

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1 L'ÎLE DE LA RÉUNION.....	2
1.1 PRÉSENTATION DE L'ÎLE	2
1.2 L'AGRICULTURE RÉUNIONNAISE.....	2
2 LES TEPHRITIDAE NUISIBLES À LA RÉUNION.....	3
2.1 POSITION SYSTÉMATIQUE	3
2.2 LES ESPÈCES NUISIBLES À LA RÉUNION	3
2.3 BIOLOGIE ET DÉGÂTS	5
2.4 IMPORTANCE ÉCONOMIQUE	5
3 LES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LES TEPHRITIDAE.....	6
3.1 LUTTE PRÉVENTIVE.....	6
3.2 DÉTECTION.....	6
3.3 CONTRÔLE ET ÉRADICATION.....	6
3.3.1 Lutte chimique classique.....	6
3.3.2 Lutte raisonnée.....	6
3.3.3 Lutte biotechnique et systèmes de piégeage	7
3.3.4 Lutte par suppression des mâles ou "Male Annihilation Technique".....	7
3.3.5 Lutte autocide ou "Sterile Insect Technique" (SIT).....	7
3.3.6 Lutte biologique.....	7
3.3.7 Désinfestation post récolte.....	7
4 LES SYSTÈMES DE PIÉGEAGE.....	8
4.1 LES PIÈGES	8
4.1.1 Piège MacPhail.....	8
4.1.2 Piège à sec Steiner.....	8
4.1.3 Pièges englués.....	9
4.1.4 Pièges visuels.....	9
4.2 LES ATTRACTIFS	9
4.2.1 Kairomones et allomones des plantes	9
4.2.2 Pheromones.....	10
4.2.3 Parapheromones	10
4.2.4 Attractifs alimentaires.....	11
4.3 LES OUTILS DE PIÉGEAGE.....	12
4.3.1 Insecticides.....	12
4.3.2 Encart englué.....	12
4.3.3 Mouillants.....	12
4.4 LE POSITIONNEMENT DES PIÈGES	12
5 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS.....	13

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIELS ET MÉTHODES

1	AVANT-PROPOS	14
2	MATÉRIELS	14
2.1	LES PARCELLES.....	14
2.1.1	Bassin Plat.....	14
2.1.2	Les Lianes	14
2.2	LES SYSTÈMES DE PIÉGEAGE.....	15
2.2.1	Pièges et contenus	15
2.2.2	Organisation des parcelles.....	16
3	MÉTHODES.....	17
3.1	PRÉPARATION DES PIÈGES	17
3.2	ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNÉES	17
3.2.1	Captures.....	17
3.2.2	Données météorologiques.....	18
3.2.3	Traitement des données.....	18

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS ET DISCUSSION

1	RÉSULTATS.....	19
1.1	COMPARAISON DE SYSTÈMES DE PIÉGEAGE POUR <i>BACTROCERA CUCURBITAE</i>	19
1.1.1	Nombre total de captures de <i>Bactrocera cucurbitae</i> , mâles et femelles confondus.....	19
1.1.2	Nombre total de captures de <i>Bactrocera cucurbitae</i> et des autres espèces.....	19
1.1.3	Captures de mâles et de femelles de <i>Bactrocera cucurbitae</i>	19
1.1.4	Variables climatiques	20
1.2	COMPARAISON DE SYSTÈMES DE PIÉGEAGE POUR <i>NEOCERATITIS CYANESCENS</i>	20
1.3	COMPARAISON DE SYSTÈMES DE PIÉGEAGE POUR <i>CERATITIS ROSA</i>	21
1.3.1	Captures de <i>Ceratitis rosa</i> , mâles et femelles confondus.....	21
1.3.2	Captures de <i>Ceratitis rosa</i> , mâles et femelles séparés.....	21
2	DISCUSSION	22
2.1	COMPARAISON DES SYSTÈMES DE PIÉGEAGE POUR <i>BACTROCERA CUCURBITAE</i>	22
2.2	COMPARAISON DES SYSTÈMES DE PIÉGEAGE POUR <i>CERATITIS ROSA</i>	23

CONCLUSION.....	26
------------------------	-----------

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

REMERCIEMENTS

Comme tous les stages, celui-ci se termine sur les chapeaux de roue, qui a dit qu'un stage était de tout repos ?? Et surtout à la Réunion !! Heureusement toute l'équipe soudée de la Saint Pierroise a fait front et a participé avec efficacité à la réalisation de ce travail ! Pour cela, je tiens à remercier Serge pour m'avoir ouvert les portes du labo durant ces 6 mois.

Je tiens à dédier ces remerciement à tous les CDI de la Réunion et en particulier à Jim, hein "mon cafre" même s'il n'y avait "pas une merde" de... on les a quand même fait ces comptages. Bon, Antoine moukateries à part, merci pour le suivi des parcelles et pour les photos,... et puis n'oublie pas de payer le café la prochaine fois, somme toutes minuscules les tasses que tu bois. Eh oui Lulu la fin est là mais ce n'est qu'un "au revoir", on se donne rdv sur les pistes de ski d'Avoriaz en février prochain... En tout cas, merci pour tes rêveries et les repas partagés chaque midi. Allo GSM ? Comment il est ? C'est Vincent à l'appareil, alors les vacances ? Un coup de fatigue ? Allez reprends un p'tit coup de Janot et ça ira mieux! Bon assez moukater sur votre dos, ce n'est pas mon genre et j'en perds mon créole! Bon je ne vais pas citer tout le monde ça ferait une liste interminable (Pierre-François, Frédéric,...) et puis il faut bien que ce rapport ait une fin. Allez, au revoir la Réunion.....

PRÉSENTATION DU CIRAD

Organisme scientifique français spécialisé en recherche agronomique appliquée aux régions chaudes, le CIRAD a pour mission de contribuer au développement rural des pays tropicaux et subtropicaux par des recherches, des réalisations expérimentales, des actions de formation, en France et à l'étranger, de l'information scientifique et technique. Ses activités recouvrent les domaines des sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agro-alimentaires.

Le CIRAD dispose de stations de recherche en France à Montpellier, en région parisienne, en Corse mais aussi en outremer : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion, Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française. Avec un effectif de 1800 personnes, dont 900 cadres, un budget de 1 milliard de francs et une organisation en 28 programmes et 7 départements, le CIRAD est organisme de recherche très actif.

A la réunion, le CIRAD dispose d'un effectif de 151 agents, dont 32 chercheurs répartis dans 4 stations (La Bretagne, Ligne Paradis, Bassin Plat et Bassin Martin) et dans des implantations à Trois-Bassins-Colimaçons, Cilaos et Saint-Benoît.

Les activités du CIRAD Réunion :

- La canne à sucre : dans le cadre de la relance de la filière, mise en valeur des ressources génétiques, étude des systèmes de production, élaboration d'une stratégie de développement adaptée.
- Les fruits et légumes : amélioration des variétés et des systèmes de culture pour satisfaire la demande locale et exporter, notamment les productions de contre-saison.
- La protection des plantes : création d'un pôle de protection des plantes à vocation régionale et internationale qui regroupe les compétences de différents organismes, renforçant ainsi le potentiel scientifique et créant une structure d'accueil et de formation dans ce domaine.
- L'agriculture des Hauts : mise en place de systèmes diversifiés durables qui appuient les petites unités familiales, valorisent et protègent les milieux physiques.
- Et aussi : l'élevage, le maïs, les plantes aromatiques, le bois et les forêts, l'environnement.

Les principaux partenaires du CIRAD Réunion :

- L'Union Européenne.
- L'Etat.
- Le Conseil Régional.
- Le Conseil Général.
- La Chambre d'Agriculture.
- L'INRA.

INTRODUCTION

Secteur en pleine expansion, les cultures maraîchères et fruitières réunionnaises représentent une alternative intéressante à la culture de canne à sucre ainsi qu'une des voies de développement pour tenter d'enrayer le phénomène de désertification de certaines communes rurales.

Cependant, le marché local étant saturé, cette expansion ne pourra se poursuivre que si la profession se tourne vers la commercialisation à l'exportation et en grandes surfaces.

Dans cette perspective, afin de pouvoir fournir des fruits et légumes de qualité, il faudra maîtriser d'une part leur conditionnement, principal obstacle à surmonter, mais aussi les problèmes phytosanitaires occasionnés notamment par les mouches des fruits et des légumes (Diptera : Tephritidae).

Le laboratoire d'Entomologie du CIRAD-FLHOR Réunion participe à un programme international de lutte biotechnique (FAO / AIEA, 2000) pour le contrôle des dégâts causés par ces mouches. L'orientation des travaux du laboratoire vise à encourager une agriculture durable par le développement de stratégies non dommageables pour l'environnement contre les Tephritidae économiquement importantes.

Dans le cadre ainsi défini, cette étude vise à comparer l'attractivité d'une série de systèmes de piégeage vis-à-vis des deux sexes (et tout particulièrement des femelles) des principales espèces de Tephritidae nuisibles aux cultures fruitières et légumières de la Réunion :

- *Ceratitis (Ceratitis) capitata* (Wiedemann) ou mouche méditerranéenne des fruits.
- *Ceratitis (Pterandrus) rosa* (Karsch) ou mouche du Natal.
- *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) ou mouche de la tomate.
- *Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett) ou mouche du melon.

PREMIERE PARTIE

LES TEPHRITIDAE

GENERALITES
ET
METHODES DE LUTTE

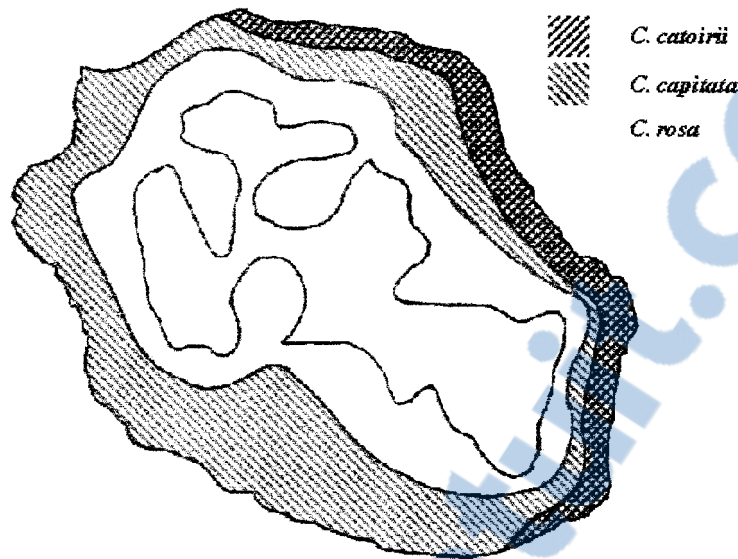
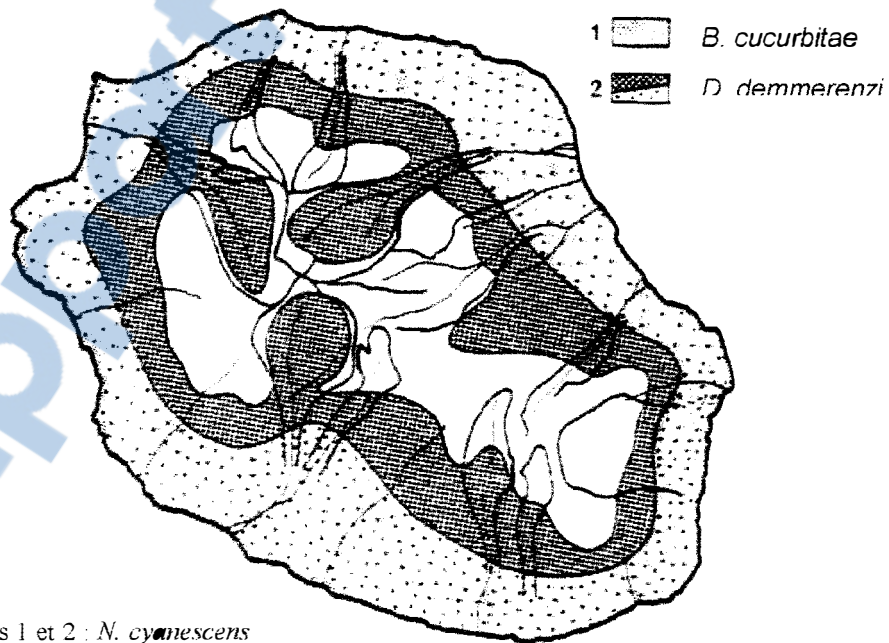


Figure 2. Répartition des trois espèces de *Ceratitis* nuisibles en arboriculture fruitière à La Réunion (Etienne, 1982).



En mélange dans 1 et 2 : *N. cyaneescens*
D. ciliatus

Figure 3. Répartition des trois espèces de Dacini nuisibles aux Cucurbitaceae à La Réunion (Etienne, 1982).

1 L'ILE DE LA REUNION

1.1 PRESENTATION DE L'ILE

La Réunion est une île tropicale de l'hémisphère sud (55°29' de longitude Est et 21°53' de latitude Sud). Elle constitue la partie émergée d'un énorme volcan bouclier de 7000 m de hauteur. L'île couvre 2512 km², soit une surface 3,5 fois inférieure à celle de la Corse et culmine au Piton des Neiges à 3069 m d'altitude.

Il n'est pas aisé de définir le climat de la Réunion. De sa position tropicale, son état insulaire et son relief tourmenté résultent une multitude de microclimats, ce qui entraîne une grande diversité des plantes sauvages et cultivées. Toutefois, on peut définir deux principales régions climatiques, qu'il faut également croiser avec l'altitude qui accentue les différentiels thermiques et pluviométriques (on parle des "hauts" de l'île) :

- La côte "au vent", orientée nord-est face aux alizés, reçoit 70 % des précipitations (3 à 10 m d'eau / an).
- La côte "sous le vent", orientée sud-ouest, reçoit moins de 2m d'eau / an et de façon très irrégulière.

De plus, le climat réunionnais est marqué par deux saisons :

- L'hiver austral, de mai à novembre, frais et sec.
- L'été austral, de décembre à avril, nettement plus chaud et pluvieux avec des précipitations extrêmes et des phénomènes cycloniques (ANONYME, 1999).

1.2 L'AGRICULTURE REUNIONNAISE

A la Réunion, moins du cinquième du territoire est réservé à l'agriculture, soit en 1997, 42 931 ha de surface agricole utile (SAU) qui s'organisent de la façon suivante (Figure 1) :

- 73 % de terres arables (canne à sucre : culture la plus importante avec 734 millions de francs et 25600 ha, cultures légumières : 2000 ha, cultures fruitières semi-permanentes : 848 ha...),
- 21 % de friches productives et prairies,
- 4 % de cultures fruitières permanentes (Agreste, 1998).

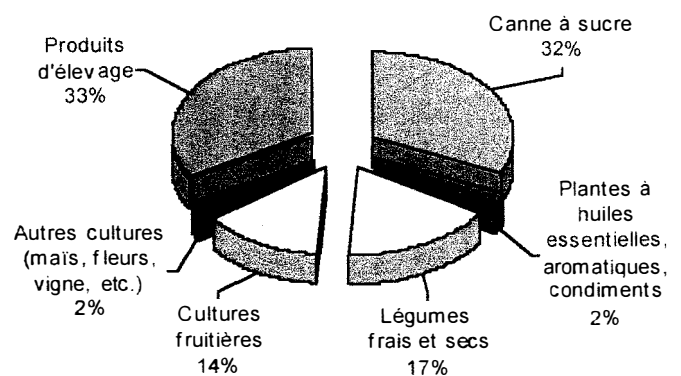


Figure 1. Principales productions agricoles à l'île de La Réunion, en valeur relative (Agreste, 1998).

2 LES TEPHRITIDAE NUISIBLES A LA REUNION

2.1 POSITION SYSTEMATIQUE

Les mouches des fruits appartiennent à la famille des Tephritidae qui compte 4000 espèces (réparties dans 500 genres) dont 250 sont d'importance économique (White & Elson-Harris, 1992).

Ces mouches se distinguent par les caractères suivants (Delvare & Aberlenc, 1989) :

- Présence d'ocelles,
- Arista bien développée,
- Présence d'une cicatrice ptilinale et des deux soies vibrissales,
- Absence de mandibules et maxilles représentées par des palpes,
- Abdomen formé de 5 ou 6 segments visibles, et se terminant chez la femelle par un oviscapte pointu lui permettant d'insérer ses œufs dans les tissus végétaux,
- Ornementation alaire parfois très réduite mais le plus souvent constituée de rayures ou de taches jaunes, brunes ou noires,
- Nervure sous-costale coudée à son extrémité.

2.2 LES ESPECES NUISIBLES A LA REUNION

Les espèces nuisibles dans l'île ont été recensées par Etienne (1982). Quatre d'entre elles font partie de la tribu des Ceratitini, sous-tribu des Ceratitina, et quatre de la tribu des Dacini.

Ceratitini :

- *Ceratitis (Ceratitis) capitata* (Wiedemann) ou mouche méditerranéenne des fruits.
- *Ceratitis (Pterandrus) rosa* (Karsch) ou mouche du Natal.
- *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) ou mouche de la tomate.

Les caractéristiques de ces 3 Ceratitini sont développées plus loin dans ce paragraphe.

• *Ceratitis (Ceratitis) catoirii* Guérin-Mèneville ou mouche des Mascareignes : espèce endémique de la Réunion et de Maurice, de faible importance économique. La répartition de *Ceratitis* spp. est fonction de l'altitude et de la pluviométrie (Figure 2) (Etienne, 1982).

Dacini :

• *Dacus (Didacus) ciliatus* Loew ou mouche éthiopienne des Cucurbitaceae : originaire d'Afrique, elle est présente dans de nombreux pays d'Afrique et du Moyen-Orient ainsi qu'en Asie et dans l'océan Indien Occidental. Ce ravageur est inféodé à de nombreuses espèces cultivées : melon, courge, pastèque, concombre, etc...

• *Dacus (Dacus) demmerezi* (Bezzi) ou mouche des Cucurbitaceae de l'océan Indien : originaire de l'archipel des Mascareignes, cette espèce est inféodée aux Cucurbitaceae.

• *Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett) ou mouche du melon.

Les caractéristiques de cette espèce sont développées plus loin.

• *Bactrocera (Bactrocera) zonata* (Saunders) ou mouche de la pêche : cette espèce a été repérée pour la première fois dans les Mascareignes, en 1986, à Maurice. En 1991, le premier mâle était capturé à la Réunion. En janvier 2000, malgré la mise en place d'un dispositif visant à son éradication (SPV Réunion / CIRAD Réunion, 2000), *B. zonata* est installée actuellement à la Réunion.

La répartition des différentes espèces de Dacini est fonction de l'altitude et de la pluviométrie (Figure 3) (Etienne, 1982).



Photos 1.

a) Mâle de *Ceratitiss. capitata* (Ph. A. Franck)



b) Femelle de *Ceratitiss capitata* (Ph. D. Vincenot).



Photos 2.

a) Mâle de *Ceratitiss rosa*

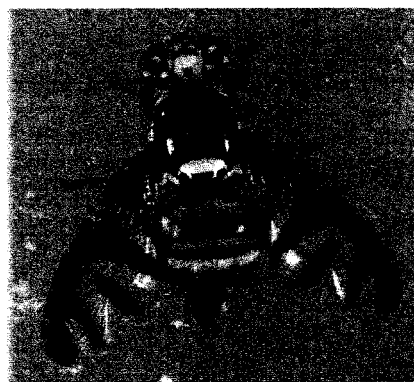


b) Femelle de *Ceratitiss rosa* (Phs. D. Vincenot).

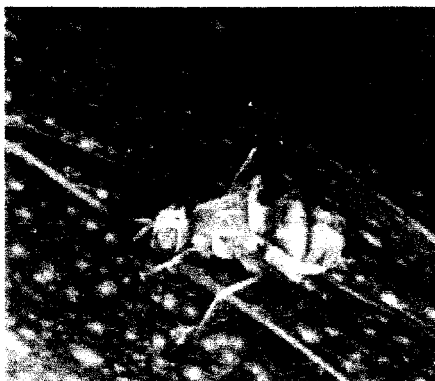


Photos 3.

a) Mâle de *Neoceratitiss cyanescens* (Ph. CIRAD) Vincenot).

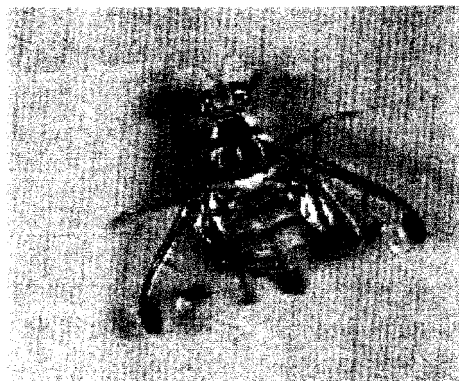


b) Femelle de *Neoceratitiss cyanescens* (Ph. D.



Photos 4.

a) Mâle de *Bactrocera cucurbitae* (Ph. CIRAD) Franck).



b) Femelle de *Bactrocera cucurbitae* (Ph. A.

Dans cette étude nous travaillerons particulièrement sur les 4 espèces suivantes :

- *Ceratitis (Ceratitis) capitata* (Wiedemann) ou mouche méditerranéenne des fruits.

D'origine africaine, cette espèce se rencontre dans de nombreux pays (Afrique, Amérique, îles de l'océan Indien, etc.) (Quilici, 1999). Son aire de répartition à la Réunion s'étend du littoral jusqu'à une altitude de 1000m (Etienne, 1982).

L'adulte (Photos 1 a et b) a des ailes transparentes présentant des bandes de couleur jaune-orange. La dernière partie du thorax (scutellum) est noire, et munie à sa partie antérieure d'une bande transversale de couleur jaunâtre. L'abdomen est brun-jaunâtre. La tête des mâles porte des soies orbitales noires très caractéristiques (Quilici, 1999).

Cet espèce est polyphage puisque sa gamme connue de plantes-hôtes comprend plus de 250 espèces végétales. De nombreuses espèces fruitières cultivées peuvent donc être victimes de ses attaques dont l'oranger (*Citrus sinensis* L.), le manguier (*Mangifera indica* L.), le pêcher (*Prunus persica* (L.) batsch) etc., mais également certaines cultures maraîchères (piment, poivron). En outre, de nombreuses espèces sauvages appartenant à diverses familles peuvent constituer des réservoirs de multiplication (Quilici, 1999).

- *Ceratitis (Pterandrus) rosa* (Karsch) ou mouche du Natal.

D'origine africaine, *C. rosa* est également présente dans l'océan Indien. Signalée à Maurice dès les années 50, elle a par la suite gagné la Réunion (Quilici & Franck, 1999).

A la Réunion, cette espèce est présente du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 1500m. Etienne (1982) a montré qu'elle était l'espèce la plus nuisible pour l'arboriculture fruitière réunionnaise. En outre, dans les zones où elle est présente, elle tend à supplanter *C. capitata*.

Les adultes (Photos 2 a et b) sont reconnaissables par le dessin particulier des taches brunes sur les ailes. Le scutellum présente des dessins jaunâtres sur fond noir (Quilici & Franck, 1999).

Cette espèce polyphage est susceptible de s'attaquer à une large gamme de fruits-hôtes cultivés ou sauvages. On lui connaît actuellement 56 plantes-hôtes à la Réunion. Parmi les plus importantes on peut citer notamment : l'oranger (*Citrus sinensis* L.), le néflier (*Eriobotrya japonica* Thunb.), le pommier (*Malus communis* Poir.), le manguier (*Mangifera indica* L.), le tamarin de l'Inde (*Pithecellobium dulce* Roxb.), le pêcher (*Prunus persica* (L.) batsch), etc. (Etienne, 1982) (Quilici & Franck, 1999).

- *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) ou mouche de la tomate.

Originaire de Madagascar, elle a atteint la Réunion au début des années 50 (Quilici & Brévault, 1999). A la Réunion, elle s'étend du littoral jusqu'à 1500 m d'altitude, en fonction des plantes-hôtes disponibles (Etienne, 1982).

Les adultes de la mouche de la tomate (Photos 3 a et b) sont facilement reconnaissables par le dessin caractéristique des bandes brunes de leurs ailes et par le scutellum entièrement noir dans sa moitié apicale (Quilici & Brévault, 1999).

Cette espèce est inféodée aux plantes de la famille des Solanaceae et tout particulièrement à la tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller). Diverses Solanaceae sauvages ou subspontanées comme le bringelier marron (*Solanum auriculatum* Aiton) servent de réservoir de multiplication (Quilici & Brévault, 1999).

- *Bactrocera (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett) ou mouche du melon.

B. cucurbitae est présente en Asie, en Nouvelle Guinée et dans les îles voisines de l'océan Pacifique. Elle a été introduite ensuite en Afrique (Egypte, Kenya, Tanzanie) et dans l'océan Indien occidental (Maurice, Réunion) (Vayssières & Coubès, 1999).

L'adulte (Photos 4 a et b) est reconnaissable à sa couleur orangée et à ses ailes aux taches noires caractéristiques (Vayssières & Coubès, 1999).

La mouche du melon attaque principalement les Cucurbitaceae dont le melon (*Cucumis melo* L.). On la retrouve aussi sur des Cucurbitaceae sauvages comme *Cucumis anguria* L. (Vayssières & Coubès, 1999).

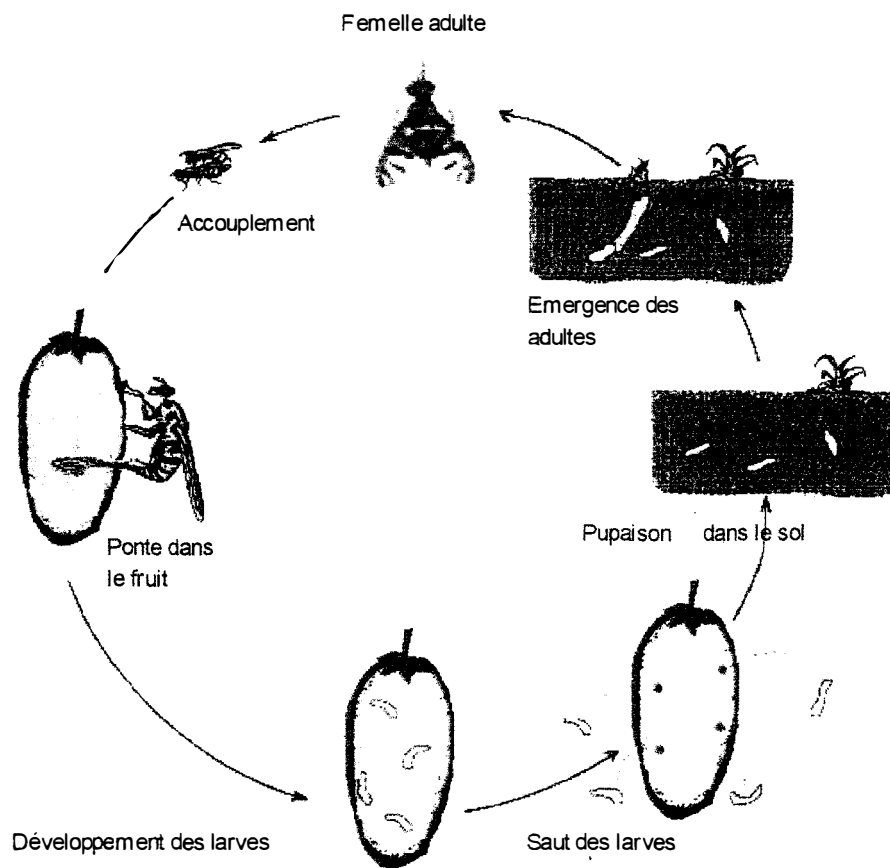
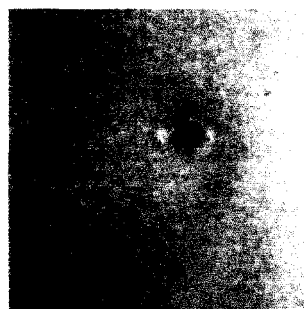


Figure 4. Cycle de développement des mouches des fruits (Brévault, 1999).



Photos 5. a) Femelle de *Neoceratitis cyanescens*



b) Piqûre de mouche des fruits sur granadille



c) Dégâts sur tomates (Phs. A. Franck).

2.3 BIOLOGIE ET DEGATS

Au cours de sa vie, l'adulte aura à répondre à deux motivations : l'alimentation et la reproduction. La prise alimentaire permet d'assurer une bonne reproduction (Williamson, 1989). Le cycle de développement des Tephritidae est résumé sur la figure 4.

Après s'être accouplée, la femelle insère ses œufs au moyen d'une tarière dans le tissu des fruits hôtes, à quelques millimètres de profondeur (White & Elson-Harris, 1992).

Les œufs donnent naissance à des larves de type asticot qui consomment la pulpe du fruit (Etienne, 1982). Les bactéries présentes à la surface des fruits constituent en outre une bonne source de protéines (White & Elson-Harris, 1992).

A la fin du troisième stade larvaire, la larve quitte le fruit et tombe au sol. En fin de développement larvaire, son tégument se durcit pour former une puppe. Ce stade a une durée d'une à deux semaines selon les conditions climatiques. Après l'émergence des adultes, quelques jours à une semaine sont ensuite nécessaires pour permettre la maturation sexuelle (Christenson & Foote, 1960).

Les piqûres (piqûres de ponte, alimentaire ou probatoire) sont à l'origine des dégâts sur les fruits (Photos 5). Elles entraînent la détérioration du fruit puis sa chute et le rendent impropre à la consommation. Au départ, la piqûre se traduit par une décoloration autour du point d'impact, témoignant de l'entrée de divers pathogènes (champignons ou bactéries) par la blessure. Dans le cas d'une piqûre de ponte, le fruit abrite une population larvaire qui se développe rapidement au détriment de sa pulpe. Une fois le fruit au sol, dans la plupart des cas, une faune secondaire constituée essentiellement de Drosophilidae et de Nitidulidae achève généralement de le faire pourrir et disparaître (Etienne, 1982).

2.4 IMPORTANCE ECONOMIQUE

Les dégâts sont d'autant plus importants que les espèces de Tephritidae tropicales sont le plus souvent polyphages et que, sous un tel climat, la fructification des nombreuses espèces fruitières s'échelonne sur toute l'année et assure le maintien et le renouvellement continu des populations de mouches (Etienne, 1982). Les problèmes engendrés par ces ravageurs ont commencé à se faire ressentir de façon importante à la Réunion dès 1960. Une étude préliminaire (Bunge-Vivier, 1993) a permis d'estimer les dégâts de *C. rosa* et *C. capitata* en vergers de manguiers, d'agrumes et de pêchers, cultures en expansion à la Réunion, et d'évaluer le coût de la lutte contre ces ravageurs. Ainsi, l'impact incluant le coût de la lutte et les pertes de récoltes qui subsistent malgré celle-ci avoisinerait 6 millions de francs par an.

3 LES METHODES DE LUTTE CONTRE LES TEPHRITIDAE

Nous sommes entrés depuis les années 70 dans l'ère de la lutte intégrée contre les insectes ravageurs dont la méthodologie est basée sur une bonne connaissance des espèces et des populations. Ces méthodes de lutte permettent une réduction des volumes employés et des quantités d'insecticides répandus, un gain de temps, un moindre coût ainsi qu'un moindre impact sur la faune auxiliaire.

Les mouches des fruits ont des attributs biologiques, économiques et sociaux qui déterminent les méthodes de lutte à employer. Les œufs et les larves se développent dans les fruits et évoluent donc dans un milieu clos protégé. Aussi, seul le stade adulte est réellement exposé aux méthodes de lutte qui s'organisent autour de quatre niveaux croissants : la prévention, la surveillance, le contrôle et l'éradication.

Nous donnerons ici une liste non exhaustive de stratégies de lutte non dommageables pour l'environnement contre les Tephritidae d'importance économique.

3.1 LUTTE PREVENTIVE

Afin de limiter les nouvelles infestations, des mesures de prévention peuvent être appliquées comme l'interdiction de toute importation de fruits originaires de régions infestées (White & Elson-Harris, 1992). De plus, certaines pratiques culturales comme la taille s'avèrent être de bons moyens de prévention, voire de lutte contre les mouches des fruits (Quilici & Franck, 1999).

3.2 DETECTION

La détection des espèces exotiques est réalisée au niveau des fruits et légumes importés lorsque les mouches sont encore au stade d'œuf ou de larve (Webb *et al.*, 1988).

La détection des espèces déjà installées se fait dans les vergers au moyen de systèmes de piégeage adaptés aux adultes.

3.3 CONTROLE ET ERADICATION

La lutte vis-à-vis de la population de ravageurs peut être envisagée selon deux stratégies bien distinctes. D'une part, le contrôle qui consiste à maintenir la population au dessous d'un seuil économique de nuisibilité prédéterminé et d'autre part l'éradication qui vise à supprimer totalement la population d'une zone déterminée.

3.3.1 LUTTE CHIMIQUE CLASSIQUE

La lutte chimique classique consiste en des pulvérisations préventives d'insecticides (ex. : malathion) pendant la période de sensibilité des fruits. Cette méthode est efficace mais présente des inconvénients à la fois économiques et écologiques.

3.3.2 LUTTE RAISONNEE

Vis-à-vis des Tephritidae, cette lutte associe le piégeage sexuel, pour la surveillance des populations de mâles (cf. paragraphe 4) et des traitements par tache à l'aide d'un mélange d'attractif alimentaire et d'insecticide (Quilici, 1999). L'appât des traitements par tache attire les mouches des deux sexes qui sont tuées rapidement par l'insecticide.

Cette lutte présente l'avantage sur la lutte chimique classique d'être appliquée sur une partie seulement de la culture, et donc d'avoir un impact minimal sur les auxiliaires.

3.3.3 LUTTE BIOTECHNIQUE ET SYSTEMES DE PIEGEAGE

La lutte biotechnique peut être définie comme « l'utilisation de stimuli ou d'agents physiques / chimiques qui influencent le comportement ou le développement de l'insecte-cible » (Boller, 1983). Pour les mouches des fruits, cette lutte est orientée vers les femelles dont les piqûres sont à l'origine des dégâts sur les fruits. Dans le cadre de cette lutte, le laboratoire d'Entomologie du CIRAD-FLHOR Réunion travaille sur des attractifs de femelles via des systèmes de piégeage (cf. paragraphe 4).

3.3.4 LUTTE PAR SUPPRESSION DES MALES OU "MALE ANNIHILATION TECHNIQUE"

Ce concept est relativement ancien puisque déjà Severin & Severin (1913) l'utilisaient mais le nom de "Male Annihilation Technique" est né en 1955 avec les travaux de Steiner & Lee (1955). Cette méthode de lutte se base sur l'attraction des mâles de différentes espèces grâce à des attractifs sexuels couplés à des insecticides. Aucun essai concluant n'a été réalisé pour les *Ceratitis* spp., par contre il existe deux attractifs sexuels efficaces pour capturer les mâles de diverses *Bactrocera* spp. : le méthyl eugenol et le cue-lure. Cette méthode peut s'avérer efficace à elle seule si le protocole est bien appliqué à l'ensemble de la population (Cunningham, 1989b).

3.3.5 LUTTE AUTOCIDE OU "STERILE INSECT TECHNIQUE" (SIT)

Cette méthode a été conçue par E. F. Knipling du U. S. Department of Agriculture dans les années 30 pour maîtriser les populations de *Cochliomyia hominivorax* Coquerel (Lucilie bouchère). Dans le cas des mouches des fruits, il s'agit d'élever, de stériliser et de relâcher suffisamment de mâles stériles compétitifs pour inonder la population sauvage sur une large zone géographique et obtenir un ratio suffisant de mâles stériles pour influencer le potentiel reproductif de la population-cible. Si l'éradication est l'objectif, la population-cible doit être suffisamment isolée pour qu'une réinvasion ne puisse avoir lieu depuis d'autres zones (Gilmore, 1989). Le perfectionnement de cette méthode devrait permettre de l'utiliser comme outil de contrôle des populations de Tephritidae (Gilmore, 1989). D'ores et déjà, cette méthode semble très efficace pour diminuer les populations de *C. capitata*. Plusieurs usines, notamment au Guatemala ou au Mexique, produisent en masse des mâles stériles de cette espèce.

3.3.6 LUTTE BIOLOGIQUE

Cette technique de lutte consiste à utiliser des insectes utiles, et notamment des hyménoptères parasitoïdes qui attaquent les Tephritidae aux stades pré-imaginaux (œuf, larve ou pupa). Insuffisante pour la protection directe des vergers, l'objectif de cette méthode de lutte est de réduire les populations dans les zones de plantes-hôtes réservoirs.

3.3.7 DESINFESTATION POST RECOLTE

Les principales méthodes disponibles sont (White & Elson-Harris, 1992) :

- La fumigation, généralement avec le bromure de méthyle.
- Des traitements thermiques soit avec de l'eau ou de la vapeur chaude, soit par le froid.
- L'irradiation des fruits frais.



Photo 6. Piège MacPhail (Ph. A. Franck).



Photo 7. Piège en plastique MacPhail (Ph. A. Franck).

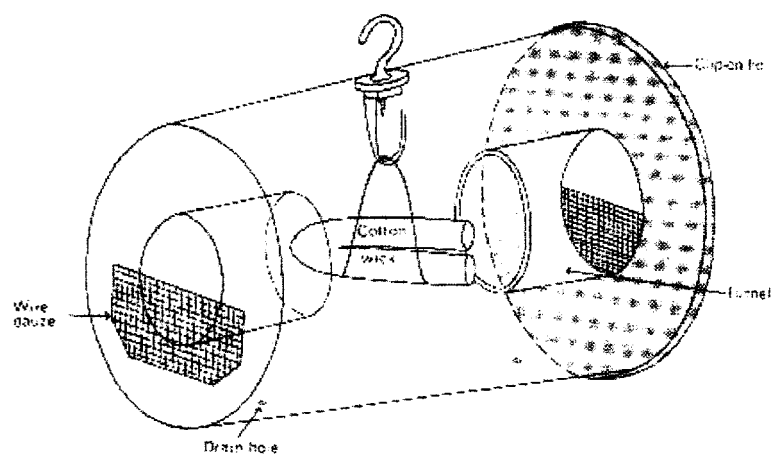


Figure 5. Piège Steiner (White & Helson-Harris, 1992).



Photo 8. Piège "Addis-CIRAD" (Ph. CIRAD).

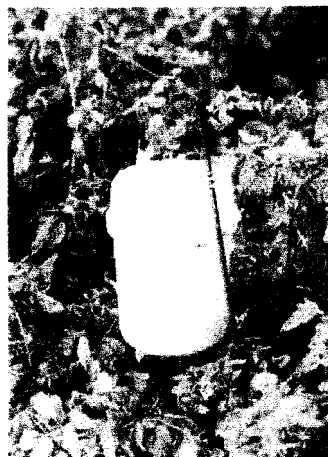


Photo 9. Piège Tephri-Trap (Ph. CIRAD).

4 LES SYSTEMES DE PIEGEAGE

La forte réponse des mouches des fruits à certains stimuli visuels et olfactifs favorise l'utilisation de pièges. Ce sont des structures de forme et de couleur spécifiques associées à une émission de composés volatils attractifs. Les mouches sont alors tuées soit par la présence d'un insecticide ou d'un encart englué, soit par noyade. Toutefois, en plus d'être attractif, le système se doit d'être spécifique pour assurer une bonne surveillance voire une lutte efficace. En effet, l'attraction d'insectes non-cibles diminue l'efficacité du piège et peut contribuer à détruire la faune auxiliaire bénéfique à l'équilibre écologique. Pour répondre à ce critère, le choix du couple piège / attractif est important car chacun influence les captures du système de piégeage. Du point de vue de la lutte, les objectifs à atteindre sont la surveillance et le contrôle.

4.1 LES PIEGES

Le piégeage des adultes de mouches est à la base des programmes de détection. De nombreux modèles de pièges ont été élaborés et il serait vain de vouloir de tous les répertorier. (Cunningham, 1989c) propose un classement en 4 catégories.

4.1.1 PIEGE MACPHAIL

Le piège initialement créé par MacPhail (1937) (Photo 6) est un piège en verre transparent qui a une forme de cloche invaginée pourvue d'un réservoir. Les mouches volent à travers l'ouverture à la base du piège en réponse à l'appât liquide qui est au fond du piège. Une fois à l'intérieur, elles ne peuvent plus ressortir et se noient dans le liquide. Ce piège, qui est le mieux adapté à l'emploi des appâts protéiques liquides, offre l'avantage d'attirer aussi bien les mâles que les femelles. Cependant ce piège est fragile, encombrant et peu ergonomique (Heath *et al.*, 1995). A partir de ce modèle de nombreuses variantes ont été réalisées dont le Dome Trap (Agrisense, UK) ou le Plastic MacPhail Trap (Multilure, USA) (Photo 7).

4.1.2 PIÈGE À SEC STEINER

Le premier piège à sec a été inventé par Steiner (1957) (Figure 5) grâce aux progrès effectués sur les attractifs sexuels pour mâles (cf paragraphe 4.2.2). L'attractif sexuel, disposé sur une mèche de coton de quelques millimètres, reste efficace pendant des semaines. Cependant, l'ajout d'un insecticide est impératif pour tuer d'une part les mouches attirées et d'autre part les fourmis qui pourraient emporter les mouches mortes. Sur le même principe, David Nadel a élaboré un piège qui a l'avantage d'être moins cher et plus ergonomique, mais qui est aussi moins performant (Nakagawa *et al.*, 1971).

On peut retrouver des variantes de ce type de piège avec le piège "Addis-CIRAD" (Quilici, 1993) (Photo 8) ou encore le Tephri Trap (Sorigar, Madrid, Espagne) (Photo 9) hybride entre les pièges MacPhail et Steiner.

Les pièges à sec sont préférés aux pièges liquides grâce à une meilleure ergonomie (Jang & Douglas, 1996).

4.1.3 PIEGES ENGLUES

Le piège Frick (1952) est l'un des premiers pièges englués à avoir été utilisé pour les Tephritidae. Le piège conçu par R. S. Jackson, testé par Harris *et al.* (1971), est devenu le standard dans de nombreux pays pour la surveillance de la mouche méditerranéenne des fruits. Ce piège, bon marché et efficace, consiste en un tétraèdre cartonné pourvu d'un plancher collant amovible. Ce système voit son efficacité diminuer dans le temps à cause de l'accumulation d'insectes sur l'encart englué. A la Réunion, les conditions sont telles que le piège "Addis-CIRAD" est bien plus efficace que le Jackson (S. Quilici & A. Franck, com. pers.).

4.1.4 PIEGES VISUELS

Bien que l'attraction par des stimuli visuels ait généralement une action à courte distance comparée à celle des attractifs olfactifs, elle a l'avantage d'avoir un effet localisé et est moins influencée par l'environnement. De plus, les deux sexes peuvent être attirés par la couleur et la forme des pièges. *C. capitata* et *Bactrocera (Dacus) oleae* sont fortement attirées par le jaune fluorescent qui semble représenter des feuilles brillantes. En ce qui concerne la forme des pièges, *C. capitata* semble préférentiellement se diriger vers une silhouette sphérique (Economopoulos, 1989). Les recherches effectuées sur les stimuli visuels ont permis d'améliorer les différents types de pièges. Cependant on ne peut pas parler de piège strictement visuel. En effet, l'attraction des mouches des fruits repose aussi bien sur des critères visuels qu'olfactifs. En combinaison, ces deux facteurs accroissent l'efficacité ainsi que la sélectivité des systèmes de piégeage (IAEA, 1999).

Aussi, après avoir passé en revue les pièges nous intéresserons-nous à leur contenu : les attractifs, et les outils de piégeage (insecticide, encart englué et mouillant).

4.2 LES ATTRACTIFS

Rachel Carson (Carson, 1962) décrit les attractifs comme étant "une approche nouvelle, imaginative et créative du problème du partage de notre planète avec d'autres créatures". De manière plus scientifique, les attractifs sont définis par Dethier *et al.* (1960) comme "des produits chimiques qui obligent les insectes à faire des mouvements orientés vers la source" (Matsumoto *et al.*, 1985). Les attractifs olfactifs sont à la base des systèmes de piégeage. En effet, les insectes se servent d'attractifs pour se réfugier, s'accoupler, pondre ou se nourrir (Matsumoto *et al.*, 1985). Ce sont des molécules volatiles d'origine naturelle ou synthétique. Leur nature chimique va de la molécule simple au composé complexe. Jang & Douglas (1996) donnent un aperçu des attractifs utilisés contre les Tephritidae.

4.2.1 KAIROMONES ET ALLOMONES DES PLANTES

Ces molécules peuvent provenir aussi bien de plantes-hôtes que de plantes non-hôtes (Metcalf & Metcalf, 1992). Il existe deux classes de composés volatils. La première est constituée d'éliciteurs agissant directement sur le comportement des mouches. La deuxième classe intervient indirectement en modulant l'action des molécules de première classe.

4.2.1.1 Attractifs des plantes non-hôtes

Les recherches sur les extraits botaniques ont mis en évidence l'existence de molécules attirant soit les deux sexes soit un seul sexe, dont voici quelques exemples :

- Plusieurs isomères du (E)-nonenyl acetate attirent les femelles de *B. cucurbitae*.
- Des composés issus de l'huile de racine de *Acorus calamus* L. (trimethoxybenzaldehydes et acoragermacrone) (Jacobson *et al.*, 1976) , ainsi que l'heptanal et l'octanal présents dans tous les fruits (Guerin *et al.*, 1983) attirent les mâles et femelles de *C. capitata* et *B. cucurbitae*.

Les attractifs qui influencent les deux sexes peuvent servir à localiser des points de "rendez-vous" et ainsi améliorer le succès de l'accouplement sur les plantes non-hôtes. Il existe une grande similitude entre les attractifs émis par les plantes-hôtes et non-hôtes.

4.2.1.2 Attractifs des plantes hôtes

Des travaux menés à la Réunion, ont montré la forte attraction des femelles de *N. cyanescens* ou *C. capitata* pour des odeurs de plantes (Brévault, 1999).

Un attractif constitué d'un mélange de 6 esters a été développé pour *R. pomonella* (Fein *et al.*, 1982). Présent dans les pomme, il attire les deux sexes de *R. pomonella*.

4.2.2 PHEROMONES

Chez les Tephritidae, dans la majorité des cas, ce sont les mâles qui produisent ces composés. Les chercheurs ont des opinions différentes quant à la nature et au rôle des phéromones. Chuman *et al.* (1987) ne dénombre qu'un seul composant par phéromone alors que Jang *et al.* (1989) plus de 50. Ainsi faut-il encore attendre de nouvelles avancées concernant ces attractifs avant de pouvoir les intégrer efficacement dans les systèmes de piégeage.

4.2.3 PARAPHEROMONES

Ce terme désigne une classe d'attractifs dont on connaît encore mal les relations avec le cycle de vie des Tephritidae (Cunningham, 1989a). A cause de leur grande capacité à attirer les mâles, ces substances sont assimilées à des attractifs sexuels dont voici les 3 principaux :

- Le méthyl-eugenol est le plus puissant des attractifs sexuels et est très utile pour le contrôle de certaines *Bactrocera* spp. (Drew & Hooper, 1981).
- Le cue-lure, et ses analogues apparentés aux cétones de framboisiers, est un attractif synthétique de certaines *Bactrocera* spp..
- Le trimedlure est un attractif synthétique plus efficace sur *C. capitata* que ses deux prédécesseurs, le siglure et le medlure (Beroza *et al.*, 1961).

Des études ont été menées sur le méthyl eugenol. Dernièrement DeMilo *et al.* (1994) ont retesté 889 composés expérimentés au préalable par Beroza & Green (1963) et montré que seuls 3 de ces produits seraient susceptible de remplacer le méthyl-eugenol. En ce qui concerne *C. capitata*, les récentes expérimentations ont suivi deux voies. D'une part, Flath *et al.* (1994) ont identifié des composés biologiquement actifs extraits de l'huile de graine d'angélique : l'alpha-copaene et l'alpha-yanglene. D'autre part, Cunningham (1989a) s'est penché sur la biosynthèse et l'évaluation d'analogues synthétiques du trimedlure dont l'alpha-copaene, qui est 2 à 5 fois plus attractif que le trimedlure mais trop onéreux à synthétiser.

4.2.4 ATTRACTIFS ALIMENTAIRES

La diversité des types de nourritures et des odeurs potentielles influençant le comportement des Tephritidae est phénoménale. Ces influences sont fonction de l'état physiologique (âge, période d'accouplement, satiété) des mouches et de leur environnement. Dans le cadre des systèmes de piégeage, l'appât doit avoir une concentration ainsi qu'un pH optimal pour maximiser les captures.

L'efficacité des attractifs alimentaires est basée sur le fait que les femelles ont besoin de protéines pour atteindre leur maturité sexuelle et assurer un bon développement des œufs.

Historiquement, les premiers attractifs identifiés étaient de type alimentaire, comme le sucre fermenté (MacPhail, 1937) ou les protéines (Steiner, 1952). Ils ont été utilisés aussi bien pour leur faible coût que pour leur efficacité. Le Nulure (Miller Chemical & Fertilizer, Hanover, Pa.), après 50 ans d'existence, reste utilisé pour la surveillance et surtout le contrôle de nombreuses espèces de Tephritidae; il s'agit d'un hydrolysât de gluten de maïs sous forme soluble.

Dans les pièges MacPhail, le Nulure est accompagné de Borax (sodium borate) qui permet de retarder la dégradation et d'augmenter le pH (au moins 8.5) de l'appât protéique. Bateman & Morton (1981) ont rapporté que l'augmentation de pH des mélanges d'hydrolysâts de protéines de levures standards (NBS) augmente l'attractivité des appâts envers *C. capitata*. Ils associent cette augmentation au relargage d'ammoniac dû à l'augmentation du pH de la solution. Cependant, l'ammoniac seul est inefficace ; il constituerait le principal stimulateur olfactif mais n'a pas d'effet phagostimulant (Bateman & Morton, 1981). Des recherches sur les composés volatils ont permis de répertorier 36 composés dont des acides aldéhydiques dus à la dégradation des acides aminés, des substances à base de sulfure, des furannes, des acides gras à courtes chaînes et des esters d'acide levulinique (Bateman & Morton, 1981). Flath *et al.* (1989) ont signalé la présence à pH basique d'une classe dominante de composés, les pyrazines, que l'on retrouve dans les phéromones des Tephritidae et également dans les bactéries (Enterobacteriaceae), une autre source de nourriture pour les mouches.

Cependant les systèmes de piégeage à appât liquide sont d'une part peu stables et délicats dans leur maniement et d'autre part ont une faible spécificité. Aussi a-t-on développé des attractifs alimentaires synthétiques dans le but de pallier ces inconvénients (Heath *et al.*, 1995).

En 1996 on a découvert un composé chimique, la triméthylamine, qui est l'un des constituants de la phéromone des mâles de *C. capitata*. Couplée à l'ammonium acétate et à la putrescine qui sont deux attractifs alimentaires, l'ensemble émet des composés volatils qui rappellent d'une part l'odeur des appâts protéiques et d'autre part une odeur de végétal attirant les femelles de *C. capitata* (Gazit *et al.*, 1998). Cet attractif, nommé "3lures"® (BioLure, Consep, Bend, USA), a les avantages suivants (IAEA, 1999):

- Une spécificité de capture : moins d'insectes non-cibles que les appâts protéiques, moins de mâles stériles et plus de femelles que le trimedlure.
- Une durée de vie de 6 à 8 semaines contre 1 semaine pour les appâts protéiques.
- Dans un piège plastique MacPhail, il capture 2,2 fois plus de *C. capitata* que les appâts protéiques.
- Lorsque la densité de *C. capitata* est **très faible**, il capture 4,1 fois plus de mouches que les appâts protéiques.
- Lorsque la densité de *C. capitata* est **faible**, il détecte la présence de mouches sauvages mieux que le trimedlure.

Cette découverte ouvre de nouvelles possibilités en matière de lutte autocide. En effet, la sélectivité de cet attractif envers les femelles est un atout majeur dans la mise au point des lâchers de mâles stériles et permettra d'améliorer l'efficacité de cette méthode de lutte par la suppression des femelles tout en laissant intacte la population de mâles stériles. Ainsi, cette technique peut fournir un nouveau système amélioré de détection, d'étude et éventuellement de piégeage de masse des populations de *C. capitata*.

Wakabayashi & Cunningham (1991) ont testé sur *B. cucurbitae* un mélange de 4 attractifs synthétiques (ammoniaque, acide linoléique, putrescine et pyrrolidine). Cet appât s'est avéré être aussi efficace que le Nulure. De plus, l'ammonium bicarbonate semble être un composant important dans le mélange d'attractifs testé sur *B. cucurbitae*.

Pour cette espèce, les mélanges d'hydrolysats de protéines et de mélasses selon un rapport 9 : 1 ont un meilleur pouvoir attractif que le NuLure seul (Liu & Chen, 1995).

4.3 LES OUTILS DE PIEGEAGE

4.3.1 INSECTICIDES

Le choix d'un insecticide relève d'un bon équilibre entre toxicité et répulsivité. En effet, l'insecticide à de fortes concentrations peut avoir une action répulsive. Cependant, si la toxicité est perdue avant que l'attraction ne soit terminée, l'objectif recherché n'est plus atteint puisque les mouches sont attirées sans être tuées.

Après la deuxième guerre mondiale, sont apparus les insecticides organiques dont le malathion, largement utilisé dans les traitements par tâches, ainsi que le dichlorvos souvent utilisé sous forme de plaquette dans les pièges à sec. Peu d'études ont été réalisées sur ce thème, Nakagawa *et al.* (1971) ont travaillé sur le dichlorvos qui est un insecticide volatil avec toutefois une bonne rémanence (8 semaines). Ces auteurs ont montré que la taille des plaquettes de dichlorvos n'influe pas sur l'efficacité du piège et qu'on observait pas de différence entre des barrettes à 9% et à 20% en teneur de dichlorvos.

4.3.2 ENCART ENGLUE

A la place d'un insecticide, les pièges à sec peuvent contenir un encart englué qui a l'inconvénient de voir son efficacité diminuer dans le temps à cause de l'accumulation d'insectes.

4.3.3 MOUILLANTS

Les pièges liquides qui ne contiennent pas d'insecticide ou d'encart englué sont pourvus de mouillants tels que le Triton® ou le propylène glycol. Ces produits facilitent la noyade de l'insecte prisonnier du piège.

4.4 LE POSITIONNEMENT DES PIEGES

Pour maximiser la probabilité de détection, le piège doit être correctement positionné. Le protocole de la FAO / IAEA (2000) préconise d'accrocher le piège dans les 2/3 supérieurs de la canopée. Le piège doit être dans un endroit assez aéré où aucune partie de la canopée ne vient le toucher. Aucun piège ne doit être placé en limite de verger, dans des sites de fortes densités de population, etc. De plus, les pièges doivent être éloignés de 25 à 50 m les uns des autres et déployés selon une grille prédéfinie.

5 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

La Réunion rassemble différentes conditions favorables au développement et au maintien des populations de Tephritidae (climat tropical humide, succession de plantes-hôtes), ce qui explique la difficulté de contrôler ou d'éradiquer ces ravageurs et donc leur importance économique.

Dans ce cadre, le CIRAD-FLHOR Réunion participe à un programme international de la FAO-IAEA : "Development of Improved Attractants and their Integration into Fruit Fly SIT (Sterile Insect Technique) Management Programmes" (FAO / IAEA, 2000).

Une estimation efficace de la population de Tephritidae est indispensable pour le succès de toute opération de contrôle de ces insectes ravageurs. Ceci n'est envisageable qu'avec la mise en place de meilleurs outils de piégeage. Ce programme international permettra d'une part de fournir des standards de piégeage pour des Tephritidae d'importance économique en régions tropicales et subtropicales, et d'autre part de développer des pièges non dommageables pour l'environnement. Pour le CIRAD Réunion, l'objectif vise à définir les composantes d'une stratégie de lutte transférable aux petits producteurs et respectueuse de l'environnement, afin de permettre un développement durable du maraîchage et de l'arboriculture fruitière à la Réunion.

Cette étude vise à mettre au point des systèmes de piégeage vis-à-vis des deux sexes (et particulièrement des femelles) des mouches des fruits économiquement importantes à la Réunion dans le cadre de la lutte biotechnique via des attractifs alimentaires.



Photos 10. a) Parcelle de courgette à Bassin Plat



b) Parcelle de tomate à Bassin Plat (Phs. A. Franck).



Photos 11. a) Parcelle d'agrumes des Lianes



b) Parcelle d'agrumes des Lianes (Phs. A. Franck).).

1 AVANT-PROPOS

L'ensemble de ces essais s'inscrit dans un protocole standardisé mis au point par les différents acteurs du programme " Development of Improved Attractants and their Integration into Fruit fly SIT Management programmes" mené par l'AIEA (FAO / IAEA, 2000).

2 MATERIELS

Dans ce paragraphe, nous décrirons d'une part les parcelles où sont menés les essais et d'autre part les systèmes de piégeage à comparer.

2.1 LES PARCELLES

Le choix des parcelles retenues est basé sur 3 critères :

1. Présence de populations de mouches des fruits suffisamment abondantes.
2. Habitat uniforme.
3. Absence de traitements insecticides.

2.1.1 BASSIN PLAT

La parcelle (Photos 10 a et b) de la Station CIRAD-FLHOR de Bassin Plat est située à une altitude de 140 mètres et est exposée à un vent dominant de sud-est. Elle est bordée au nord-ouest et au sud-ouest par une haie contenant diverses espèces de plantes non-hôtes, en particulier *Leucaena leucocephala* Lam.. Au nord-est a été plantée une rangée d'*Acacia* spp. et au sud-est un verger de manguiers (*Mangifera indica* L.). De janvier à juillet se sont succédées une culture de courgette (*Cucurbita pepo* L.) puis une de tomate (*Lycopersicum esculentum* Miller) (Tableau 1).

Tableau 1 : Calendrier des essais sur la parcelle de Bassin Plat.

Chronologie	Culture
10 janvier au 05 avril 2001	Courgette
19 avril au 24 juillet 2001	Tomate

Cette parcelle est constituée de doubles rangs de billons, séparés par des espaces de 10 mètres désherbés. Pour chaque culture, on a effectué certains traitements phytosanitaires et mis en place une irrigation quotidienne programmée (Annexe 1).

2.1.2 LES LIANES

Un agriculteur des Lianes a mis à notre disposition une parcelle (Photos 11 a et b) de un hectare d'agrumes âgés d'environ 15 ans, planté à la densité moyenne de 5m x 5m. Celle-ci est composée de 3 espèces : mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco var. *zanzibar*), clémentinier (*Citrus reticulata* Blanco) et tangor, un hybride issu du croisement entre *Citrus reticulata* Blanco * *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. Elle est située à une altitude de 750 mètres et est entourée de goyavier de Chine (*Psidium cattleianum* Sabine), de canne à sucre (*Saccharum officinarum* L.) ainsi que d'autres cultures d'agrumes. Un essai a été effectué sur cette parcelle du 28 juin au 23 août 2001.

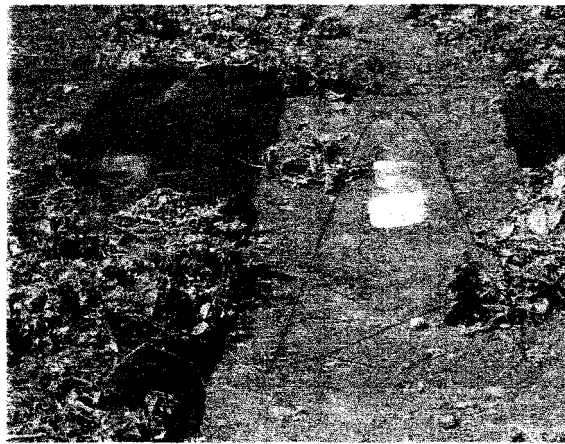


Photo 12. Piège PMT (« Plastic MacPhail Trap ») dans la parcelle de Bassin Plat (Ph. A. Franck).

	Systèmes de piégeage					
Ligne 1	A	B	C	D	E	F
Ligne 2	F	A	B	C	D	E
Ligne 3	E	F	A	B	C	D
Ligne 4	D	E	F	A	B	C
Ligne 5	C	D	E	F	A	B
Ligne 6	B	C	D	E	F	A

Figure 6. a) Plan de disposition des traitements sur la parcelle de courgette de Bassin Plat.

	Systèmes de piégeage					
Ligne 1	E	A	D	C	F	B
Ligne 2	B	D	A	F	C	E
Ligne 3	F	B	E	D	A	C
Ligne 4	C	E	B	A	D	F
Ligne 5	A	C	F	E	B	D
Ligne 6	D	F	C	B	E	A

Figure 6. b) Plan de disposition des traitements sur la parcelle de tomate de Bassin Plat.



Photo 13. Piège PMT (« Plastic MacPhail Trap ») dans la parcelle des Lianes (Ph. A. Franck).

Légende :

- \updownarrow 5 mètres
- \longleftrightarrow 5 mètres
- piège
- X arbre

Bloc 3

Bloc 2

Bloc 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	X	X	X	X								
23	X	X	X	X								
22	X	X	X	X	X	X						
21	X	X	X	X	X	X	X					
20	X	X	X	X	X	X	X					
19	X	X	X	X	X	X	X	X				
18	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
9	X	X	X	X	X	X	X	X				
8	X	X	X	X	X	X	X					
7	X	X	X	X	X	X	X	X				
6	X	X	X	X	X	X	X	X				
5	X	X	X	X	X	X	X	X				
4	X	X	X	X	X	X	X	X				
3	X	X	X		X	X	X					
2	X	X	X	X	X	X	X					
1	X	X	X	X	X	X	X					

	1	2	3	4	5	6	7
29				X	X	X	
28			X	X	X	X	
27			X	X	X	X	
26		X	X	X	X	X	
25		X	X	X	X	X	
24		X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	X	X
22	X	X	X	X	X	X	X
21	X	X	X	X	X	X	X
20	X	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	X	X
18	X	X	X	X	X	X	X
17	X	X	X	X	X	X	X
16	X	X	X	X	X	X	X
15	X	X	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X	X
13	X	X	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X	X
10	X	X	X	X	X	X	X
9	X	X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X	
4	X	X	X	X	X	X	
3	X	X	X	X	X	X	
2	X	X	X	X	X	X	
1	X	X	X	X	X	X	

Bloc 4

Bloc 5

Bloc 6

Figure 7. Plan de la parcelle d'agrumes des Lianes.

2.2 LES SYSTEMES DE PIEGEAGE

2.2.1 PIEGES ET CONTENUS

Pour tous les attractifs, on a utilisé un piège standard de type MacPhail (piège à attractif sous forme liquide). Il s'agit d'un modèle en plastique, de forme cylindrique appelé PMT ("Plastic MacPhail Trap") produit par la firme "Multilure" (USA) (Photo 12). Lors de chaque essai, on compare 6 systèmes de piégeage, avec 6 répétitions par traitements, soit un total de 36 pièges par essai. Le tableau 2 présente les deux séries de systèmes de piégeage comparées.

Tableau 2 : Systèmes de piégeage comparés dans la "série 1" et la "série 2".

"Série 1" pour les <i>Ceratitis</i> spp.	"Série 2" pour <i>Bactrocera cucurbitae</i>
A. Nulure + borax	A. Nulure + borax
B. "3-lures"® + eau + Triton®	B. ammonium bicarbonate + eau + Triton®
C. "3-lures"® + propylène glycol	C. ammonium bicarbonate + dichlorvos
D. "3-lures"® + dichlorvos	D. Levure de Torula + eau + Triton®
E. "3-lures"® + deltaméthrine	E. ammonium phosphate + eau + Triton®
F. "3-lures"® + encart englué	F. ammonium acétate + eau + Triton®

2.2.1.1 Comparaison de systèmes de piégeage pour *Ceratitis* spp.

Les systèmes de piégeage comparés dans la "série 1" sont basés sur l'emploi du "3-lures"® qui est un mélange de 3 attractifs, chacun présenté sous la forme d'un diffuseur collé à l'intérieur du piège : l'ammonium acétate, la putrescine et la triméthylamine. Le "3-lures"® est un attractif composite qui a déjà montré une grande sélectivité vis-à-vis des femelles de *Ceratitis* spp. lors d'essais effectués dans d'autres pays.

En association avec cet attractif sont comparés d'une part, deux mouillants, le Triton® et le propylène glycol ainsi que l'efficacité et la répulsivité de deux insecticides dans des pièges à secs, le dichlorvos sous forme de plaquette et la deltaméthrine sous forme de plaque.

Le Nulure, qui se présente sous forme liquide, est un hydrolysât de protéine couramment employé aux Etats-Unis qui nous servira de référence au cours de l'essai. L'ajout de borax permet une meilleure préservation des spécimens collectés en freinant la dégradation de l'hydrolysât.

2.2.1.2 Comparaison de systèmes de piégeage pour *Bactrocera cucurbitae*

Cette série vise le genre *Bactrocera* spp. au sens large et sera testée dans d'autres pays dont l'Espagne sur *B. oleae*. Les attractifs testés dans la "série 2" sont plus variés car les connaissances sur les attractifs efficaces sur les femelles de *Bactrocera* spp. sont plus restreintes que dans le cas des *Ceratitis* spp. Comme dans la série 1, le Nulure est utilisé comme référence.

Cet essai vise à comparer l'attractivité de deux diffuseurs, un d'ammonium phosphate et un d'ammonium acétate, collés à l'intérieur du piège, d'une tablette d'ammonium bicarbonate, fixée à l'intérieur du piège et enfin de la levure de Torula, souvent utilisée pour la capture des femelles de mouches des fruits. Le liquide utilisé dans les traitements B,D,E et F est de l'eau additionnée de quelques gouttes de Triton®.

Pour l'ammonium bicarbonate deux variantes sont comparées afin d'évaluer l'efficacité de capture et la répulsion du dichlorvos (traitement C) par rapport à la capacité de capture d'un piège liquide (traitement B).

2.2.1.3 Comparaison de systèmes de piégeage pour *Neoceratitis cyanescens*

On ne dispose pour l'instant d'aucun système de piégeage pour les mâles et les femelles de la mouche de la tomate. Aussi, nous nous sommes proposés de réaliser deux essais pour cette espèce : l'un avec la "série 1", l'autre avec la "série 2". Toutefois, par manque de temps, seul l'essai avec les systèmes de piégeage de la "série 2" a pu être effectué.

2.2.2 ORGANISATION DES PARCELLES

2.2.2.1 Bassin Plat

Au sein de la parcelle d'essai, les pièges sont suspendus sur des potences métalliques, de façon à ce que le piège se trouve au niveau du haut du feuillage (Photo 12).

La figure 6, a et b, présente le plan des parcelles de courgettes et de tomates. Deux modifications ont dû être faites par rapport au protocole standard : d'une part la superficie de la parcelle étant trop restreinte, la distance entre les pièges est inférieure à celle recommandée dans le protocole standard. En effet, les pièges sont placés le long des doubles rangs et espacés les uns des autres d'une dizaine de mètres au lieu des 25 mètres prévus. D'autre part, dans la disposition en carré latin des systèmes de piégeage lors de l'essai courgette, on n'a pas effectué de randomisation totale mais seulement une permutation horizontale des lignes. La randomisation totale, permettant une meilleure distribution des pièges au sein de la parcelle, a été choisie pour le second essai réalisé sur tomate.

2.2.2.2 Les Lianes

Les pièges sont placés à une hauteur voisine de 1,20 mètre à l'intérieur de la frondaison des arbres (Photo 13). Du fait de la superficie insuffisante du verger, l'espacement entre les pièges a dû être réduit à une dizaine de mètres au lieu des 25 mètres prévus initialement dans le protocole standard. A cause de sa disposition éclatée en deux parties, cette parcelle ne permet pas une disposition en ligne des traitements. Les pièges sont regroupés en blocs aléatoires (Figure 7) à l'intérieur desquels ils subissent une permutation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre après chaque relevé bihebdomadaire. La disposition des blocs a été choisie de façon à ce qu'ils soient constitués d'arbres de taille homogène, afin que la population de mouches y soit la plus uniforme possible.

Tableau 5. Fréquence de renouvellement des produits dans les systèmes de piégeage.

Produits	Fréquence de renouvellement
Ammonium phosphate	1 fois / semaine
Borax	
Nulure	
Propylène glycol	
Torula	
Triton	
Ammonium acétate	1 fois / mois
Ammonium bicarbonate	
Dichlorvos	
Delthamétrine	
Encart englué	
Triméthylamine	



Photos 14. Relevé bihebdomadaire des pièges sur la parcelle des Lianes (Ph. A. Franck).

3 METHODES

3.1 PREPARATION DES PIEGES

Les tableaux 3 et 4 ci-dessous résument la composition du contenu de chaque système de piégeage dans la "série 1" et dans la "série 2".

Tableau 3 : Contenu des pièges de la "série 1" de systèmes de piégeage.

Systèmes de piégeage de la "série 1"	
Piège	Contenu du piège
A	300 ml d'une solution de : 27 ml Nulure (9%) + 9g borax (3%) + 174 ml d'eau (88%)
B	"3-lures"® + 300 ml d'eau + 2 gouttes de Triton®
C	"3-lures"® + 25 ml de propylène glycol + 275 ml d'eau
D	"3-lures"® + 1 plaquette insecticide de dichlorvos
E	"3-lures"® + 1 plaque de deltaméthrine
F	"3-lures"® + 1 encart englué

Tableau 4 : Contenu des pièges de la "série 2" de systèmes de piégeage.

Systèmes de piégeage de la "série 2"	
Piège	Contenu du piège
A	300 ml d'une solution de : 27 ml Nulure (9%) + 9g borax (3%) + 174 ml d'eau (88%)
B	1 tablette d'ammonium bicarbonate + 300 ml d'eau + 2 gouttes de Triton®
C	1 tablette d'ammonium bicarbonate + 1 plaquette insecticide de dichlorvos
D	3 pastilles de levure de Torula + 300 ml d'eau + 2 gouttes de Triton®
E	300 ml d'une solution de : 100g d'ammonium phosphate (5%) + 285 ml d'eau (95%) + 2 gouttes de Triton®
F	1 diffuseur d'ammonium acétate + 300 ml d'eau + 2 gouttes de Triton®

Chaque produit est renouvelé selon une fréquence définie (Tableau 5). Lors de chaque relevé (Photo 14), pour les pièges contenant des produits liquides, le volume est réajusté à 300 ml avec de l'eau.

3.2 ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

3.2.1 CAPTURES

Chaque essai est conduit sur 8 semaines, selon 4 répétitions de deux semaines. Le décompte des mouches capturées est effectué régulièrement deux fois par semaine. Lors de chaque relevé, on note les informations suivantes (Annexe 2) :

- Date.
- Nombre de mâles et de femelles de mouches des fruits capturés.
- Nombre d'individus d'autres espèces (non visées par les systèmes de piégeage) capturés (autres mouches des fruits, insectes divers).
- Présence et maturité des fruits.

3.2.2 DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques quotidiennes comprennent :

- La température moyenne, minimale et maximale.
- L'humidité relative minimale et maximale.
- La quantité d'eau apportée par l'irrigation (parcelle de la Station de Bassin Plat) ou par la pluie (parcelle des Lianes).
- La vitesse et l'orientation du vent.

Ces données sont regroupées et synthétisées (Annexe 3) par tranche d'une semaine, période qui correspond à la fréquence de renouvellement des pièges liquides.

Les données météorologiques de la parcelle de la Station de Bassin Plat ont été recueillies auprès de la station météo CIRAD de la Station de Ligne Paradis, toute proche du site d'étude.

Pour la parcelle des Lianes, il n'existe pas de station météo proche du site. Les données météo mentionnées proviennent donc d'une station Météo France située à 4 kilomètres à l'est et dont l'altitude est supérieure de 300 mètres à celle de la parcelle d'étude. Aussi, nous avons effectué pour les données de température une correction positive de $0,75^{\circ}\text{C} / 100 \text{ mètres}$ soit $2,25^{\circ}\text{C}$. Par ailleurs, les données sur l'humidité relative ne sont pas disponibles sur cette station. Enfin, étant donné la différence d'altitude et de longitude et sachant que l'île de la Réunion est composée de nombreux microclimats, les données pluviométriques obtenues ne correspondent pas aux conditions réelles que l'on peut trouver sur la parcelle des Lianes et n'ont donc pas pu être utilisées dans l'analyse.

3.2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Les résultats de captures de chaque essai sont exprimés pour chaque piège et chaque sexe de Tephritidae en nombre de mouches par piège et par jour. Des analyses de variance (ANOVA) sont réalisées et suivies si nécessaire de comparaisons de moyennes pour mettre en évidence les différences significatives entre les systèmes de piégeage. Deux autres effets sont pris en compte : le sexe des insectes et les blocs (6) mis en place. Pour étudier au mieux l'effet sexe, 4 ANOVA ont été réalisées sur :

- le nombre total de captures de femelles et de mâles confondus (effets piège, bloc),
- le nombre total de captures de *Bactrocera cucurbitae* et d'autres espèces (effets piège, bloc),
- les effectifs globaux par sexe (effets sexe, piège, bloc, interactions sexe*piège, sexe*bloc, piège*bloc),
- le nombre total de captures de femelles (effet piège, effet bloc),
- le nombre total de captures de mâles (effet piège, effet bloc).

L'ANOVA, grâce au test de Fisher, permet de dire si les effets sont significatifs au seuil 5% ($\text{Pr}(F) < 0.05$) sur la capture des mouches. Si tel est le cas, on peut alors décrire les effets par une comparaison de moyennes qui permet de classer par le test de Tukey au seuil 5% ($P < 0.05$) les différentes modalités. Il faut garder en mémoire que l'analyse de variance (ANOVA) se fonde sur l'égalité de variance sur les résidus, c'est-à-dire sur les différents traitements pris en compte dans l'analyse. Cela est impossible sur les données brutes X. Il est alors nécessaire de transformer les données afin de stabiliser la variance. Le tracé des logarithmes des résidus par les logarithmes des valeurs estimées de l'ANOVA sur X permet de déterminer la transformation de Box-Cox optimale. La transformation logarithmique, $Y = \log(X+1)$, est la transformation permettant de stabiliser au mieux les variances comme il est préconisé dans le cas de comptage d'insectes.

D'autre part, des corrélations linéaires seront également recherchées entre les variables climatiques et l'intensité des captures à l'aide d'un test de Pearson au seuil 5% ($P < 0.05$).

Le logiciel utilisé pour les analyses statistiques est S-PLUS 2000 (MathSoft, 1998-1999).

Tableau 6 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de *Bactrocera cucurbitae* (mâles et femelles confondus) dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Pièges	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
A	1,09	1,54	b
B	0,74	1,12	b
C	0,19	0,29	c
D	3,26	3,30	a
E	0,08	0,23	c
F	3,89	4,82	a

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. ammonium bicarbonate + eau + Triton®
- C. ammonium bicarbonate + dichlorvos
- D. levure de Torula + eau + Triton®
- E. ammonium phosphate + eau + Triton®
- F. ammonium acétate + eau + Triton®

Tableau 7 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de *Bactrocera cucurbitae* et d'autres espèces dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Pièges	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
A	5,08	3,38	c
B	7,25	6,72	c
C	5,14	4,06	d
D	29,54	17,55	a
E	3,21	3,00	d
F	10,22	4,91	b

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. ammonium bicarbonate + eau + Triton®
- C. ammonium bicarbonate + dichlorvos
- D. levure de Torula + eau + Triton®
- E. ammonium phosphate + eau + Triton®
- F. ammonium acétate + eau + Triton®

1 RESULTATS

1.1 COMPARAISON DE SYSTEMES DE PIEGEAGE POUR *BACTROCERA CUCURBITAE*

L'ANOVA, par le test de Fisher, montre que les effets piège ($P < 0.0001$) et sexe ($P < 0.0001$) sont très hautement significatifs. De plus, l'ANOVA montre que l'effet ligne (bloc) est significatif. Toutefois, comme nous le verrons plus tard, cet effet n'a pas d'incidence sur l'analyse des données.

1.1.1 NOMBRE TOTAL DE CAPTURES DE *BACTROCERA CUCURBITAE*, MALES ET FEMELLES CONFONDUS

Les systèmes de piégeage à base de levure de *Torula* et d'ammonium acétate sont significativement plus efficaces que les autres en terme de captures totales de *B. cucurbitae* mais nous n'observons pas de différences entre ces deux attractifs (Tableau 6). L'ammonium phosphate et l'ammonium bicarbonate associés au dichlorvos donnent un nombre de captures très inférieur à celui des autres traitements (Tableau 6). La plaquette d'ammonium bicarbonate associée à une solution est significativement plus efficace que lorsqu'elle est utilisée sans solution et associée au dichlorvos (Tableau 6).

1.1.2 NOMBRE TOTAL DE CAPTURES DE *BACTROCERA CUCURBITAE* ET DES AUTRES ESPECES

Si l'on considère le nombre total d'insectes capturés (*B. cucurbitae* ainsi que tous les autres insectes), le traitement à la levure de *Torula* est celui qui enregistre le plus de captures. On observe une différence significative avec le piège à base d'ammonium acétate. La levure de *Torula* s'avère donc moins sélective que l'ammonium acétate pour les captures de *B. cucurbitae* (Tableau 7). Les autres traitements se classent de la même manière que pour la capture totales de *B. cucurbitae* (Tableau 7).

1.1.3 CAPTURES DE MALES ET DE FEMELLES DE *BACTROCERA CUCURBITAE*

Le test de Fisher, sur les données prenant en compte le sexe des *B. cucurbitae*, montre qu'il existe une différence d'effectifs capturés selon le sexe. Le test de Tukey de comparaison des moyennes confirme que les captures de femelles sont significativement supérieures à celles des mâles (Tableau 8).

Tableau 8 : Nombre moyen de captures par jour et par piège des mâles et des femelles de *Bactrocera cucurbitae* dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Sexes	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
Femelles	3,86	1,20	a
Mâles	1,54	0,52	b

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Les systèmes de piégeage à base de levure de *Torula* et d'ammonium acétate capturent significativement plus de *B. cucurbitae* que les autres aussi bien pour les femelles que pour les mâles (Tableau 9 et 10). Les autres traitements se groupent encore une fois de la même manière que précédemment (Tableau 9 et 10).

Tableau 9 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de femelles de *Bactrocera cucurbitae* dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Pièges	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
A	0,78	1,18	b
B	0,52	0,73	b
C	0,10	0,15	c
D	2,33	2,36	a
E	0,04	0,12	c
F	2,84	3,32	a

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. ammonium bicarbonate + eau + Triton®
- C. ammonium bicarbonate + dichlorvos
- D. levure de Torula + eau + Triton®
- E. ammonium phosphate + eau + Triton®
- F. ammonium acétate + eau + Triton®

Tableau 10 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de mâles de *Bactrocera cucurbitae* dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Pièges	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
A	0,31	0,50	b
B	0,22	0,60	bc
C	0,09	0,19	c
D	0,93	1,13	a
E	0,04	0,12	c
F	1,06	1,81	a

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. ammonium bicarbonate + eau + Triton®
- C. ammonium bicarbonate + dichlorvos
- D. levure de Torula + eau + Triton®
- E. ammonium phosphate + eau + Triton®
- F. ammonium acétate + eau + Triton®

1.1.4 VARIABLES CLIMATIQUES

Le tableau 11 montre qu'il existe une relation entre le nombre de captures de mâles de *B. cucurbitae* et la température ($P(r)=0.0005$). Le nombre de mâles piégés diminue quand la température augmente (corrélation négative) mais la relation linéaire n'est pas marquée sur le jeu de données étudié (Figure 8). Ce phénomène semble être propre aux mâles puisqu'aucune corrélation n'a été mise en évidence entre l'abondance des femelles et les paramètres climatiques (vent total, température, pluviométrie).

Tableau 11 : Corrélation linéaire r entre les paramètres climatiques et le nombre de capture de *Bactrocera cucurbitae* tous pièges confondus et test de Pearson ($Pr(r) < 0,05$).

Paramètres Climatiques	Mâles
Température moyenne (°C)	$Pr(r)=0.0005$ $r=-0.3473$

1.2 COMPARAISON DE SYSTEMES DE PIEGEAGE POUR *NEOCERATITIS CYANESCENS*

Le nombre moyen de mouches capturées par piège et par jour ne dépasse pas 0,08 au cours de cet essai (Tableau 12). Ces faibles résultats ne nous permettent pas de discuter et de comparer l'attractivité de cette série de systèmes de piégeage vis-à-vis de la mouche de la tomate. Il est probablement lié au manque d'efficacité des attractifs utilisés mais les conditions météorologiques ont pu également jouer un rôle. En effet, le froid, le vent et la pluie ont d'une part affaibli les plants de tomates de la parcelle, et d'autre part constitué des conditions peu propices à un bon développement des mouches.

Tableau 12 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de *Neoceratitis cyanescens* (mâles et femelles confondus) dans les différents systèmes de piégeage en parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.)

Nombre moyen de captures / piège / jour			
Pièges	Mâles	Femelles	Total
A	0,006	0,026	0,032
B	0,003	0,006	0,009
C	0,000	0,000	0,000
D	0,026	0,050	0,076
E	0,012	0,015	0,026
F	0,032	0,018	0,050

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. ammonium bicarbonate + eau + Triton®
- C. ammonium bicarbonate + dichlorvos
- D. Levure de *Torula* + eau + Triton®
- E. ammonium phosphate + eau + Triton®
- F. ammonium acétate + eau + Triton®

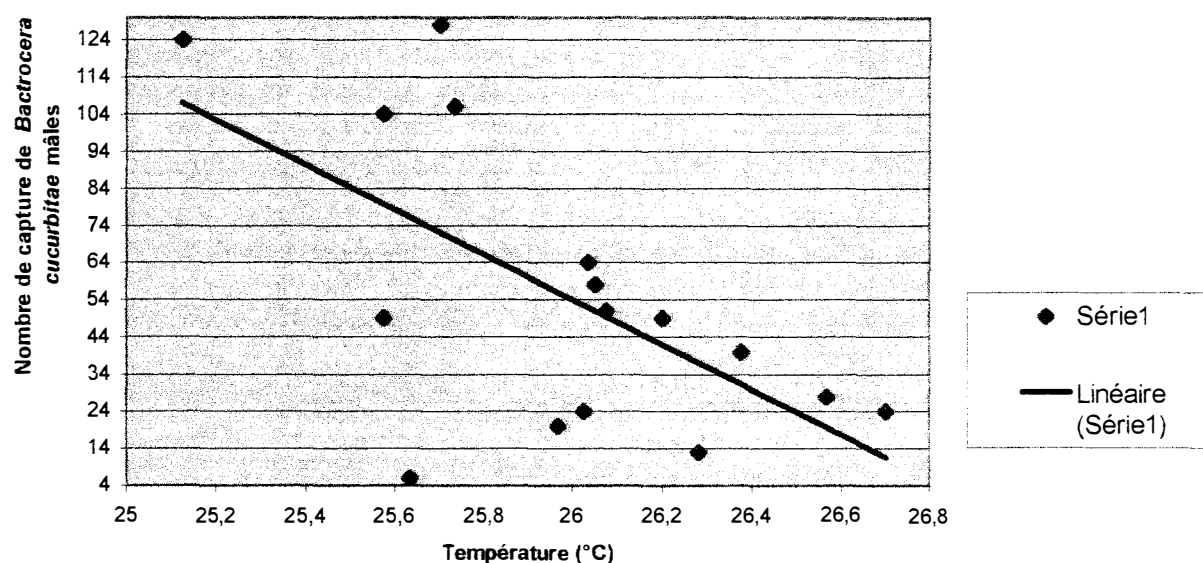


Figure 8 : Nombre de captures de *Bactrocera cucurbitae* mâles en fonction de la température sur parcelle de courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Tableau 13 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de *Ceratitis rosa* (mâles et femelles confondus) dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle d'agrumes (*Citrus reticulata* Blanco var. *zanzibar*, *Citrus reticulata* Blanco et tangor, un hybride issu du croisement entre *Citrus reticulata* Blanco * *Citrus sinensis* (L.) Osbeck).

Pièges	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
A	0,47	0,90	c
B	1,31	2,29	a
C	0,53	0,78	bc
D	0,71	1,40	bc
E	0,48	0,83	c
F	0,83	1,57	b

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

A.	Nulure + borax
B.	"3-lures"® + eau + Triton®
C.	"3-lures"® + propylène glycol
D.	"3-lures"® + dichlorvos
E.	"3-lures"® + deltaméthrine
F.	"3-lures"® + encart englué.

1.3 COMPARAISON DE SYSTEMES DE PIEGEAGE POUR *CERATITIS ROSA*

La comparaison des captures des *Ceratitis* spp. aux autres insectes n'a pas été réalisée car cette série de traitements utilise un attractif (le "3-lures"®) spécifique des *Ceratitis* spp. et notamment des femelles. Durant la totalité de cet essai, nous n'avons capturé que des *C. rosa*. La parcelle des Lianes étant à 750 mètres d'altitude, il est normal de ne capturer que cette espèce d'autant plus que le froid hivernal des Hauts de la Réunion est peu propice au développement *C. capitata*.

L'ANOVA, par le test de Fisher, montre que les effets piège ($P < 0.0001$) et sexe ($P < 0.0001$) sont très hautement significatifs.

1.3.1 CAPTURES DE *CERATITIS ROSA*, MALES ET FEMELLES CONFONDUS

On constate que le système de piégeage dont l'outil de capture est de l'eau additionnée de Triton® est significativement le plus efficace en terme de nombre de captures total (mâles et femelles confondus) (Tableaux 13). Les traitements qui comprennent un insecticide, dichlorvos ou deltaméthrine, enregistrent moins de captures, celui qui contient du dichlorvos étant un peu plus efficace (Tableau 13). Le piège contenant du Nulure est significativement moins efficace que celui qui contient du "3-lures"® muni d'une plaquette engluée (Tableau 13).

1.3.2 CAPTURES DE *CERATITIS ROSA*, MALES ET FEMELLES SEPARES

Le test de Fisher, sur les données prenant en compte le sexe des *C. rosa*, montre qu'il existe une différence d'effectifs capturés selon le sexe. Le test de Tukey de comparaison des moyennes confirme que les captures de femelles sont significativement supérieures à celles des mâles (Tableau 14).

Tableau 14 : Nombre moyen de captures par jour et par piège des mâles et des femelles de *Ceratitis rosa* dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle d'agrumes (*Citrus reticulata* Blanco var. zanzibar, *Citrus reticulata* Blanco et tangor, un hybride issu du croisement entre *Citrus reticulata* Blanco * *Citrus sinensis* (L.) Osbeck).

Sexes	Moyennes +/-	SE	Groupes statistiques
Femelles	2,61	0,39	a
Mâles	1,72	0,25	b

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Les systèmes de piégeages utilisant de l'eau avec du Triton® sont les plus efficaces pour la capture des femelles et des mâles de *C. rosa* (Tableau 15 et 16). En ce qui concerne la capture des mâles de *C. rosa*, seul le piège à base d'eau avec du Triton® est significativement plus efficace que les autres, tous les autres traitements n'étant pas significativement différents entre eux. Pour les femelles, l'analyse statistique montre des résultats similaires à ceux des captures de *C. rosa* mâles et femelles confondus.

Tableau 15 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de femelles *Ceratitis rosa* dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle d'agrumes (*Citrus reticulata* Blanco var. *zanzibar*, *Citrus reticulata* Blanco et tangor, un hybride issu du croisement entre *Citrus reticulata* Blanco * *Citrus sinensis* (L.) Osbeck).

Pièges	Moyennes	+/-	SE	Groupes statistiques
A	0,28		0,53	c
B	0,76		1,35	a
C	0,31		0,53	c
D	0,43		0,87	bc
E	0,27		0,53	c
F	0,56		1,13	b

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. "3-lures"® + eau + Triton®
- C. "3-lures"® + propylène glycol
- D. "3-lures"® + dichlorvos
- E. "3-lures"® + deltaméthrine
- F. "3-lures"® + encart englué

Tableau 16 : Nombre moyen de captures par jour et par piège de mâles de *Ceratitis rosa* dans les différents systèmes de piégeage suivi de l'erreur standard et du classement en groupes statistiques. Parcelle d'agrumes (*Citrus reticulata* Blanco var. *zanzibar*, *Citrus reticulata* Blanco et tangor, un hybride issu du croisement entre *Citrus reticulata* Blanco * *Citrus sinensis* (L.) Osbeck).

Pièges	Moyennes	+/-	SE	Groupes statistiques
A	0,19		0,41	b
B	0,55		1,00	a
C	0,22		0,33	b
D	0,29		0,57	b
E	0,21		0,35	b
F	0,27		0,49	b

Les moyennes suivies de lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes (test de Tukey, $P < 0.05$).

Légende :

- A. Nulure + borax
- B. "3-lures"® + eau + Triton®
- C. "3-lures"® + propylène glycol
- D. "3-lures"® + dichlorvos
- E. "3-lures"® + deltaméthrine
- F. "3-lures"® + encart englué

2 DISCUSSION

Les pièges contenant du Nulure permettent de juger des résultats obtenus avec les autres systèmes de piégeage au cours de ces essais. En effet, le Nulure, attractif couramment utilisé aux Etats-Unis, sert de référence dans nos essais. Dans la série des systèmes de piégeages pour les *Ceratitis* spp., le Nulure fait partie du groupe le moins performant en terme de captures de mouches de fruits (femelles et total des deux sexes). En ce qui concerne les traitements visant *B. cucurbitae*, le Nulure occupe une place moyenne. Ainsi la plus grande efficacité de piégeage de l'ensemble des produits testés par rapport au Nulure permet de constater que les recherches récentes ont permis une amélioration des systèmes de piégeage des mouches de fruits ces dernières années.

Sur l'ensemble des deux séries de systèmes de piégeage, on constate que les effectifs de femelles capturées sont supérieurs à ceux des mâles. Cette observation est encourageante pour les poursuites des recherches sur la lutte biotechnique contre les femelles de *B. cucurbitae*. En ce qui concerne *C. rosa*, cette sélectivité des pièges vis-à-vis des femelles était prévisible puisque l'attractif utilisé ("3-lures"®) est connu comme assez spécifique des femelles de *C. rosa* (IAEA, 1999).

2.1 COMPARAISON DES SYSTEMES DE PIEGEAGE POUR *BACTROCERA CUCURBITAE*

Dans les pièges visant *B. cucurbitae*, l'ammonium acétate apparaît comme étant l'attractif le plus efficace en terme de nombre total de captures (mâles et femelles) et de sélectivité. La levure de *Torula* est aussi efficace que l'ammonium acétate pour la capture des mâles et des femelles (Figure 9) mais présente une moindre sélectivité (Figure 10).

Par rapport à la levure de *Torula*, la plus grande sélectivité de l'ammonium acétate permet un meilleur respect vis-à-vis des auxiliaires et un nettoyage plus rapide du piège, et son conditionnement sous forme de diffuseur lui confère sans doute une action à plus long terme contre la mouche du melon (bien que cet aspect n'ait pas été abordé dans nos essais). Cela répond bien à l'objectif de cette étude qui est la mise en place de méthodes de lutte efficaces et peu contraignantes pour l'agriculteur. Toutefois, ce traitement est encore au stade expérimental, il nécessite encore de nombreuses améliorations avant de pouvoir être commercialisable.

Dans la série de systèmes de piégeage visant *B. cucurbitae*, on a comparé l'utilisation d'un attractif, l'ammonium bicarbonate, dans deux situations :

1. avec solution / sans dichlorvos,
2. sans solution / avec dichlorvos.

Les pièges "ammonium bicarbonate avec solution / sans dichlorvos" capturant significativement plus de mouches du melon (mâles, femelles et total), nous pouvons émettre deux hypothèses qu'il serait intéressant de tester :

1. l'augmentation de l'attractivité vis-à-vis de la mouche du melon peut être due à la solution. En effet, une humidité relative plus importante aux alentours immédiats du piège pourrait favoriser la diffusion des molécules attractives.
2. le dichlorvos a une action négative sur l'attractivité, il pourrait avoir une odeur répulsive sur les mouches et/ou pourrait perturber celle de l'attractif.

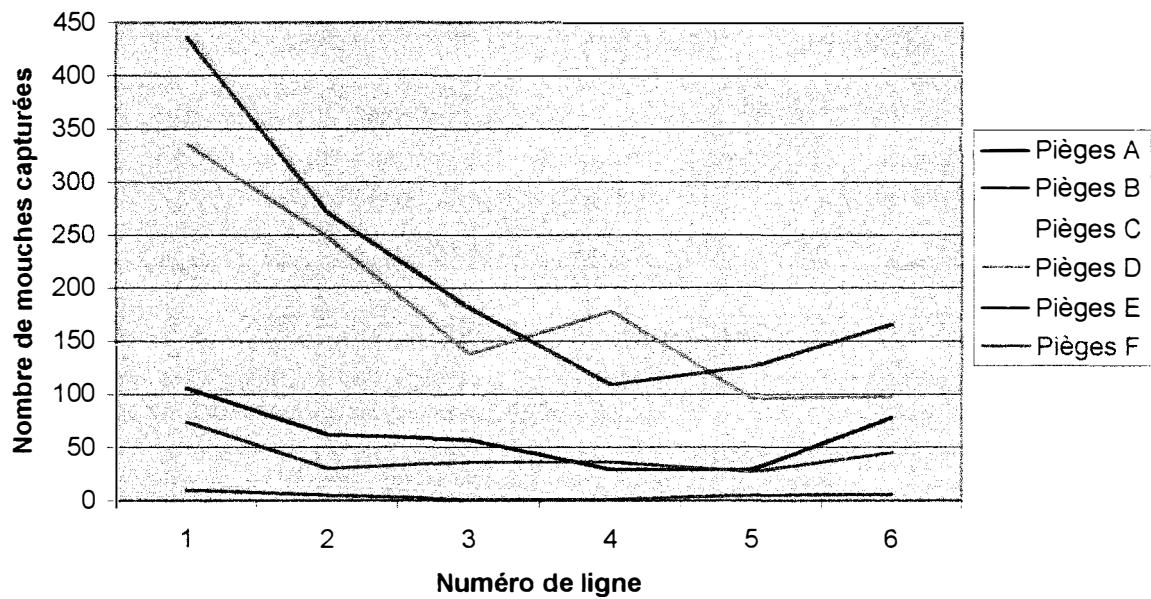


Figure 9 : Nombre total de captures de *Bactrocera cucurbitae*, mâles et femelles confondus, en fonction des lignes de la parcelle de courgettes (*Cucurbitae pepo* L.).

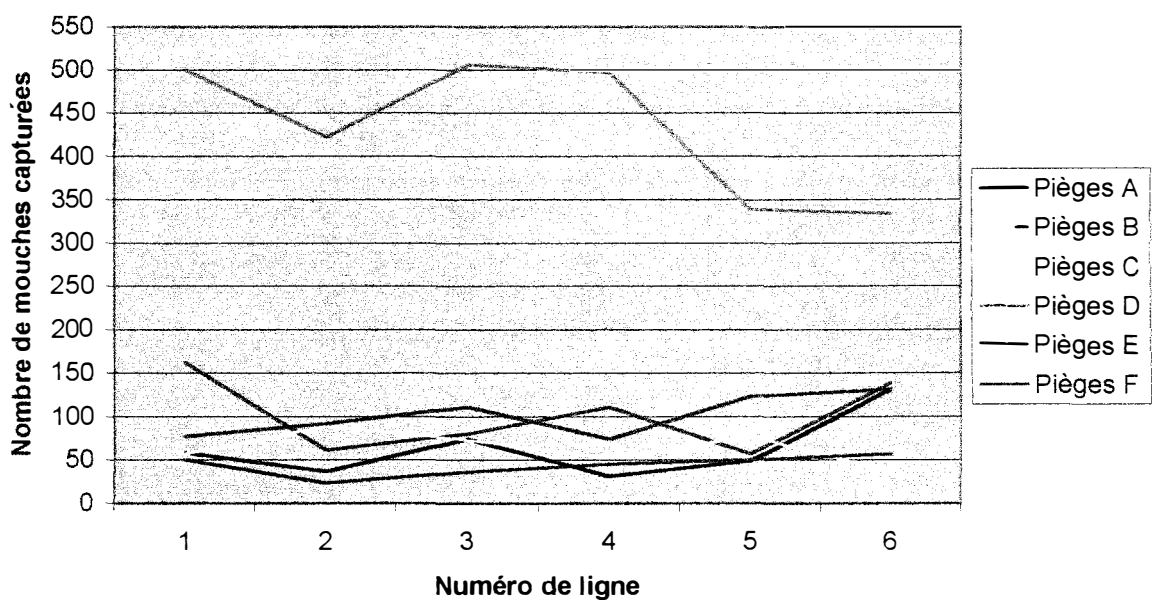


Figure 10 : Nombre total de captures de *Bactrocera cucurbitae* et des autres espèces en fonction des lignes de la parcelle de courgettes (*Cucurbitae pepo* L.).

Les facteurs météorologiques tels que la température, la pluviométrie et le vent ne semblent pas influencer le nombre de captures de femelles de *B. cucurbitae*, mais on observe que l'augmentation de température a une influence négative sur les captures des mâles de cette espèce. Ainsi, l'activité de vol des mâles pourrait être limitée par des températures trop fortes. Nakamori & Soemori (1985) ont d'ailleurs montré que les captures de mâles de *B. cucurbitae* au cue-lure sont plus importantes dans la matinée et sont fonction de l'activité de l'insecte. Il serait intéressant de pouvoir mener des études de suivi de densité de l'espèce sur des périodes plus longues, accusant des fluctuations plus importantes des paramètres climatiques.

Cet essai présente certaines limites qu'il est utile de préciser. En effet, le manque de connaissance sur les attractifs efficaces vis-à-vis des femelles de *B. cucurbitae* nous oblige à utiliser des systèmes de piégeage variés : les attractifs sont sous forme soit de tablette (ammonium bicarbonate) soit de liquide (Nulure, levure de *Torula* et ammonium phosphate) soit de diffuseur (ammonium acétate). Il est donc difficile de comparer l'efficacité de capture de l'attractif en lui-même, c'est-à-dire la ou les molécules responsables de l'attraction. Il est donc plus rigoureux de parler de système d'attraction (diffuseur + molécules) que d'attractif. Toutefois, le but de cet essai étant de comparer l'efficacité de systèmes de piégeage sous leurs formes commercialisées, en vue de déterminer le meilleur système que pourra utiliser ultérieurement l'agriculteur, la limite du protocole de l'essai ne nous a pas empêché de parvenir à l'objectif fixé. Comme le montre les figures 9 et 10, il existe un effet ligne qui semble décupler l'attractivité des pièges. Aussi, cet effet se répercute surtout sur les pièges les plus performants en terme de capture (ammonium acétate et levure de *Torula*). Cela n'a donc pas eu de conséquence sur le classement des systèmes de piégeage. Toutefois il serait intéressant de reprendre cet essai pour analyser l'effet colonne en effectuant d'une part une randomisation totale du carré latin et d'autre part en réorientant la parcelle telle que les lignes deviennent les colonnes et inversement.

En perspective à cette étude, il serait intéressant :

- de comparer le nombre de captures de mâles de *B. cucurbitae* avec l'ammonium acétate (en diffuseur) et le cue-lure qui reste la référence pour la capture des mâles *B. cucurbitae*.
- d'établir des seuils d'intervention en fonction du nombre de mouches piégées lorsqu'on maîtrisera un système de piégeage très efficace. Il conviendra pour cela de faire une évaluation des dégâts sur cultures en fonction des captures de mouches.
- de définir les systèmes attractifs les plus efficaces pour les autres espèces de Dacini présentes à La Réunion. Il faut intégrer au choix du moyen de lutte employé les interactions spécifiques, par exemple, il existe une exploitation commune des citrouilles et courgettes par *Dacus ciliatus* et *B. cucurbitae* (Vayssières, 1999). Aussi convient-il de mettre au point un moyen de lutte valable pour ces deux espèces afin de ne pas entraîner une diminution des populations d'une espèce au bénéfice de l'autre par absence de compétition par exemple. Dans notre étude quelques captures de *D. ciliatus* ont été recensées mais toujours en effectifs très inférieurs à ceux de *B. cucurbitae*.

2.2 COMPARAISON DES SYSTEMES DE PIEGEAGE POUR *CERATITIS ROSA*

Cet essai utilise des systèmes de piégeage plus perfectionnés et plus homogènes que ceux de l'essai portant sur *B. cucurbitae*. En effet si l'on excepte la référence Nulure, un même attractif est présent dans chacun des traitements : le "3-lures"®, qui est spécifique des *Ceratitis* spp.. Cet attractif est relativement sélectif pour *C. capitata* (IAEA, 1999) mais aussi pour d'autres espèces du genre *Ceratitis*, dont *C. rosa*.

En ce qui concerne *C. rosa*, le piège utilisant l'eau avec du Triton® se montre le plus efficace en terme de nombre de captures totales (mâles, femelles et total). Cette meilleure efficacité par rapport à l'autre piège utilisant le propylène glycol comme outil de capture peut être expliquée par trois hypothèses qu'il serait intéressant de tester :

1. le propylène glycol peut avoir une action mouillante moindre que celle du Triton®. En effet, il nous est souvent arrivé lors des comptages sur le terrain de trouver dans les pièges utilisant du propylène glycol des mouches encore vivantes qui sont donc susceptibles de s'en échapper.
2. le propylène glycol a une action négative sur l'attractivité : il pourrait avoir une odeur répulsive sur les mouches et/ou perturberait celle de l'attractif. En effet, la quantité par piège de propylène glycol est de 25ml alors que celle de Triton® est de deux gouttes.
3. le propylène glycol a les propriétés d'un antigel c'est-à-dire qu'il limite l'évaporation de l'eau. Aussi, une humidité relative faible aux alentours immédiats du piège pourrait limiter la diffusion des molécules attractives.

Les pièges contenant des insecticides ont une efficacité de capture différente en fonction de la nature ou du conditionnement (diffuseur) de celui-ci. En effet, les pièges utilisant du dichlorvos ont tendance à capturer plus de *C. rosa* (femelles et total) que ceux contenant de la deltaméthrine. La capture des mâles n'est pas influencée par le type d'insecticide. Employés dans les mêmes conditions, la deltaméthrine semble donc avoir une action répulsive plus importante sur les femelles de *C. rosa* que le dichlorvos. Cet effet ne jouant que sur les femelles, on pourrait également émettre l'hypothèse que la deltaméthrine perturberait la détection de la triméthylamine, seul composé de phéromone mâle présent dans le "3-lures"®.

On constate, comme dans l'essai sur *B. cucurbitae*, une différence d'efficacité de capture entre les pièges à sec (encart englué, dichlorvos et deltaméthrine) et les pièges liquides (propylène glycol et Triton®). Le tableau 17 classe, en fonction des captures (femelles et total), les traitements en groupes significativement différents.

Tableau 17 : Analyse statistique des captures de *Ceratitis rosa* (femelles et total) dans trois systèmes de piégeage à sec et deux systèmes de piégeage liquide.

	SYSTEMES DE PIEGEAGE A SEC			SYSTEMES DE PIEGEAGE LIQUIDE	
Captures	Encart englué	Dichlorvos	Deltaméthrine	Propylène glycol	Triton®
Total	b	bc	c	bc	a
femelles	b	bc	c	c	a

Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées :

1. Le piège avec du Triton® et celui contenant un encart englué, qui sont les deux types de pièges les plus efficaces (femelles et total), se différencient surtout par la présence de liquide. En partant du principe que ces deux systèmes de piégeage n'ont pas d'odeur, on peut penser qu'une humidité relative plus élevée est un facteur favorisant la capture de *C. rosa*.
2. Le piège contenant un encart englué et celui avec du dichlorvos, qui sont les pièges à sec les plus performants, se différencient par l'odeur que dégage le dichlorvos qui semble être un facteur de répulsivité. Cependant, l'essai réalisé ne permet pas de mettre en évidence une différence significative entre ces deux traitements. Une étude sur un échantillon plus important pourrait déterminer si cette différence est significative ou non.

Les deux hypothèses précédentes ne peuvent être validées à cause l'efficacité limitée (femelles et total) des pièges contenant du propylène glycol. En effet, on ne connaît pas les raisons pour lesquelles ce traitement attire peu les adultes de *C. rosa* :

1. Facteur de mouillabilité moindre ?
2. Humidité relative limitée autour du piège ?
3. Odeur répulsive ?

Malgré cela, avec les résultats des deux types de pièges ammonium bicarbonate "avec solution / sans dichlorvos" et "sans solution / avec dichlorvos" lors de l'essai sur *B. cucurbitae*, on peut penser que l'humidité relative et la répulsivité des insecticides jouent un rôle dans la capture des mouches des fruits. Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait réaliser d'autres études afin de mieux apprécier les caractéristiques du propylène glycol et comprendre pourquoi ce mouillant a une moindre efficacité dans la capture de *C. rosa* :

1. mettre des mouches à l'intérieur de pièges liquides (eau / eau+Triton® / eau+propylène glycol) et comparer le nombres de mouches noyées,
2. comparer les pertes en eau de différents pièges liquides (eau / eau+Triton® / eau+propylène glycol),
3. mettre en évidence la réponse des mouches vis-à-vis des stimuli olfactifs en comparant différentes solutions liquides (eau / eau+Triton® / eau+propylène glycol). On pourrait à cet égard utiliser une méthodologie similaire à celle employée par Brévault (1999) qui a étudié en tunnel de vol les mécanismes intervenant dans la localisation olfactive de l'hôte par les Tephritidae.

L'essai sur *C. rosa* fait ressortir le système de piégeage "3-lures"® / Triton® comme étant le plus efficace pour la capture des adultes de *C. rosa* (mâles, femelles et total). Toutefois, par rapport aux pièges à sec, les pièges liquides ne sont pas pratiques (renouvellement et réajustement du niveau du liquide fréquent). Cela ne répond pas à l'objectif de cette étude qui est la mise en place de méthodes de lutte efficaces et peu contraignantes pour l'agriculteur. Aussi, malgré les bons résultats obtenus par le traitement utilisant le Triton®, il faut continuer les expérimentations pour mettre au point des systèmes de piégeage à sec aussi ou plus efficaces que les pièges liquides.

En perspective de cette étude, il serait intéressant :

- d'étudier l'interaction du climat avec les pièges à sec et liquides. En effet, d'autres études sur le piégeage des *Ceratitis* spp., notamment la mouche méditerranéenne des fruits, ont montré que les pièges à sec contenant du dichlorvos peuvent être aussi ou plus efficace que les pièges liquides contenant du Triton® en terme de capture de femelles de *Ceratitis* spp. (IAEA, 1999). Le choix du type de piège (liquide ou sec) peut donc dépendre du climat (température et/ou humidité).
- d'étudier l'efficacité du traitement "3-lures"® / encart englué dans un environnement où les mouches sont en nombre plus important. En effet, l'inconvénient majeur des pièges à glu est la saturation de la surface collante. Dans ce cas, on peut envisager une surface collante plus importante pour retarder la saturation du piège en mouches.

CONCLUSION

Cette étude portant sur une série de 3 comparaisons de systèmes de piégeage vis-à-vis des deux sexes (et particulièrement des femelles) de *B. cucurbitae*, de *C. rosa* et de *N. cyanescens*, trois espèces de Tephritidae économiquement importantes à l'île de la Réunion, apporte des éléments nouveaux pour l'amélioration des méthodes de lutte raisonnée et biotechnique. Certains des systèmes de piégeage testés se sont montrés sélectifs envers les femelles des mouches visées, ce qui est encourageant pour la poursuite des recherches sur la lutte biotechnique. La comparaison de systèmes de piégeage pour *B. cucurbitae* met en valeur l'ammonium acétate pour son attractivité sélective (meilleur respect vis-à-vis des auxiliaires et nettoyage plus rapide du piège) et son conditionnement sous forme de diffuseur (maniement pratique et action à plus long terme). La comparaison de systèmes de piégeage pour les *Ceratitis* spp. permet de confirmer l'efficacité et la spécificité du "3-lures"® vis-à-vis des femelles de *C. rosa*. En ce qui concerne *N. cyanescens*, les faibles captures ne nous permettent pas de discuter et de comparer l'attractivité de cette série de systèmes de piégeage.

Ces résultats confirment l'intérêt du "3-lures"® dans une perspective de lutte biotechnique contre les femelles de *Ceratitis* spp.. Cependant, compte tenu des connaissances actuelles sur les attractifs des *Ceratitis* spp., il serait intéressant d'étudier l'interaction "3-lures"® / climat (température et humidité) et ainsi définir le choix du meilleur type de piège à utiliser en fonction du climat. De plus, pour *Bactrocera cucurbitae* même si les systèmes de piégeage ne permettent pas encore en l'état d'envisager une telle lutte, les résultats de cette étude serviront dans un premier temps à optimiser de futurs essais en lutte raisonnée puis en lutte biotechnique sur cette espèce.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- Agreste. 1998.** Memento Statistique Agricole (chiffres 1997). Direction de l'Agriculture et de la Forêt du Département et de la Région Réunion.
- ANONYME. 1999.** La Réunion en chiffres (consulté le 20 juin 2001). <http://www.environnement.gouv.fr/regions/Reunion/reunchiffre.htm>.
- Bateman, M. A., and T. C. Morton. 1981.** The importance of ammonia in proteinaceous attractants for fruit flies (Family: Tephritidae). *Australian Journal of Agricultural Research* 32: 883-903.
- Beroza, M., and N. Green. 1963.** Materials tested as insect attractants, United States Department of Agriculture / ARS, Agriculture Handbook 239134.
- Beroza, M., N. Green, S. I. Gertler, L. F. Steiner, and D. H. Miyashita. 1961.** New attractants for the Mediterranean fruit fly. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 9: 361-365.
- Boller, E. F. 1983.** Biotechnical methods for the management of fruit fly populations. *In* R. Cavalloro [ed.], *Fruit flies of economic importance* 82. CEC/IOBC Int. Symp., Athens, Greece: 342-351.
- Brévault, T. 1999.** Mécanisme de localisation de l'hôte chez la mouche de la tomate. Thèse de l'Ecole Nationale supérieure Agronomique de Montpellier, France: 139p.
- Bunge-Vivier, V. 1993.** Impact économique des mouches des fruits à la Réunion et perspectives de la lutte raisonnée. Rapport de stage, C.N.E.A.R.C., E.S.A.T.-2, Montpellier: 40p.
- Carson, R. 1962.** *Silent spring*, Houghton Mifflin, Boston: 296p.
- Christenson, L. D., and R. H. Foote. 1960.** Biology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*: 171-192.
- Chuman, T., P. J. Landolt, R. R. Heath, and J. H. Tumlinson. 1987.** Isolation, identification, and synthesis of male-produced sex pheromone of papaya fruit fly, *Toxotrypana curvicauda* Gerstaecker (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology* 13: 1979-1992.
- Cunningham, R. T. 1989a.** Parapheromones. *In* A. S. Robinson and G. Hooper [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam: 221-230.
- Cunningham, R. T. 1989b.** Male annihilation. *In* A. S. Robinson and G. Hooper [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam: 345-350.
- Cunningham, R. T. 1989c.** Population detection. *In* A. S. Robinson and G. Hooper [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam: 169-173.
- Delvare, G., et H. P. Aberlenc. 1989.** Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale; clé pour la reconnaissance des familles. PRIFAS CIRAD Dépt. GERDAT, Montpellier: 302p.
- DeMilo, A. B., R. T. Cunningham, and T. P. McGovern. 1994.** Structural variants of methyl eugenol and their attractiveness to the Oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology* 87: 957-964.
- Dethier, V. G., L. B. Browne, and C. N. Smith. 1960.** The designation of chemicals in terms of the responses they elicit from insects. *Journal of Economic Entomology* 53: 134-136.

- Drew, R. A. I., and H. S. Hooper. 1981.** The responses of fruit fly species (Diptera: Tephritidae) in Australia to various attractants. *Journal of the Australian Entomological Society* 20: 201-205.
- Economopoulos, A. P. 1989.** Use of trap based on color and/or shape. *In* A. S. Robinson and G. Hooper [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam: 315-324.
- Etienne, J. 1982.** Etude systématique, faunistique et écologique des Téphritides de la Réunion, Thèse de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris: 100p.
- FAO / IAEA. 2000.** Development of Improved Attractants and Their Integration into Fruit Fly SIT Management Programmes. First research co-ordinated meeting within the FAO / IAEA co-ordinated research programme, Sao Paulo, Brazil: 46p.
- Fein, B. L., W. H. Reissig, and W. L. Roelofs. 1982.** Identification of apple volatile attractive to the apple maggot, *Rhagoletis pomonella*. *Journal of Chemical Ecology* 8: 1473-1487.
- Flath, R. A., R. T. Cunningham, T. R. Mon, and J. O. John. 1994.** Additional male Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* Wied.) attractants from angelica seed oil (*Angelica archangelica* L.). *Journal of Chemical Ecology* 20: 1969-1984.
- Flath, R. A., K. E. Matsumoto, R. G. Binder, R. T. Cunningham, and T. R. Mon. 1989.** Effect of pH on the volatiles of hydrolyzed protein insect baits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 37: 814-819.
- Frick, K. E. 1952.** Determining the emergence of the cherry fruit fly with an ammonium carbonate bait trap. *Journal of Economic Entomology* 63: 662-663.
- Gazit, Y., Y. Rössler, N. D. Epsky, and R. R. Heath. 1998.** Trapping females of mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Israel: comparaison of lures and trap type. *Journal of Economic Entomology* 91: 1355-1359.
- Gilmore, J. E. 1989.** Sterile Insect Technique (SIT). *In* A. S. Robinson and G. Hooper [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam: 353-361.
- Guerin, P. M., B. Katsoyannos, G. Delrio, U. Remund, and E. F. Boller. 1983.** Fruit fly electroantennogram and behavior responses to some generally occurring fruit volatiles. *In* R. Cavalloro [ed.], *Fruit flies economic importance* 84. Balkema, A.A., Rotterdam: 248-251.
- Harris, E. J., S. Nakagawa, and T. Urago. 1971.** Sticky traps for detection and survey of three tephritids. *Journal of Economic Entomology* 64: 62-65.
- Heath, R. R., N. D. Epsky, A. Guzman, B. D. Dueben, A. Manukian, and M. W.L. 1995.** Development of a dry plastic insect trap with food-based synthetic attractant for the Mediterranean and the Mexican fruit flies. *Journal of Economical Entomology* 88: 1307-1315.
- IAEA. 1999.** Development of female medfly attractant systems for trapping and sterility assessment, Proceeding of a final research co-ordination meeting. IAEA, Penang, Malaysia: 228p.

- Jacobson, M., I. Keiser, D. H. Miyashita, and E. J. Harris. 1976.** Indian calamus root oil: attractiveness of the constituents to Oriental fruit flies, melon flies, and Mediterranean fruit flies. *Lloydia* 39: 412-415.
- Jang, E. B., and M. L. Douglas. 1996.** Olfactory Semiochemicals of Tephritids. *In* B. A. McPherson and G. J. Steck [eds.], *Fruit fly pest, a world assessment of their biology and management*. St. Lucie Press, USA: 73-90.
- Jang, E. B., D. M. Light, R. A. Flath, J. T. Nagata, and T. R. Mon. 1989.** Electroantennogram responses of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* to identified volatile constituents from calling male. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 50: 7-19.
- Liu, Y. C., and S. K. Chen. 1995.** Development of food attractants for melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillets. *Plant Protection Bulletin (Tapei)* 37 (2): 189 -199.
- MacPhail, M. 1937.** Relation of time of day, temperature and evaporation to attractiveness of fermenting sugar solution to Mexican fruit fly. *Journal of Economic Entomology* 30: 793-799.
- MathSoft Inc 1998-1999.** S-PLUS 2000 computer program, version Professional Release 2. By MathSoft Inc, USA.
- Matsumoto, K. E., R. G. Buttery, R. A. Flath, R. Mon, and R. Teranishi. 1985.** Protein hydrolysate volatiles as insect attractants. *In* P. A. Hedin [ed.], *Bioregulators for pest control*. American Chemical Society, Washington, DC: 353-366.
- Metcalf, R. L., and E. R. Metcalf. 1992.** Fruit flies of the family tephritidae. *In* R. L. Metcalf and E. R. Metcalf [eds.], *Plant kairomones in insect ecology and control*. Chapman and Hall, New York: 109-152.
- Nakagawa, S., D. L. Chambers, T. Urago, and R. T. Cunningham. 1971.** Trap-lure combination for survey of Mediterranean fruit flies in Hawaii. *Journal of Economic Entomology* 64: 1211-1213.
- Nakomori, H., and H. Soemori. 1985.** Diurnal changes in the attraction of the melon fly, *Dacus cucurbitae* Coquillet (Diptera: Tephritidae), in different habitats. *Japanese Journal of Applied Entomology & Zoology* 29 (3): 216-222.
- Quilici, S. 1993.** Protection phytosanitaire des agrumes : les ravageurs. *In* M. Grisoni [ed.], *La Culture des Agrumes à La Réunion*. CIRAD/FLHOR, Réunion: 55-89.
- Quilici, S. 1999.** La mouche méditerranéenne des fruits ou cératite. Fiches techniques sur les ravageurs des cultures dans l'océan indien. CIRAD, La Réunion: 2p.
- Quilici, S., et A. Franck. 1999.** La mouche du Natal. Fiches techniques sur les ravageurs des cultures dans l'océan indien. CIRAD, La Réunion: 2p.
- Quilici, S., et T. Brévault. 1999.** La mouche de la tomate. Fiches techniques sur les ravageurs des cultures dans l'océan indien. CIRAD, La Réunion: 2p.
- Severin, H. P., and H. C. Severin. 1913.** A historical account on the use of kerosene to trap the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata* Wied.). *Journal of Economic Entomology* 45: 241-248.

- SPV Réunion / CIRAD Réunion. 2000.** Un nouveau ravageur important : *Bactrocera zonata*. Phytosanitairement Vôtre 8.
- Steiner, L. F. 1952.** Fruit fly control in Hawaii with poison-bait sprays containing protein hydrolysates. *Journal of Economic Entomology* 45: 838-843.
- Steiner, L. F. 1957.** Low-cost plastic fruit fly trap. *Journal of Economic Entomology* 50: 508-509.
- Steiner, L. F., and R. K. S. Lee. 1955.** Large-area test of a male annihilation method for oriental fruit fly control. *Journal of Economic Entomology* 48: 961-964.
- Vayssières, J. F., et Y. Carel. 1999.** Les Dacini (Diptera: Tephritidae) inféodés aux Cucurbitaceae à la Réunion: Gamme de plantes-hôtes et stades phénologiques préférentiels des fruits au moment de la piqûre pour des espèces cultivées. *Annales de la Société entomologique de France* 35: 197-202.
- Vayssières, J. F., et M. Coubès. 1999.** La mouche du melon, Fiches techniques sur les ravageurs des cultures dans l'océan indien. CIRAD, La Réunion: 2p.
- Wakabayashi, N., and R. T. Cunningham. 1991.** Four-component synthetic food bait for attracting both sexes of the melon fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology* 84: 1672-1676.
- Webb, J. C., D. C. Slaughter, and C. A. Litzkow. 1988.** Accoustical systems to detect larvae in infested comodities. *Florida Entomologist* 71: 492-504.
- White, I. M., and M. M. Elson-Harris. 1992.** Fruit flies of economic significance : Their identification and bionomics. C A B International, UK: 601p.
- Williamson, D. L. 1989.** Oogenesis & spermatogenesis. *In* A. S. Robinson and G. Hooper [eds.], *Fruit flies, their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam: 141-151.

ANNEXE 1

Traitements phytosanitaires

Fertilisation pour 500 m² :

* 12 36 12 <=> semis

* 20 20 20 <=> végétatif

* 12 09 34 <=> fleurs + fruits

Irrigation quotidienne : 7h45 à 8h15 et de 19h45 à 20h15

Culture de courgette					
Date	Fertilisation	Herbicide	Fongicide	Insecticide	Bactéricide
11-janv	Semis 3Kg				
16-janv			Benlate	Decis	
18-janv	Semis 2kg				
22-janv				Confidor	
25-janv	Végétatif 3.6kg				
01-févr	Végétatif 3.6kg				
05-févr		Missile 360			
07-févr				Pirimor G	
14-févr				Plenum	
14-févr			Sabithane	Plenum	
15-févr			Sabithane		
15-févr	Fleurs + fruits 3.6Kg				
01-mars			Sabithane		
09-mars	Fleurs + fruits 3.6Kg				
15-mars	Fleurs + fruits 3.6Kg				

Culture de tomate					
Date	Fertilisation	Herbicide	Fongicide	Insecticide	Bactéricide
20-avr				Vertimec	
23-avr	Fleurs + fruits 4Kg		Cryptonol		
26-avr		Prowl 400		Diazinon	
27-avr	Fleurs + fruits 4Kg				
30-avr	Fleurs + fruits 4Kg				
03-mai	Fleurs + fruits 4Kg				
07-mai				Plenum	
11-mai				Plenum	
14-mai	Fleurs + fruits 4Kg				
16-mai		Prowl 400		Vertimec	
21-mai	Végétatif 4Kg				
23-mai			Orzin		
28-mai	Végétatif 4Kg				
06-juin	Végétatif 4Kg				
12-juin	Fleurs + fruits 4Kg			Bactura	
13-juin					Cuivre
14-juin	Fleurs + fruits 4Kg				
15-juin					Cuivre
16-juin	Fleurs + fruits 4Kg				
17-juin			Ortivax		

Produits	Matière active	Maladie(s) / ravageur(s) visés	Dose de matière active / ha
Bactura	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Noctuelles des fruits	1200g
Benlate	Bénomyl	Anthraxnose	350g
Callicuivre 50	Oxychlorure de cuivre	Bactéries	20000g
Chimac diazo	Diazinon	Fourmis	2.7l
Confidor	Imidaclopride	Noctuelles défoliatrices	12.5g
Cryptonol	Oxyquinoleine	Alternaria, Botrytis, Fusarium, Pythium, Phoma	2100g
Decis	Deltaméthrine	Aleurodes, Thrips, Noctuelles défoliatrices	10g
Missile 360	Glyphosate	Herbicide systémique polyvalent	6.3l
Ortiva	Azoxystrobine	Mildiou, Oïdium	0.5l
Orzin	Chlorothalonil	Cladosporiose, Mildiou, Pourriture des fruits, Pied noir	2l
Plenum		Pucerons, Aleurodes	800g
Prowl 400	Pendiméthaline	Herbicide sélectif	16.6l
Pirimor G	Pyrimicarbe	Spécifique pucerons	750g
Vertimec	Abamectin	Acariens, Mineuses, Thrips	9g

ANNEXE 2

Feuille de captures

Date

06/08/01

Attractifs	Mouche du Natal		Autres
	<i>Ceratitits rosa</i>		
	Mâle	Femelle	
A1	0	0	
A2	0	3	
A3	0	0	
A4	0	0	
A5	0	0	
A6	3	2	
Total	3	5	
Total	8		
B1	0	2	
B2	1	3	
B3	0	0	
B4	0	0	
B5	0	2	
B6	1	1	
Total	2	8	
Total	10		
C1	0	0	
C2	0	1	
C3	0	1	
C4	1	1	
C5	1	1	
C6	1	0	
Total	3	4	
Total	7		

Attractifs	Mouche du Natal		Autres
	Ceratitis rosa		
	Mâle	Femelle	
D1	0	2	
D2	1	1	
D3	0	0	
D4	0	0	
D5	3	0	
D6	1	0	
Total	5	3	
Total		8	
E1	0	1	
E2	0	0	
E3	1	0	
E4	2	1	
E5	1	1	
E6	2	1	
Total	6	4	
Total		10	
F1	2	2	
F2	0	0	
F3	0	4	
F4	0	2	
F5	0	1	
F6	1	5	
Total	3	14	
Total		17	

ANNEXE 3

Données météorologiques

1

Comparaison de systèmes de piégeage pour *Bactrocera cucurbitae* sur parcelle de courgette
Données climatiques

Dates de l'essai : 08/02/2001 au 02/04/2001

Site : Bassin Plat

Données	Répétition 1		Répétition 2		Répétition 3		Répétition 4	
	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2
Max (°C)	31.3	32.5	32.1	31.8	32.5	31.8	30.7	31.2
Min (°C)	22.4	21.6	22.4	22.4	21.6	21.7	22	21
Moy (°C)	26	26.2	26.3	26.2	26.2	25.8	25.5	25.6
Max %RH	89.7	88.1	84.9	84.3	83	82.6	89.3	84.6
Min %RH	57.3	50.4	49	52.3	46.1	48.4	58.6	50.6
Eau (m ³ /irrig.)	1.65							
Dir. gén. vent	SE							
Vitesse vent (m/s)	1.6	1.4	1.3	1.2	1.7	1.3	1.3	1.7

Comparaison de systèmes de piégeage pour *Ceratitis* spp. sur parcelle de tomate
Données climatiques

Dates de l'essai : 29/05/01 au 24/07/01

Site : Bassin plat

Données	Répétition 1		Répétition 2		Répétition 3		Répétition 4	
	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2
Max (°C)	24.7	23.5	24.3	24.3	24.1	23.3	23.7	24.8
Min (°C)	16.7	16.2	15.9	16.6	15.9	15.6	14.9	15.5
Moy (°C)	20.5	19.2	19.6	19.8	19.2	19.4	18.4	19.4
Max %RH	87	87.3	86.1	90.6	87.1	86.9	84.9	85.7
Min %RH	60.6	57	53.7	61.1	58.3	56.7	52.3	53
Eau (m ³ /irrig.)	1.6							
Dir. gén. vent	SE							
Vitesse vent (m/s)	2.2	2.1	1.8	1.9	2.2	2.6	1.6	1.6

Comparaison des systèmes de piégeage pour les *Ceratitis* spp. sur parcelle d'agrumes
Données climatiques

Dates de l'essai : 27/06/01 au 23/08/01
Site : Les Lianes

Données	Répétition 1		Répétition 2		Répétition 3		Répétition 4	
	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2	semaine 1	semaine 2
Max (°C)	18,45	17,26	17,38	20,85	17,55	18,26	20,62	20,3
Min (°C)	9,75	8,89	7,18	8,82	8,98	10,25	8,08	7,61
Moy (°C)	14,1	13,08	12,28	14,84	13,26	14,26	14,35	13,96
Max %RH	-	-	-	-	-	-	-	-
Min %RH	-	-	-	-	-	-	-	-
Eau (m ³ /jour)	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir. gén. vent	-							
Vitesse vent (m/s)	1,56	1,19	1,31	1,34	1,76	1,96	1,7	1,4

TITRE

Mise au point de systèmes de piégeage vis-à-vis des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) économiquement importantes de l'île de la Réunion.

RESUME

A la Réunion, les mouches de fruits (Diptera : Tephritidae) constituent les principaux ravageurs des cultures fruitières et légumières. Dans le cadre de la lutte biotechnique, le laboratoire d'Entomologie du CIRAD-FLHOR Réunion travaille sur la mise au point de systèmes de piégeage vis-à-vis des deux sexes (et particulièrement des femelles) des Tephritidae importantes à la Réunion. Pour cela on compare deux séries de systèmes de piégeage, « série 1 » et « série 2 » sur trois mouches des fruits : *Ceratitis rosa* (« série 1 »), *Neoceratitis cyanescens* (« série 1 ») et *Bactrocera cucurbitae* (« série 2 »). La comparaison des systèmes de piégeage de la « série 1 » permet de confirmer l'efficacité et la spécificité du "3-lures"® vis-à-vis des femelles de *Ceratitis rosa*. En ce qui concerne *Neoceratitis cyanescens*, les faibles captures ne nous permettent pas de discuter et de comparer l'attractivité de cette série de systèmes de piégeage. La comparaison des systèmes de piégeage de la « série 2 » met en valeur l'ammonium acétate pour son attractivité sélective (respect des auxiliaires et nettoyage plus rapide du piège) envers *Bactrocera cucurbitae* et son conditionnement sous forme de diffuseur (maniement pratique et action à long terme). Du point de vue de la lutte biotechnique, ces résultats confirment les avancées qui ont été réalisées sur les *Ceratitis* spp.. De plus, pour *Bactrocera cucurbitae* même si les systèmes de piégeage ne permettent pas encore en l'état d'envisager une telle lutte, les résultats de cette étude serviront dans un premier temps à optimiser de futurs essais en lutte raisonnée puis en lutte biotechnique sur cette espèce.

MOTS CLES

Diptera, Tephritidae, mouches des fruits, *Bactrocera cucurbitae*, *Ceratitis rosa*, *Neoceratitis cyanescens*, lutte biotechnique, systèmes de piégeage.