensibles à ces agents antagonistes.

TABLEAU I
Durée de survie des germes pathogènes pour *M. melolontha* en présence de facteurs antagonistes.

Germe	Température	Ultra-Violets	Formol vapeurs	Alcool 50°	Eau oxygénée	Eau de javel
<i>B. popilliae</i>	1 heure 84° C	2 heures	2 heures	10 min	-	-
<i>Vagoiavirus</i>	5 min - 60° C	< 30 sec.	5 min	30 min	2 heures	> 1 heure
<i>Rickettsiella</i>	1 heure 85° C	8 heures	8 jours	24 heures	> 24 heures	< 15 min

Les antibiotiques usuels : les pénicillines, la streptomycine, les tétracyclines, le chloramphénicol se sont montrés inactifs sur ces trois germes.

L'influence des modalités de conservation (frottis desséchés sur lame, suspensions, cadavres) et de la température est également étudiée. Pour les trois microorganismes, alors que la perte du pouvoir infectieux intervient au bout de quelques mois en frottis desséchés, la virulence est conservée plusieurs années en ampoule scellée ou dans les cadavres. Les délais de survie sont d'autant plus longs que la température est plus basse.

e) Spécificité.

C'est un caractère important pour la lutte microbiologique et pour la connaissance des propriétés

microbiologiques et pathologiques d'un germe. Les recherches ont porté jusqu'ici sur la sensibilité à *B. popilliae*, *R. melolonthae*, *V. melolonthae* et *M. melolonthae* de larves de diverses familles de Scarabéides et d'insectes appartenant à différents ordres : Lépidoptères, Orthoptères, etc.

Une similitude remarquable a été mise en évidence dans le spectre de pathogénie de ces 4 microorganismes. Tous se développent chez les *Melolonthidae*, *Hophidae* et *Rutelidae*, c'est-à-dire les Scarabéides dont les larves sont phytophages. Chez les vers blancs Saproxylophages de *Dynastidae* et *Cetoniidae* les germes ne se développent pas, même après injection intracoelomique. Une telle similitude de réceptivité à des maladies d'étiologie très différente est l'indice d'une unité dans certains phénomènes physiologiques.

et pathologiques parallèle à une unité de comportement et d'alimentation.

Chez les Coléoptères d'autres familles que les *Scarabaeidae* et chez les Lépidoptères et Orthoptères étudiés la bactériose et la virose ne se manifestent pas. Par contre, le Doryphore peut être expérimentalement hôte de la nosémose et de la rickettsie. Celle-ci, d'autre part, provoque la mortalité de plusieurs espèces de Lépidoptères sans qu'il y ait multiplication de germes décelables à l'examen microscopique. Naturellement, l'action sur les vertébrés (souris, lapins, cobayes) n'est pas négligée et l'innocuité de ces pathogènes pour ces animaux a été mise en évidence. Toutefois dans le cas de la rickettsie, bien que la maladie n'ait été constatée que chez des individus débilités, la variabilité de ce type de micro-organisme qui suscite d'abondants anticorps chez la souris, rend délicat actuellement son usage dans la nature.

f) Conditions de développement des maladies.

Elles ont été étudiées en laboratoire avant de faire l'objet d'examen dans la nature en parcelles expérimentales afin d'établir le rôle respectif de la dose de germes, du stade de l'insecte, de certains des facteurs du milieu dans le succès de l'infection. Il a été ainsi montré que, pour la rickettsie et le virus, un seul élément infectieux suffisait par injection et un inoculum très dilué « per os », mais que le devenir de la maladie dans une population était fonction de la quantité de germes. Pour la microsporidie il y a une dose optimum au-delà de laquelle la mortalité est de nature toxémique et par suite n'a plus d'intérêt épidémiologique. Avec *B. popilliae* et *B. tenella*, il faut également un nombre élevé de spores pour déclencher la maladie.

Le champignon, dont la voie de pénétration est le tégument, s'attaque indifféremment à tous les stades, mais les larves âgées sont plus sensibles. Pour tous les autres germes, qui contaminent les insectes par voie orale, le stade larvaire joue un rôle non négligeable. Ainsi, la plus grande sensibi-

lité des deux premiers stades larvaires à la virose a été constatée, alors que la bactériose agit surtout chez les larves du troisième stade. Pour tous les germes considérés, sauf *Beauveria*, le début de l'infection n'empêche pas la mue ni la métamorphose. Cependant les chances de passage d'une génération à une autre par les insectes parfaits paraissent douteuses du fait de la sensibilité du stade imaginal aux diverses maladies.

Parmi les conditions de milieu la température est la plus importante. Si, dans le cas de la virose et de la rickettsiose elle est surtout un facteur d'activation de la multiplication des germes, pour le champignon et la bactérie elle est fondamentale : la sporulation de *B. popilliae* ne s'effectue qu'au-dessus de 16° et P. FERRON a montré l'existence d'une corrélation étroite entre la température et la mortalité par mycose : l'optimum correspond à la température la plus favorable au champignon : 23°C. Le même phénomène a été observé par T. DIOMANDE sur la mycose à *Metarrhizium* de *Oryctes monoceros*. L'humidité, en milieu souterrain, est toujours suffisante dans les limites compatibles avec la survie des vers blancs et n'a pas d'influence marquée. Il en est de même pour la nature du sol.

Dans les processus pathologiques une attention spéciale est portée au rôle de l'état physiologique de l'hôte, en particulier pour les infections cryptogamiques. Dans cet esprit les possibilités d'infections mixtes par association successive ou simultanée de deux germes sont examinées. Un accroissement de la morbidité et de la mortalité a été démontré lorsqu'une infection à *B. popilliae* précède le traitement par *Beauveria*, mais l'association de la virose et de la rickettsiose ou de la bactériose n'augmente pas le nombre de malades.

Pour cet aspect, la doctrine soviétique préconisant l'emploi de doses réduites d'insecticides et de spores de *Beauveria* est expérimentée depuis deux ans à la fois en laboratoire et dans la nature. Nous avons vérifié que cette formule permettait d'obtenir des résultats plus homogènes, dans des délais plus courts en ayant recours à des quantités de spores bien moindres.

5. PERSPECTIVES DE LUTTE MICROBIOLOGIQUE ET LUTTE INTÉGRÉE.

Ces recherches sur les maladies des vers blancs, en dehors de leur intérêt pour la détermination des causes des fluctuations des populations naturelles et de leur contribution aux connaissances en matière de pathologie des insectes et d'épizootologie, ont pour but d'éprouver la valeur des germes en cause pour une application en lutte microbiologique.

L'ensemble des données présentées dans le paragraphe précédent ainsi que les résultats d'expériences en laboratoire et sur le terrain, destinées à comparer l'activité des différents germes pathogènes pour les larves du Hanneton commun, montrent que la mycose à *Beauveria* constitue actuellement notre meilleure arme pour la lutte microbiologique contre les vers blancs. En effet, c'est le microorganisme doté de la pathogénie la plus élevée, et le seul qu'il soit possible de multiplier artificiellement.

Aussi les études sont surtout concentrées sur ce champignon. Grâce à une action concertée de la D.G.R.S.T., associant le laboratoire des mycoses de la Station de La Minière (P. FERRON), la Station de microbiologie des sols de l'I.N.R.A. à Dijon (H. Blachère et G. Catroux) et le service de mycologie de l'Institut Pasteur de Paris (G. SEGRETAINE), les recherches sont développées depuis 2 ans en vue de préciser la physiologie du champignon et ses exigences nutritionnelles, mettre au point une méthode de détermination de la virulence des différentes souches, et définir les modalités technologiques de fabrication, de formulation et de conservation d'une préparation susceptible d'être utilisée dans la pratique.

Nous disposons actuellement d'une poudre à base de blastospores produits en fermentateur expérimental, titrant $2 \cdot 10^{11}$ spores viables par gramme, dont l'activité a été vérifiée avec succès par des traitements à l'échelle de l'hectare dans le Doubs.

Les recherches se poursuivent pour améliorer le rendement de la fermentation, avec des milieux aussi simples et aussi peu coûteux que possible, et pour

aboutir à une poudre de bonne conservation aussi bien avant l'emploi qu'après dispersion sur le terrain.

Par la lutte contre les Scarabéides, comme pour les autres ravageurs d'intérêt agricole, l'emploi de germes entomopathogènes doit dans l'état actuel de nos connaissances en matière de dynamique des populations d'insectes, de pathologie et d'épizootologie, être situé dans le contexte général de la lutte intégrée, c'est-à-dire dans l'utilisation optimum des différents moyens disponibles en n'intervenant que si les densités de déprédateurs risquent de dépasser le seuil de tolérance économique de la culture et en préservant au maximum, grâce à des procédés sélectifs, le restant de l'écosystème.

Parmi ces procédés figure la méthode de lutte dite autocide, par lâchers de mâles stérilisés. Depuis les succès rencontrés aux Etats-Unis dans la lutte contre la mouche du bétail, *Cochliomyia hominivorax*, cette méthode est expérimentée dans de nombreux pays contre les principaux insectes nuisibles à l'agriculture ou d'intérêt médical ou vétérinaire.

Les Scarabéides ont également été pris en considération en essayant de les stériliser par irradiation ou par des substances chimiques.

Les premiers essais ont été effectués par HORBERG (1963) en Suisse en soumettant les mâles, récoltés sur les arbres dans les premiers jours de la période d'activité imaginaire, à une dose de 3 000 rad de rayons X. Ces mâles ont été ensuite relâchés dans une autre région. Cette opération, répétée dans une zone de 30 ha au cours de deux cycles successifs, a abouti à une disparition quasi totale des vers blancs qui n'a pas été observée dans les secteurs témoins. Ces résultats très encourageants mériteraient d'être transposés à une plus grande échelle. En effet, bien des aspects de la biologie du Hanneton sont favorables à la lutte autocide : concentration des insectes en certains points des lisières, apparition plus précoce des mâles, délai d'au moins une semaine avant le début des pontes, sans négliger le fait que les dégâts sont causés par les larves.

Pour la lutte contre *Popillia japonica* aux Etats-Unis des expérimentations sont en cours à l'aide d'un chimiostérilisant, le Tepa.

Pour notre part, nous avons été chargé, dans le cadre du Projet conjoint des Nations-Unis et de la Commission du Pacifique Sud sur la lutte contre *Oryctes rhinoceros*, d'examiner les possibilités d'appliquer à ce Dynastide la méthode du lâcher des mâles stériles.

Nous avons montré que les rayons γ du Co^{60} stérilisent les mâles de *O. monoceros* à 4 000 rad et de *O. rhinoceros* à 7 000 rad, sans altérer de façon sensible la longévité des imagos. Leur compétitivité par rapport aux mâles normaux est du même ordre de grandeur que celle enregistrée chez d'autres insectes : 10 mâles stériles pour 1 mâle normal environ.

Les résultats de laboratoire doivent être complétés, avant de pouvoir être expérimentés dans les planta-

tions par des études sur le terrain portant notamment sur les modalités de l'accouplement dans la nature et l'établissement d'une technique d'échantillonnage permettant de suivre l'évolution des populations dans les gîtes larvaires et dans les couronnes de cocotiers. Cependant, du fait que ce sont les adultes qui sont à l'origine des dégâts, il est impossible d'envisager d'accroître le nombre de prédateurs et l'irradiation ne peut être opérée que sur des *Oryctes* capturés dans la plantation considérée, irradiés, puis relâchés. Cette opération serait facilitée par la disposition d'un attractif dont la recherche est en cours aux Samoa Occidentales, siège du Projet. Dans ce cas l'addition d'un chimiostérilisant éviterait l'intervention de l'Homme. Aussi nous avons entrepris l'étude de l'action de certains de ces produits sur *O. rhinoceros*.

L'Assemblée générale du 8 mai 1971 a décidé que la cotisation serait portée à 50 F en 1972 et à 100 F pour les personnes morales (Instituts, laboratoires, Bureaux d'Etude, bibliothèques, libraries, etc.).

IMPORTANCE DE LA CONNAISSANCE DE LA BIOLOGIE POUR LA
MISE EN ŒUVRE D'UN PIÉGEAGE.
CAS DE *SCAPANES AUSTRALIS* (COLEOPTERA : DYNASTIDAE)
RAVAGEUR DU COCOTIER EN PAPAOUASIE NOUVELLE-GUINÉE *

J-P MORIN^{1,2}, T. KAKUL³, I. BEAUDOIN-OLLIVIER^{1,3}, D. ROCHAT⁴, R.N.D.
PRIOR⁵

¹ CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

² INRA, Phytopharmacie & Médiateurs Chimiques, 78026 Versailles Cedex, France

³ CCRI, P.O. Box 1846, Rabaul, Papua New Guinea

*Recherches réalisées avec un financement de la CFF dans le cadre du projet TNCO
N° 1 RB-ICIBCT970199

Résumé: L'observation fine du comportement de l'insecte la nuit, a permis de découvrir un comportement particulier d'appel du mâle. Ce résultat a été mis à profit pour développer un modèle de piège utilisant des mâles vivants comme appâts. Plusieurs centaines d'insectes ont été ainsi capturés en un an et une réduction des populations a été observée. Une méthode de piégeage de masse peut être envisagée comme moyen de lutte contre ce ravageur important du cocotier.

Mots clés: Scapanes, cocotier, comportement, piégeage, Papouasie-Nouvelle-Guinée

Summary: IMPORTANCE OF BIOLOGICAL KNOWLEDGE FOR TRAPPING.
THE CASE OF *SCAPANES AUSTRALIS* (DYNASTIDAE), A COCONUT PEST
IN PAPUA NEW GUINEA.

Close observation of the insect's nocturnal behaviour revealed a particular signalling behaviour in the male. This result was used to develop a type of trap using living males as bait. Several hundred insects were caught in that way in a year and a population decrease was observed. A mass trapping method can be envisaged as a way of controlling this major coconut pest.

Keywords: Scapanes, coconut, behaviour, trapping, Papua New Guinea

INTRODUCTION

Pour mettre en œuvre de nouvelles méthodes de lutte contre les ravageurs des cultures, il est important d'avoir de bonnes connaissances sur leur biologie et en particulier sur leur comportement si l'on veut développer des méthodes de piégeage.

Scapanes australis (Boisduval) Coleoptera Scarabaeoidea Dynastidae est un gros coléoptère noir de 6 cm que l'on rencontre attaquant les cocotiers dans plusieurs îles de l'archipel de Bismarck (Papouasie-Nouvelle-Guinée, Îles Salomon). L'insecte creuse des galeries dans les bases pétiolaires des feuilles et s'enfonce dans le stipe vers les tissus les plus tendres proches de la zone de croissance. En raison de la taille de l'insecte, les dégâts sont importants surtout sur les jeunes cocotiers de 1 à 5 ans (destruction de folioles, casse des pétioles, perturbations graves dans la croissance des jeunes plants). Les galeries profondes de scapanes provoquent une fermentation des tissus qui attirent très souvent un autre ravageur *Rhycolophorus bilineatus* (Montrozier) Coleoptera Curculionidae. Ce dernier y dépose des œufs et les larves provoquent une destruction interne de la plante avec des pourritures bactériennes très nombreuses. Ces attaques associées de scapanes et de *Rhycolophorus* conduisent inévitablement à la mort du cocotier (BEAUDOIN-OLIVIER *et al.*, 1999).

Les études réalisées depuis plus de 20 ans n'ont pas permis de contrôler efficacement le ravageur :

- La récolte manuelle des adultes de scapanes et leur destruction est difficile car les insectes sont enfoncés profondément dans les galeries et leur extraction cause des dégâts importants.
- La lutte chimique à faible insecticides à l'aisselle des feuilles (granules ou pulvérisations) n'est efficace que si les applications sont répétées. Elle est coûteuse et polluante, et hors de portée des petits producteurs.
- La lutte visant à réduire les populations en détruisant les larves s'est heurtée jusqu'à maintenant au problème de trouver les lieux de reproduction afin de les détruire et à la difficulté d'identifier précisément les larves de scapanes en les différenciant des autres larves de Scarabaeoidea (BEAUDOIN-OLIVIER *et al.*, 1998, 1999b).
- Les recherches entreprises pour utiliser des organismes entomopathogènes et des parasitoïdes n'ont pour l'instant pas donné de résultats satisfaisants.

Des observations anciennes (HELFORD, 1976; MACTARIANI, 1981) avaient montré que les insectes récoltés sur les cocotiers étaient en majorité des mâles (2 à 3 mâles pour une femelle). Cette sex-ratio surprenante était expliquée par le fait que les mâles demeuraient plusieurs jours dans les galeries alors que les femelles plus mobiles

ne restaient qu'une nuit dans les galeries et allaient ensuite dans les gîtes de reproduction.

Afin de préciser la biologie de ce nuisible, des études plus précises ont été reprises depuis 1 an. Nous présentons ici comment les observations sur le comportement très particulier des mâles ont conduit à réaliser un piège attractif qui a permis un piégeage de masse entraînant une réduction des populations.

METHODS

1) Observations des insectes sur les cocotiers

Des observations pendant la journée ont été effectuées sur de jeunes cocotiers de 4 à 8 ans sur une parcelle de 10 ha fortement attaquées. Les bases pétiolaires étaient examinées et les galeries qui étaient trouvées ont été disséquées afin d'identifier les insectes. Pour quelques arbres repérés à l'avance, des insectes mâles dans leur galerie ont été observés la nuit.

2) Maintien des adultes et comportement en milieu contrôlé : observation d'un comportement d'appel des mâles

Afin de mieux suivre l'activité nocturne des insectes, 10 mâles et 10 femelles ont été placés individuellement sur des plants de pépinière élevés en sac plastique âgés de 12 à 18 mois que l'on pouvait facilement déplacer. Un trou a été percé artificiellement dans le bulbe dans lequel est introduit l'insecte qui continue le creusement. Des insectes ont également été placés individuellement dans de gros morceaux de canne à sucre conservés en boîte plastique.

3) Essai de piégeage de masse à l'aide d'un piège utilisant un mâle vivant comme appât

Le piège est constitué d'un seau en plastique de 18 l (Ø : 32 cm, H : 27cm) ayant 2 grandes ouvertures (10 cm x 15 cm) sur les côtés. Une boîte plus petite (Ø : 17 cm, H : 19 cm) perforée renfermant un morceau de canne à sucre et un scapanes mâle est fixée sous le couvercle (fig. 1). Les insectes attirés dans le piège étaient retenus par de l'eau au fond du seau additionnée d'un mouillant. Les pièges étaient visités toutes les semaines pour compter le nombre de mâles et de femelles capturés, changer le mâle servant d'appât s'il était mort et renouveler le morceau de canne à sucre. Ils étaient disposés à 50 m les uns des autres, suspendus à 1.5 m du sol à un piquet de bois.

Deux essais ont été réalisés sur la plantation Tavo du CCRI (Cocoa & Coconut Research Institute) sur l'île de Nouvelle-Frétagne. L'essai 1 (bloc 12A) a été réalisé dans une parcelle de 6 ha de cocotiers de 4 à 8 ans très fortement attaqués. Il comportait 12 pièges. L'essai s'est déroulé du 4/03/98 au 22/01/99. L'essai 2 était disposé sur une parcelle comparable (bloc 13 et blocs voisins) couvrant une superficie totale de 38 ha avec 14 pièges. Il s'est déroulé du 4/03/98 au 4/02/99. Dans ces 2 essais, les cocotiers étaient en association avec des cacoyers de 8 ans et des glycidia (*Glycidia sepium* Loquin). Le sol était couvert de graminées.

Éléments de biologie et comportement des mâles et des femelles

Dans les conditions naturelles sur le cocotier, seules se retrouvent à l'intérieur des feuilles. Il creuse une galerie dans le pétiole si celui-ci est assez gros et tendre mais le plus souvent se dirige vers le centre de l'arbre en progressant vers le haut ou vers le bas. Dans la journée les insectes mâles et femelles restent enfoncés dans les galeries. En disséquant ces galeries on a pu dénombrer 122 mâles et 41 femelles durant 5 mois; ce qui donne une sex-ratio très en faveur des mâles (3 à 4) confirmant ainsi les observations faites par BEDFORD (1975) et toujours vérifiées par la suite. Un examen attentif des galeries a révélé que s'il y a un seul insecte, il s'agit très souvent d'un mâle (51 cas sur 59) et que si il y a plusieurs insectes, il est alors significativement plus fréquent d'y retrouver une femelle. Une description détaillée de ces insectes dans les galeries est donnée par PRIOR *et al* (sous presse). Sur les plants de pépinière, les mâles creusent une galerie comme sur les cocotiers adultes en rejetant les fibres à l'entrée du trou. Dans la journée le mâle est à l'intérieur de sa galerie. A la tombée de la nuit, il s'approche de l'entrée de la galerie et adopte une position particulière: avec la tête enfoncée dans la galerie, l'insecte sort son abdomen à l'extérieur et dressé sa dernière paire de pattes. Toutes les 20 secondes environ l'extrémité de l'abdomen s'ouvre et lance éjecté une fine goutte de liquide qui est immédiatement étalé et dispersé dans l'air par les tasses à la suite d'un mouvement des pattes arrières. Ce comportement rappelle celui de quelques coléoptères bousiers comme *Khejer lamurai* Muelloy (BURGIER *et al.*, 1983) ou *Canthon cyanellus* Leconte (BELLES *et al.*, 1984). Les femelles ne présentent pas ce comportement. Elles sont d'ailleurs très mobiles et restent habituellement peu de temps (une nuit) dans les galeries lorsqu'elles y ont été introduites artificiellement. Dans un morceau de canne à sucre de 5 à 6 cm de diamètre, le mâle creuse une galerie et disparaît à l'intérieur. Au début de la scotophase il remonte à l'entrée et prend une position identique à celle décrite précédemment sur les cocotiers.

En observant le soir des mâles en comportement "d'appel" à l'entrée de leur galerie sur des cocotiers, nous avons pu entendre et observer des vols au début de la nuit et voir des insectes se poser à proximité des galeries renfermant un mâle. De nuit à juillet 1997, 9 mâles et 12 femelles ont été ainsi récoltés (tableau 1). La femelle qui arrive s'accouple avec le mâle puis s'enfonce dans la galerie pour s'alimenter. Si l'arrivant est un mâle, il s'ensuit un combat qui conduit à l'expulsion de l'un des deux insectes pour la possession de la galerie. PRIOR *et al* (sous presse) ont décrit en détails ces événements puis ont montré dans 2 expériences de terrain avec des insectes engagés sur plants de pépinière une attraction des mâles au début la nuit lorsqu'ils prenaient leur position d'appel contrairement aux femelles qui n'ont attiré aucun congénère.

2) L'essai de piégeage de masse à l'aide d'un piège original utilisant un mâle vivant comme appât.

Les figures 2 et 3 présentent les résultats de piégeage dans les 2 essais pendant une période de 11 mois. Dans le premier essai, 823 insectes ont été capturés et dans le second, 1513. Il est intéressant de noter que les mâles ne représentent que 34 à 36 % des insectes capturés, une proportion inverse de celle observée dans la population trouvée dans les galeries de cocotier en plantation. Cette sex-ratio en faveur des femelles chez les insectes capturés représente un avantage du piégeage par rapport à la récolte manuelle des insectes sur les cocotiers.

Le nombre d'insectes capturés par hectare et par mois est important pour des insectes de cette taille (respectivement 12 et 4 pour les essais 1 et 2) et représente un taux d'immigration d'insectes venus de l'extérieur de ces parcelles. Il est du même ordre de grandeur que celui donné par BEDFORD (1975) et obtenu par des ramassages réguliers (moyenne de 10 insectes/ha/mois). Ces captures ont une incidence forte sur les populations car on observe dans les 2 parcelles une diminution sensible de 8 à 10 % par mois sur près d'un an.

L'efficacité de ce type de piège avec un mâle vivant comme appât est remarquable. Au cours de son comportement d'appel, le mâle produit une phéromone d'agrégation qui attire mâles et femelles. Les travaux relatifs à l'identification de cette phéromone sont en cours de publication (ROCHAT *et al.*, 1999).

La mise en œuvre du piégeage à l'aide de mâles vivants résulte directement des observations réalisées la nuit sur des cocotiers naturellement infestés. Le fait de pouvoir obtenir le comportement d'appel de mâles sur des plants de pépinières, sur des fragments de troncs de cocotiers au laboratoire ou avec des morceaux de canne à sucre a permis d'effectuer des piégeages avant même de disposer d'attractifs chimiques.

Cette méthode de capture simple et peu coûteuse est à la portée des petits producteurs de cocotier. Elle nécessite cependant des études complémentaires pour vérifier si elle protège efficacement les nouvelles parcelles replantées en cocotier. Elle nécessite aussi la mise en œuvre sur des surfaces importantes et sur une longue durée, conditions qui ne peuvent être obtenues que dans une action concertée de plusieurs producteurs voisins et avec le soutien d'organismes de recherche et de développement qui pourront quantifier le réel bénéfice d'un tel piégeage.

Remerciements

Les auteurs remercient le Dr John Maxon pour son soutien et le Comité des Directeurs du Cocoa & Coconut Research Institute pour autoriser la publication de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

BEAUDOIN-OLLIVIER I., R. N. D. PRIOR, S. LAUR. 1998. A field evidence some rhinoceros-beetle larvae breeding in coconut palm habitats in Papua New Guinea. *PNG J. Agric., For., Fl.*, 41 (2), 1-15.

BEAUDOIN-OLLIVIER I., J. P. MORIN, R. N. D. PRIOR, T. KAKUL, I. OLLIVIER, D. ROCHAT, D. MARIAU. 1999. The *Scapanes-Rhinoceros* complex, the main entomological problem on coconut in Papua New Guinea. *Plantation, Recherche, Développement*, 6 (1), 46-55.

BEAUDOIN-OLLIVIER I., R. N. D. PRIOR, J. P. MORIN, R. NANGUAI, I. KAKUL. 1999b. The larval development sites of the Melanesian coconut beetle *Scapanes australis* (Coleoptera: Scarabaeoidea: Dynastidae) in Papua New Guinea. *International Journal of Pest Management* (sous presse).

BEDFORD, G. O., 1975. Immigration of *Oryctes rhinoceros* (L.) and *Scapanes australis grossepunctatus* Stemb (Coleoptera, Dynastidae) into plantings of young coconut palms in New Britain. *Bull. Ent. Res.*, 65, 109-116.

BEDFORD, G. O., 1976. Observation on the biology and ecology of *Oryctes rhinoceros* and *Scapanes australis* - pests of coconut palms in Melnesia. *J. Entomol. Soc.*, 15, 241-251.

MACTARLANE, R., 1983. *Agriculture, Division Entomology report*. Ministry of Agriculture and Livestock. Solomon Islands, 9-13.

BELLES, XG., M. E. FAVILA, 1984. Protection chimique du nid chez *Cambion cyanellus* Leconte (Col. Scarabaeidae). *Bull. Soc. Ent. France*, 88, 602-607.

BURGER, B. V.; Z. MUNDO, M. ROTH, H. C. PIES, V. IRUTI R., G. D. YRHH, R. M. CREWE, 1983. Composition of the heterogeneous sex attracting secretion of the dung beetle, *Kheper humerki*, *Z. Naturforsch.*, 38, 848-855.

PRIOR R. N. D., J. P. MORIN, D. ROCHAT, I. BEAUDOIN-OLLIVIER, I. STATERS, T. KAKUL, S. EMBUBA, R. NANGUAI, 1999. New aspects of the biology of the Melanesian Rhinoceros Beetle *Scapanes australis* (Col., Dynastidae) and evidence for field attraction to males. *J. Appl. Entomol.*, in press.

ROCHARD, J. P. MORIN, I. KAKUL, I. BEAUDOIN-OLLIVIER, R. PRIOR, C. MOULASSE, I. DE CRU/MAL OSSE, M. RENOU, S. EMBUBA, 1999. Unusual Aggregation Pheromone of the Melanesian Rhinoceros Beetle *Scapanes australis* Bois. (Coleoptera, Scarabaeidae). 1st Asia-Pacific Conference on chemical Ecology November 2-3, 1999 (Shanghai, China)

Tableau 1. Arrivées d'insectes sur cocotiers ayant une galerie occupée par un mâle (Keravat I-NB PNG)

Mois	Nb de mâles en appel observés	Nb de soixées	Nb d'insectes arrivés	Heures d'arrivée
mai-97	7	6	3 ♂♂ et 6 ♀♀	18 : 28 - 18 : 45
jun-97	3	3	2 ♂♂ et 2 ♀♀	18 : 30 - 18 : 40
juil-97	6	3	3 ♂♂ et 5 ♀♀	18 : 25 - 18 : 45

Nota: nuit à 18 10

FIGURE 1. PIÈGE À SCAPANES

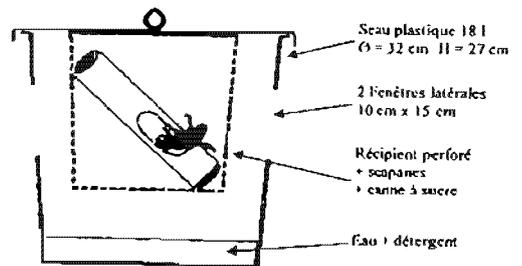


FIGURE 2 : CAPTURES DE SCAPANES EN PLANTATION DE COCOTIER
 (Plantation Tavilo, bloc 12A - du 04/03/98 au 22/01/99)
 Keravat, East New Britain, PNG

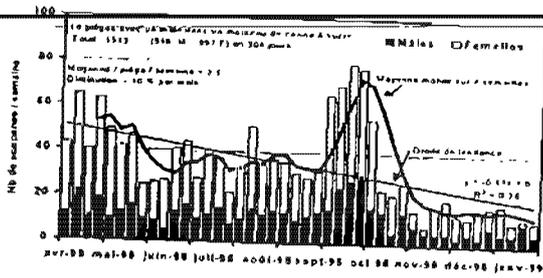
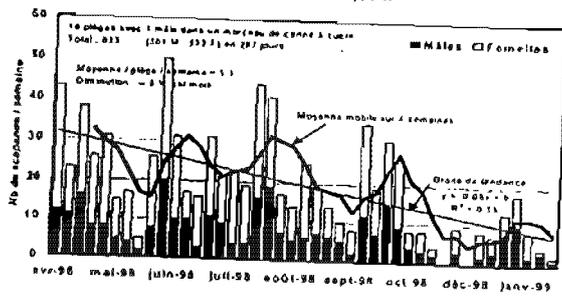


FIGURE 3 : CAPTURES DE SCAPANES EN PLANTATION DE COCOTIER
 (Plantation Tavilo, bloc 13 - du 04/03/98 au 4/02/99)
 Keravat, East New Britain, PNG



ANNEXE 11

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDERSON J.M., INGRAM J. (1993) - Tropical soil biology and fertility (T.S.B.F.). A Handbook of Methods, 2nd edition . CAB ed., Oxford, 221 p.

BOURGUIGNON D. (1997) - Le ver blanc, dangereux ravageur des rizières pluviales malgaches. Rapport de stage (INP/ENSAT) au FOFIFA/CIRAD d'Antsirabe, 50 p., 23 annexes.

DECHAMBRE R.P. (1986) - Insectes Coléoptères Dynastidae. Faune de Madagascar, n° 65. Edité par le Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 215 p.

DELUCCHI V. (1994) - La protection intégrée en culture rizicole dans la région du Lac Alaotra (Madagascar). Rapport de mission (20/02 au 7/03/1992). In : rapport d'activité 7-A (1991-1992), p. 118-119.

HURPIN B. (1971)- Ecologie des Scarabeides et lutte biologique contre les vers blancs. Bull. Soc. Ecol. t.II, 2-3, 122-135.

LACROIX M. (1989) - Insectes Coléoptères Melolonthidae, première partie. Faune de Madagascar, n°73 (1). Edité par le Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 302 p.

LACROIX M. (1993) - Insectes Coléoptères Melolonthidae, deuxième partie. Faune de Madagascar, n°73 (2). Edité par le Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 875 p.

MICHELLON R., RANDRIAMANANTSOA R., RAZANAMPARANY C., RASOLOARIMANANA. (1998) - Evolution de la faune du sol selon sa gestion. Protection des plants par traitement des semences. Fiche d'essai 1998, CIRAD-FOFIFA, n° 1, 19 p.

MICHELLON R., MOUSSA N., RAKOTONIAINA F., RAZANAMPARANY C., RANDRIAMANANTSOA R. (2001a) - 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. Fiche d'essai 2001, CIRAD-FOFIFA, n° 1, 17 p.

MICHELLON R., RAZAKAMIARAMANANA C., RANDRIAMANANTSOA R. (2001b) - Direct seeding on plant cover with « smouldering » techniques. Ist World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 october 2001. Poster.

MORIN J.P., KAKUL T., BEAUDOUIN-OLLIVIER L., ROCHAT D., PRIOR R.N.B. (1999) - Importance de la connaissance de la biologie pour la mise en œuvre du piégeage. Cas de *Scapanes australis* (Coleoptera : Dynastidae), ravageur du cocotier en Papouasie-Nouvelle-Guinée. 5^e Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, A.N.R.P., Montpellier, 7 au 9 décembre, 303-310.

RAJANARISON J. (1994) - Le contrôle intégrée du complexe vers blancs du genre *Heteronychus*. In: 'Rapport d'Activité 7-A (1991-1992), Volet Recherche' du Projet Protection Intégrée en Riziculture au Lac Alaotra, p.67- 97.

RAMANANTSIALONINA H. M. (1999) - Evolution de la faune et des dégâts aux cultures en fonction du mode de gestion des sols. Mémoire Ecole Supérieure de Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Département Agriculture -CIRAD - FOFIFA - TAFE, 94 p. + 10 annexes.

RATNADASS A. (2001) - Compte-rendu de mission à Madagascar du 26 mars au 5 avril 2001 CIRAD/CA (Montpellier), 8 p, photos.

RICHTER P.O. (1966) - White grubs and their allies. Oregon state University Press

Atelier de Reprographie

sari La goutte d'encre II

112 f b Boutonnet 34000 Montpellier

Tel : 04.67.02.17.79