



Photos 6.
Symptômes de la maladie du tomato yellow leaf curl ou des feuilles jaunes en cuillère sur tomate en plein champ identifiés à Saint-Gilles les Hauts en avril 2004.

La caractérisation moléculaire de l'agent pathogène, par PCR et par séquençage, a permis d'identifier la souche Israël dite recombinante du TYLCV.

prospection a été menée d'octobre à décembre 2004 dans 10 parcelles de production de bulbes d'oignon localisées dans les principales aires de culture de l'île. Le virus a été mis en évidence par ELISA dans 75 % des feuilles symptomatiques récoltées (n=221). Le virus a également été détecté par ELISA dans 27 % de bulbes testés (n=64), 15 % de semis d'oignon âgés de 45 jours (n=119). Par contre, les tests ELISA réalisés sur lots de semences (n=59) se sont montrés négatifs. L'YSV a également été mis en évidence sur d'autres espèces du genre *allium* : poireau, ail et échalotte.

I. Robène-Soustrade, M. Roux-Cuvelier

Présence des souches recombinantes et non recombinantes du Tomato yellow leaf curl (TYLCV), virus sur tomate à la Réunion

Depuis la première épidémie de TYLCV à la Réunion en 1997, une campagne de prélèvement d'échantillons foliaires présentant les symptômes typiques de nanisme, de jaunisme et d'enroulement foliaires, a été mise en place. L'objectif était d'étudier (1) la répartition géographique du virus sur l'île et (2) l'évolution moléculaire du virus depuis son introduction. Les échantillons prélevés de 1997 à 2003 ont permis d'identifier la présence

unique de la souche Mild dite non recombinante du TYLCV. En avril 2004, la présence de symptômes très sévères, plus sévères que ceux observés habituellement, de la maladie du TYLC dans une parcelle de tomate en plein champ à Saint-Gilles les Hauts suggérait l'apparition d'un variant plus sévère de la souche Mild du TYLCV ou l'introduction d'une nouvelle souche du TYLCV ou encore celle d'un nouveau bégomovirus (photos 6). La présence et l'identité du virus ont été étudiées par PCR avec deux couples d'amorces l'un amplifiant les deux-tiers du gène de la protéine de capsid (région CP) et l'autre la moitié du gène de la protéine de réplication (région Rep). La dernière région du génome du TYLCV a été utilisée pour distinguer la souche Israël dite recombinante (TYLCV-IL), de la souche mild dite non recombinante (TYLCV-Mld). L'analyse des séquences nucléotidiques virales de la région Rep, correspondant aux échantillons prélevés à Saint-Gilles-les Hauts, a permis d'identifier pour la première fois à la Réunion la présence de la souche Israël dite recombinante du TYLCV.

H. Delatte, B. Reynaud,
J.-M. Lett

DYNAMIQUE DES POPULATIONS ET COMPORTEMENT DES RAVAGEURS ET DE LEURS AUXILIAIRES

► L'aleurode *Bemisia tabaci*, vecteur de bégomovirus

Variabilité moléculaire du vecteur

L'aleurode *B. tabaci* est l'un des ravageurs des cultures les plus préoccupants, principalement par ses capacités à transmettre plus de cent espèces de bégomovirus dont le TYLCV à la Réunion. Suite à la pullulation de *B. tabaci* à la Réunion à partir de 1997, nous avons confirmé en 2000 l'introduction accidentelle du biotype B et son installation. Deux biotypes de *B. tabaci* sont maintenant présents à la Réunion : le biotype MS indigène des îles du sud de l'océan Indien et le biotype B cosmopolite et généralement invasif. La cartographie

de répartition du biotype B invasif et du biotype MS indigène à la Réunion a été établie en 2003. Le biotype B invasif est prédominant sur les espèces maraîchères et le biotype MS indigène présent plutôt sur certaines adventices (en particulier *Euphorbia heterophylla*) est prédominant uniquement dans la région Est.

Cette récente introduction du biotype B à la Réunion permet d'analyser son processus de colonisation. Les biotypes de *B. tabaci* étant indistincts morphologiquement, un jeu de huit marqueurs

microsatellites a été produit et utilisé pour mesurer la variabilité génétique des deux biotypes. L'utilisation de marqueurs combinés à une analyse de statistiques bayésiennes, a permis de différencier aisément les deux biotypes. La diversité génétique des deux biotypes est comparable, et suggère que l'introduction du biotype B n'a pas été associée à un fort goulot d'étranglement. Ainsi, plus d'une introduction du biotype B pourrait être responsable de l'invasion, qui pourrait remonter à plusieurs années. En l'espace de quelques années, le biotype introduit a atteint le même niveau de structuration géographique sur l'île que le biotype indigène. Il a colonisé toutes les régions favorables de l'île, bien qu'il n'ait totalement remplacé le biotype indigène dans aucun secteur.

Certaines populations de biotype B tendraient à être génétiquement plus proches des populations de MS, que d'autres populations de B plus isolées, ce qui suggère fortement un phénomène d'introgression. Ainsi, dans la population de biotype B de la Réunion, le sous-groupe B'' est plus proche du groupe MS que le groupe B' (Fig. 5). L'hypothèse d'un phénomène d'introgression est supportée par (1) la présence d'allèles typiques de MS retrouvés parfois à fréquence élevée dans la population B'' (2) l'existence d'une proportion plus élevée d'individus syntopiques (se retrouvant sur le même lieu que des individus MS) chez B'' comparé à B'. Néanmoins, plus de données seraient nécessaires (et peut-être plus de temps d'évolution) pour prouver la présence ou l'absence d'hybrides, et ainsi la possibilité d'intercroisement en conditions naturelles des deux biotypes. Les premiers essais de croisements en cages au laboratoire ont montré que seul le croisement dans le sens femelle B x mâle MS était fécond mais restait très rare.

Une étude dans les îles du sud-ouest de l'océan Indien est également lancée en parallèle pour connaître la diversité génétique du biotype MS tout en confirmant ou non la présence du Biotype B. Cette étude est réalisée dans le cadre du PRPV (Programme Régional de Protection des Végétaux) de la Commission de l'océan Indien (COI) ; elle est essentielle en terme d'épidémiologie d'autant que différents bégomovirus peuvent être présents dans les îles. Nous disposons maintenant d'une amorce microsatellite (MS145A/B) qui discrimine les biotypes B et MS et qui nous a donc permis une première détermination des biotypes des individus collectés. Le biotype MS est bien présent sur l'ensemble des îles échantillonnées : à Madagascar (408/408), aux Comores (46/46), et aux Seychelles (52/52) il a été le seul biotype identifié. A Mayotte, du biotype B avait été identi-

fié en 2000 mais les derniers échantillons collectés en 2004 appartiennent tous au biotype M (49/49). C'est le contraire à Maurice, où le biotype B n'avait pas été confirmé lors des premières analyses moléculaires, et où il est aujourd'hui dominant (48/53). En 2005, une étude de génétique sera menée sur ces échantillons pour mieux déterminer l'origine et la diversité du biotype MS dans les îles du sud-ouest de l'océan Indien.

H. Delatte, B. Reynaud

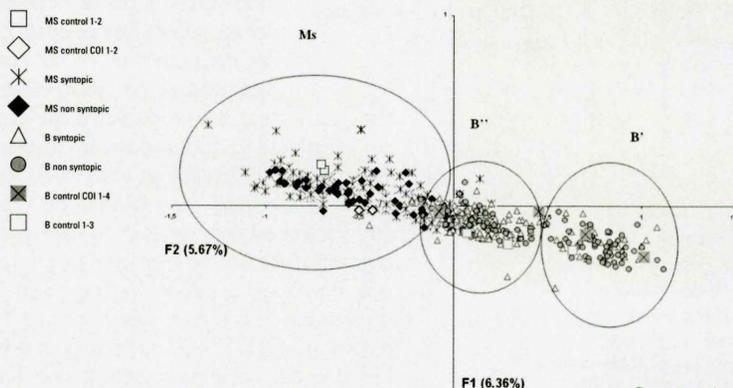


Figure 5. Répartition des génotypes de Bemisia tabaci échantillonnés à la Réunion et proportion d'allèles du biotype MS par groupe de génotype.

Modélisation de la dynamique des populations d'aleurodes

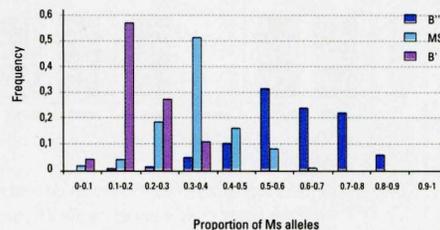
L'année 2004 correspond à la fin des essais terrain et à un approfondissement des analyses des données issues du protocole de piégeage pour étudier la relation entre la dynamique du vecteur et l'épidémiologie du virus associé (2001-2004), et du protocole d'essai sur parcelles de giraumon (2000-2001).

L'analyse des données issues des comptages sur les pièges entre 2002 et 2003 sur le site de Bassin-Martin a démarré. Le choix du modèle s'est porté sur un modèle prédictif de type modèle sur séries chronologiques. Les résultats de 2003 semblaient bons mais l'interprétation biologique difficile de certains paramètres nous a obligés à nous pencher sur de nouvelles variables fabriquées à partir des données climatiques issues de GESMET ; nous avons ainsi trouvé une forte relation entre le nombre de jours où la température moyenne est supérieure au quantile 90 % de la température moyenne sur la période étudiée et le nombre d'aleurodes capturés. Mais d'autres approches plus pertinentes sont toujours envisagées en vue d'une application en tant qu'outil d'aide à la décision.

F. Chiroleu

Figure 5A. Premier plan factoriel de l'AFC génétique. Les individus de biotypes B et MS identifiés par le logiciel Structure sont représentés avec différents symboles ; deux sous-groupes sont distingués au sein du biotype B : B' et B''.

Figure 5B. Distribution de la proportion d'allèles de type MS au sein des individus de chacun des trois groupes MS, B' et B''.



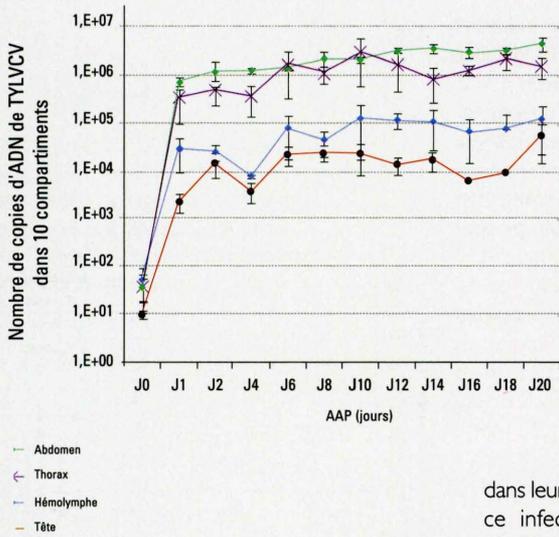


Figure 6. Cinétique d'accumulation du TYLCV-Mld[RE] dans les différents compartiments de *Bemisia tabaci* impliqués dans la transmission circulante, pendant une période d'alimentation infectieuse (AAP) de 20 jours sur tomates virosées.

Mode de transmission du TYLCV-Mld[RE] par le biotype B de *Bemisia tabaci*

La maladie des feuilles jaunes en cuillère représente la plus importante contrainte virale de la tomate à l'île de la Réunion et dans de très nombreuses régions du monde. Cette maladie peut être causée par plusieurs espèces virales (*Begomovirus*, *Geminiviridae*) dont le *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV). Les bégomovirus sont transmis selon le mode circulant par leur insecte vecteur *Bemisia tabaci*. Des résultats contrastés ont été publiés en ce qui concerne la multiplication des souches de TYLCV dans leur vecteur et la production d'une descendance infectieuse par des parents virulifères. Ainsi, Ghanim et al. (1998, *Virology*, 240, 295-303) montrent que la souche Israël recombinante du TYLCV peut être transmise à des plantes de tomates par des descendants d'une femelle infectieuse du biotype B alors que Bosco et al. (2004, *Virology*, 323, 276-283) démontrent le contraire avec la souche Mild non recombinante du TYLCV du Portugal et le biotype B. Les données actuelles suggèrent que l'interaction virus-vecteur pourrait dépendre de l'espèce et/ou de la souche de virus et du biotype de *B. tabaci*. Nos travaux ont porté sur l'étude de l'interaction entre l'isolat réunionnais du TYLCV-Mild (TYLCV-

Mld[RE]) et le biotype B de *B. tabaci*, à l'aide de la PCR conventionnelle et de la PCR quantitative avec une sonde Taqman-MGB. Au cours d'une alimentation continue sur une plante infectée par le TYLCV-Mld[RE], la charge virale dans les insectes entiers et dans des compartiments de l'aleurode testés séparément (intestin, glandes salivaires et hémolymphe), atteint très rapidement un pallier, qui varie peu pendant tout le reste de l'expérimentation (Fig. 6). Une persistance importante de la charge virale est détectée dans les aleurodes entiers transférés sur une plante non hôte du TYLCV après une alimentation infectieuse de 3 jours. Le tractus intestinal constitue le lieu de stockage principal du virus. Les glandes salivaires représentent un lieu de stockage secondaire alors que la tête, les stylets et l'hémolymphe ne seraient qu'un lieu de transit du virus dans l'insecte vecteur. Ces observations indiquent que le TYLCV-Mld[RE] est transmis selon le mode circulant non multipliant par le biotype B de *B. tabaci*. L'absence de transmission transovarienne de l'isolat réunionnais du TYLCV-Mild par la population réunionnais du biotype B de *B. tabaci* corrobore cette hypothèse et confirme pour un deuxième isolat de TYLCV-Mild les travaux de Bosco et al. (2004).

J-M. Lett

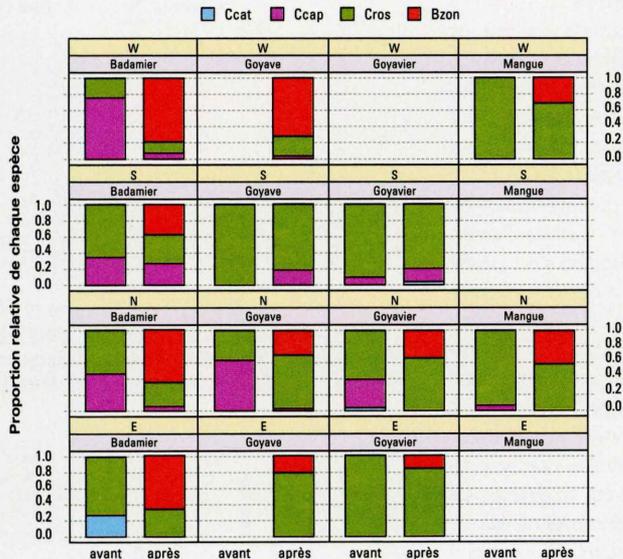


Figure 7. Proportion relative des 4 espèces de Tephritidae sur 4 plantes hôtes dans 4 zones de l'île (Altitude : 0 à 100 m ; avant = 1991 à 1999 [relevés avant l'extension de *B. zonata*] ; après = 2000 à 2005 ; Ccat = *Ceratitis catoirii* ; Ccap = *C. capitata* ; Cros = *C. rosa* ; Bzon = *Bactrocera zonata*).

► Les mouches des fruits et des légumes-fruits

Comportement des mouches des fruits et méthodes de lutte

L'étude de l'évolution des populations de mouches a été poursuivie dans un réseau de piégeage basé sur deux transects situés dans le sud et l'ouest de l'île. *Bactrocera zonata* a tendance à dominer les autres espèces à basse altitude (Fig. 7). Elle se cantonne pour l'instant à cette zone de l'île et devient rare au-delà de 600m d'altitude. Dans les zones où elle est présente, l'espèce peut montrer des pics de populations à différentes périodes de l'année, en fonction de la fructification de ses plantes-hôtes.

L'étude visant à déterminer l'influence de la consommation de para-phéromones sur le succès reproducteur des mâles de *B. zonata* (programme coordonné de la FAO- AIEA) a été poursuivie en 2004, avec la méthodologie mise au point l'an passé (photos 7 et 8). Les premiers essais réalisés en cage au laboratoire ont montré un effet positif du traitement sur la compétitivité sexuelle des mâles après exposition à des doses de 5 ou 10 µl. Une tendance à un effet positif est également détectée pour toutes les autres doses testées, mais de nouvelles répétitions seront nécessaires en 2005 afin de confirmer ces résultats. On note au contraire un effet négatif sur la compétitivité dans le cas de 4 traitements successifs des mâles (à un jour d'intervalle).

L'étude des relations entre invasions biologiques et compétition inter-spécifique chez les Tephritidae a été poursuivie (thèse P-F. Duyck). Elle porte sur le complexe d'espèces nuisibles aux cultures fruitières à la Réunion (*Ceratitis capitata*, *C. rosa*, *C. catoirii* et

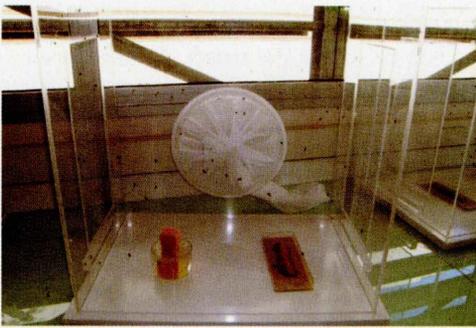


Photo 7.
Cage de laboratoire pour l'étude de l'influence des para-phéromones sur le comportement sexuel des mâles de *Bactrocera zonata* (photo A. Franck)



Photo 8.
Mâles de *Bactrocera zonata* s'alimentant sur un tampon de méthyl-eugénol (photo A. Franck)

Bactrocera zonata). Des expériences de co-infestation de deux ou plusieurs espèces au sein d'un même fruit ont montré que la survie larvaire et le poids des pupes sont affectés par la compétition interspécifique. La décroissance de ces paramètres est plus ou moins importante selon les espèces et les co-infestations considérées. Les larves de *C. capitata* et *C. catoirii* présentent une résistance à la compétition plus faible que celles de *C. rosa* et *B. zonata*, bien que les larves de *C. catoirii* nuisent au développement des trois autres espèces. *Bactrocera zonata* présente en outre un développement larvaire très rapide qui lui confère un avantage sur les autres espèces lors de son développement dans le fruit. La nature du fruit-hôte larvaire a des répercussions sur les paramètres de développement et sur la fécondité des adultes (Fig. 8). En particulier, le poids pupal peut constituer un bon indicateur de la fécondité.

Pour le stade adulte, on s'est intéressé à différents mécanismes d'interférence entre femelles : phé-

romones de marquage de l'hôte (HMP), vitesse de localisation du fruit-hôte et défense de celui-ci. En situation de choix du site de ponte, la réduction des risques de compétition intra- ou inter-spécifique s'effectue de deux façons : soit par le marquage phéromonal des fruits-hôtes par les femelles de *C. capitata* et *C. rosa*, soit par la reconnaissance des fruits marqués pour *B. zonata* qui semble pouvoir faire la distinction entre des blessures indemnes et des trous contenant des œufs d'autres espèces. *Ceratitis catoirii* ne semble pas pouvoir distinguer des fruits infestés de fruits indemnes. Le niveau de performance des stratégies de compétition de chacune des espèces est en accord avec leur fréquence et leur distribution sur l'île. Ces mécanismes jouent probablement un rôle important dans la compétition intra-et inter-spécifique.

La réponse des femelles matures des différentes espèces à des composés volatiles émis par différents fruits-hôtes sauvages et cultivés a été étudiée en cages extérieures. L'odeur de fruit-hôte constitue pour toutes les espèces un stimulus important dans la localisation de l'hôte. Les réponses diffèrent cependant entre les dix espèces végétales testées et selon les espèces de mouches. Les résultats ont été confrontés aux caractéristiques des niches écologiques des mouches, déterminées lors de l'étude des plantes-hôtes. L'étude fournit également des éléments en vue de l'identification de substances volatiles susceptibles d'être utilisées dans le futur pour la mise en place d'outils de surveillance ou de lutte biotechnique contre les *Tephritidae*. Par ailleurs, la vitesse de réponse à un stimulus olfactif a été étudiée en grandes cages chez les quatre espèces de mouches. On note une activité plus importante de *B. zonata* et *C. capitata* dans la localisation de la ressource. Pourtant, *C. rosa* et *B. zonata* se montrent les plus efficaces dans l'appropriation du fruit-hôte par leur fécondité et leur agressivité.

D'une façon générale, les résultats sur la démographie comparée des quatre espèces suggèrent un trade-off interspécifique entre les traits K et r. L'asymétrie de la compétition larvaire et des interactions directes entre femelles semble corrélée au rang d'établissement sur l'île, l'espèce arrivée la plus récemment ayant de bonnes performances dans la compétition larvaire comme dans l'aptitude à déplacer d'autres femelles d'un fruit. En conditions optimales, le gradient r-K pourrait être utilisé comme prédicteur d'espèces potentiellement invasives, les traits K pouvant favoriser à la fois l'aptitude à la compétition par exploitation et par interférence. La coexistence entre espèces est cependant permise par la variabilité de la tolérance aux

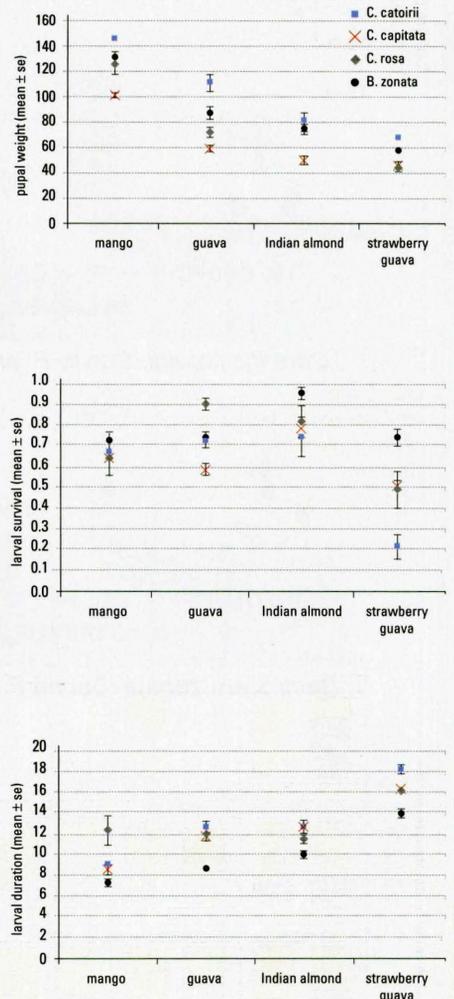


Figure 8.
Poids pupal, survie et durée de développement larvaire des quatre espèces de *Tephritidae* élevées sur quatre fruits-hôtes différents.



conditions climatiques (température et humidité) et par celle de la gamme d'hôtes. L'espèce endémique a non seulement de plus faibles paramètres de survie et de fécondité que les autres espèces mais voit également les axes climatiques et de ressource de sa niche inclus dans celle de ses compétiteurs. Une coexistence stable devrait s'installer entre les trois espèces invasives alors que l'extinction de l'espèce endémique est considérée comme possible.

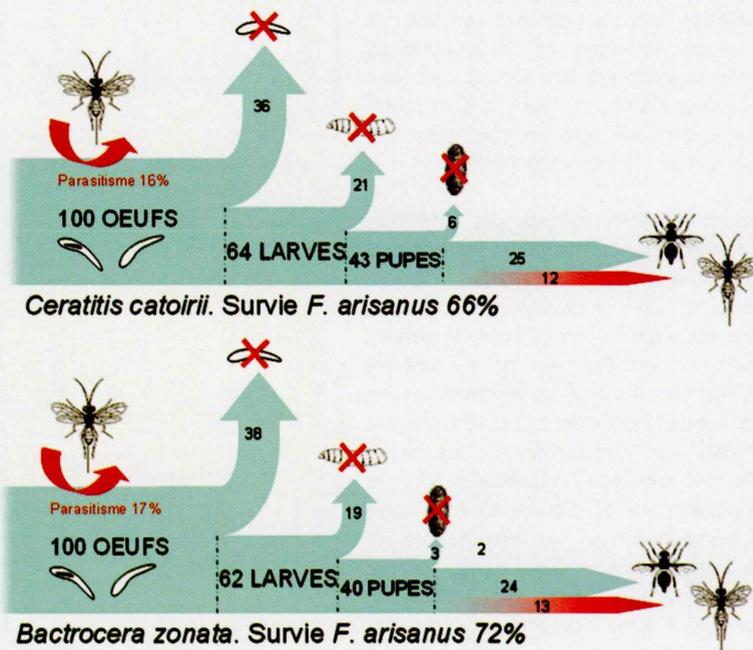


Figure 9. Survie de cohortes de 100 œufs de *Bactrocera zonata* et *Ceratitis catovirii* parasitées par *Fopius arisanus* (P. Rousse).

Après l'importation fin 2003 du parasitoïde ovo-pupal *Fopius arisanus* à partir d'Hawaï, un élevage régulier de l'espèce a été mis en place. Les premiers travaux, dans le cadre de la thèse de P. Rousse, ont porté sur la spécificité de cet auxiliaire vis-à-vis des espèces de Tephritidae locales. En situation de non-choix, sur les huit espèces de Tephritidae testées (*C. capitata*, *C. rosa*, *C. catovirii*, *B. zonata*, *B. cucurbitae*, *D. demmerezi*, *D. ciliatus* et *N. cyanescens*), on note généralement un taux de parasitisme des oeufs de l'hôte de l'ordre de 10 à 30 %. Toutefois, la survie du parasitoïde est très variable selon la nature de l'hôte : nulle sur *B. cucurbitae* (le parasitoïde est apparemment éliminé par une réponse immunitaire), elle est mauvaise sur *D. ciliatus* (12 %), *D. demmerezi* (21 %), *C. capitata* (10 %), *C. rosa* (22 %), *N. cyanescens* (22 %), et bonne sur *B. zonata* (72 %) et *C. catovirii* (66 %) (Fig. 9). En situation de choix entre des oeufs de *B. zonata* et de *C. capitata*, les femelles sont capables de discrimination entre deux espèces-

hôtes et montrent une nette préférence pour les oeufs de la première espèce. Cette préférence se manifeste que les femelles se soient préalablement développées sur l'une ou l'autre des deux espèces de mouches, ce qui indique que l'apprentissage pré-émergence n'a qu'une faible influence sur le choix de l'imago. Du point de vue pratique de son impact potentiel en lutte biologique, *F. arisanus* présente donc avant tout un intérêt en vue de la réduction des populations naturelles de *B. zonata*, ce qui s'avère particulièrement intéressant puisque cette mouche représente maintenant le ravageur dominant dans les zones de basse altitude. Les premières expérimentations réalisées en grandes cages sur la sélection de l'hôte et de son habitat ont montré que les femelles sont plus attirées par l'odeur de fruits d'agrumes infestés par des oeufs de Tephritidae que par celle des fruits sains. Nous avons en outre poursuivi le programme d'acclimatation de l'espèce à la Réunion, en partenariat avec l'USDA Hawaii (mission du Dr E. Harris et de T. Mangine en août 2004). Une nouvelle souche issue d'un élevage sur *C. capitata* a été importée, ce qui a permis une comparaison avec la souche issue de *B. dorsalis*. Des lâchers ont été réalisés sur quatre sites non traités (Rivière St-Denis, St-Pierre, St-Benoît, L'Hermitage) de janvier à mai, portant au total sur 42800 individus. Des collectes de fruits piqués sur les sites de lâchers ont permis de vérifier la présence du parasitoïde sur les trois derniers sites plusieurs semaines après les derniers lâchers effectués. Toutefois, *F. arisanus* n'ayant pas été retrouvé depuis le mois de juillet, une nouvelle campagne de lâchers sera réalisée en 2005. Les travaux sur l'optimisation des systèmes de piégeage pour les femelles de Tephritidae se sont poursuivis en 2004 (programme coordonné de la FAO-AIEA). Un essai mené à Bassin Plat a permis de comparer l'attractivité de différents traitements : Nulure (9 %) + borax (3 %), 1/2 diffuseur d'Ammonium Acetate (AA), 2 diffuseurs d'AA, Di-Ammonium Phosphate (AP), Ammonium Sulphate (AS), « 3 lures » et Torula Yeast, vis-à-vis de *B. cucurbitae*. Parmi les différentes combinaisons testées, le Nulure, le Torula Yeast, le « 3 lures » et la faible dose d'AA se montrent les plus efficaces. Tout récemment, une « bait station » mise au point par l'USDA a été testée vis-à-vis des espèces s'attaquant aux cultures fruitières (photo 9).

Dans le cadre du PRPV, le Laboratoire d'Ecologie Terrestre et de Lutte Intégrée s'est par ailleurs vu confier la coordination des compléments d'inventaires des ravageurs et auxiliaires, qui sont apparus nécessaires pour les Comores et les Seychelles. L'ensemble des échantillons d'insectes et acariens collectés lors des missions d'A. Barbet (Seychelles en décembre 2003 et Comores en mars 2004) et

d'A. Barbet et M. Attié (Seychelles et Comores en septembre 2004) ont été adressés au laboratoire puis triés et reconditionnés en vue d'envois ciblés à un réseau de spécialistes de taxonomie. Les résultats viendront alimenter une base de données régionale mise en place dans le cadre du PRPV.

S. Quilici, P-F. Duyck et P. Rousse

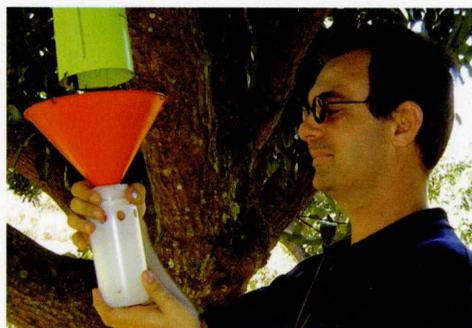


Photo 9.
Modèle de « bait-station » de l'USDA, testé pour son attractivité vis-à-vis des femelles de Tephritidae (A. Franck).

Modélisation de la dynamique des populations des mouches des fruits

L'objectif de cette opération est de mieux connaître la dynamique de population d'insectes ravageurs ou vecteurs de maladies. Le but est de modéliser l'évolution des populations d'insectes en fonction de facteurs biotiques et abiotiques afin de pouvoir à terme développer des outils d'aide à la décision comme des cartes de risque sanitaire.

La collaboration avec J. Chadoeuf (INRA Avignon) se poursuit avec la validation, à partir de plusieurs sites, d'un modèle spatio-temporel permettant d'estimer le nombre de mouches mâles et femelles de *Ceratitis rosa* capturées chaque semaine dans chaque piège en fonction de l'attractivité potentielle des arbres sur le site étudié indépendamment des autres espèces de mouches. Le modèle a aussi été amélioré suite à des

discussions avec les entomologistes pour fournir une meilleure prédiction en relation avec les estimations de ressources biotiques.

En parallèle, une collaboration avec l'Université de Montpellier I, R. Sabatier et M. Vivien, a permis d'étudier les relations entre piégeages de mouches des fruits (voire des légumes), floristique et météorologie en utilisant de nouvelles méthodes d'analyse multivariée (STATIS, ACIMOG, DO-ACT) sur les trois cubes de données créés avec deux dimensions communes : espace (15 sites sélectionnés sur 58) et temps (données hebdomadaires du 09/09/94 au 31/03/98). Les premiers résultats sont encourageants mais limités par de nombreuses données manquantes qu'il va falloir mieux gérer.

F. Chiroleu



Photo 10.
Adulte d'*Hoplochelus marginalis* mycosé à l'issue du test 3 sur le pouvoir pathogène du Betel® (D. Pastou).

► Durabilité de la lutte contre le ver blanc à la Réunion

Mise au point d'une méthode d'évaluation du pouvoir pathogène du Betel® (tests sur larves et adultes)

A partir des méthodes existantes, nous avons choisi une technique de référence, susceptible d'être appliquée à toute souche purifiée ou produit de traitement renfermant des spores du champignon. Celle-ci a été appliquée à deux lots de granulés (références P0403 et P0404) issus de sacs de Betel® choisis au hasard dans la chambre des deux principaux distributeurs de l'île (80 % des ventes de ce produit commercial servant au traitement au champ). Quatre tests ont été menés avec la collaboration du SPV les 15/07, 5/08, 22/09 et 15/12, à une dose supposée de 10^5 - 10^6 spores/ml de suspension (spécifications indiquées sur l'étiquette du produit). Les larves L3 utilisées avaient subi une quarantaine d'au moins 15 jours. Les adultes étaient issus des larves non mycosées des tests

précédents, dont on a vérifié l'état sanitaire à l'aide des témoins. Dans les tests 1 et 2, malgré une perturbation liée à la transformation rapide des larves en nymphes (2 mois avant l'apparition de celles-ci en conditions naturelles) rendant les conclusions partielles, on peut estimer que le taux de larves mycosées un mois après inoculation atteignait 77 (test 1) et 100 % (test 2). En conclusion, on peut estimer que le lot P0403 est tout juste passable, alors que le lot P0404 est excellent compte tenu du fait que ces produits ont quitté l'usine il y a 4 à 5 mois. Les résultats des tests 3 et 4 sur les adultes (photo 10) confirment ces conclusions, le lot P0403 décrochant néanmoins après 8-9 mois de conservation en chambre froide.



Photo 11.
Mycélium de *Beauveria* (B. Vercambre).



Evolution des populations du ver blanc et du champignon

Depuis 4 ans (2001-2004), les prospections larvaires menées par la FDGDON montrent une stabilité étonnante (en 2004, la densité moyenne dans l'île est de 0,3 ver blanc/souche de canne à sucre alors que le seuil économique pour la zone sèche est de quatre vers blancs /souche), une certaine pression se manifestant encore dans le sud (St-Louis, St-Pierre). Le taux moyen de larves mycosées au champ en fin de cycle larvaire, complété par celui des quarantaines de laboratoire menées par l'Université de la Réunion, est d'environ 40 % pour l'ensemble de l'île. Les projections théoriques, basées sur les paramètres biologiques du ver blanc (nombre d'œufs par femelle, sex-ratio, ...) indiquent que 70 à 90 % des individus devraient disparaître ou ne pas naître, en plus du pourcentage de L3 mycosées en fin de cycle, pour expliquer cette stabilité. En effet, les autres stades biologiques de l'insecte peuvent également être infectés par la mycose. Par ailleurs, de nombreuses observations de terrain montrent la présence du *Beauveria brongniartii* dans le sol, croissant sur de la matière organique en l'absence de vers blancs (environ 1,1 % des 1 224 souches observées en juin 2004).

Sur une parcelle (SL02) suivie à St-Louis (380 m d'altitude) et n'ayant jamais reçu de traitement biologique, nous avons noté 18,2 % de nymphes mycosées à la fin novembre et 16,7 % d'adultes mycosés dans la première décade de décembre, après que 22,8 % des larves L3 aient été infectées par le champignon à la mi-juin sur le terrain, 20 % supplémentaires ayant été constatées en quarantaine de laboratoire dans les 15 jours suivant le prélèvement. La densité de vers blancs a ainsi chuté de 60 % entre juin et décembre (2,3 à 0,9 ver blanc vivant/souche).

Perte de vitalité d'*Hoplochelus marginalis*

Les dissections de femelles pratiquées durant la période favorable à la mesure du potentiel de fertilité, sur des couples prélevés à St-Pierre ou à St-Leu (N1 = 61), ou à la lumière à l'Entre-Deux (N2 = 81) révèlent une fertilité potentielle moyenne de 43 œufs/femelle pour les deux sites, ce qui représente une réduction d'environ 20 % sur le potentiel évalué au début de l'invasion du ver blanc. Dans la parcelle de St-Louis évoquée plus haut, le nombre moyen

d'œufs/femelle (N3 = 14) est de 30 à 34 au début décembre (réduction d'environ 30 %). Ces observations, très parcellaires, devront être développées pour confirmer ce phénomène de perte de vitalité.

B. Vercambre

Modélisation de la dynamique des populations de vers blancs

Deux collaborations se sont développées autour de la connaissance de la dynamique des populations de vers blancs : l'une avec la FDGDON à la Réunion, l'autre avec l'URP SCRID à Madagascar.

La première se fonde sur les prospections réalisées depuis 1996 par la FDGDON sur une partie (1996-2001) ou l'ensemble de la Réunion (2001-2004). Notre collaboration avec A. Rolet consiste en la réalisation de cartes permettant de mieux comprendre

l'évolution spatio-temporelle des populations d'*Hoplochelus marginalis* à la

Réunion et de l'agent de lutte biologique associé, *Beauveria brongniartii* en complément d'une possible modélisation des phénomènes sous-jacents. Les résultats

montrent des effectifs d'*H. marginalis* qui sont partout très faibles (Fig. 10). Il conviendra toutefois de continuer à observer dans le futur la zone ouest-sud-ouest.

La seconde a été lancée grâce au Conseil Régional de la Réunion. La coopération

avec Madagascar a permis d'appuyer

un entomologiste malgache du Fofifa dans l'analyse de ses données spatio-temporelles pour la rédaction d'une thèse (Etude de la bio-écologie et de la dynamique des populations d'*Heteronychus spp.* et *Heteroconus spp.* et de leurs organismes associés sur riz pluvial dans le Vakinankaratra et le Moyen-Ouest). Nous avons aussi apporté notre savoir-faire dans le cadre du comité d'encadrement de la thèse et par des missions dans la mise au point des protocoles d'échantillonnage destructif sur les deux sites étudiés. L'analyse a été effectuée avec le logiciel R et les premières explorations et analyses spatio-temporelles (Fig. 11) montrent une répartition aléatoire du complexe d'espèces de vers blancs (plus de quinze espèces répertoriées sur un site).

F. Chiroleu

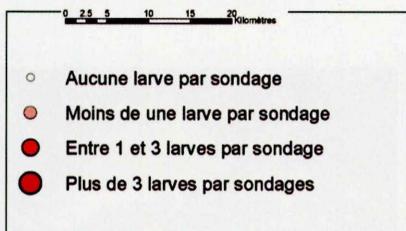


Figure 10. Nombre moyen de larves d'*Hoplochelus marginalis* par sondage sur les parcelles échantillonnées en 2004 sur la zone cannière de l'île (carte réalisée par A. Rolet, FDGDON et F.Chiroleu, CIRAD ; données FDGDON et IGN@BD Topo, 1997).

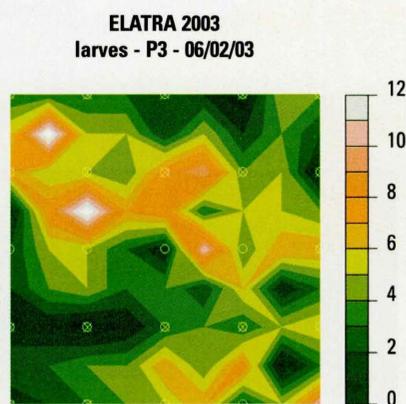


Figure 11. Variabilité spatiale de la densité de larves de vers blancs (toutes espèces confondues) sur une microparcelle de riz pluvial de 90 * 90 * 20 cm sur le site d'Andranomanelatra - les symboles désignent les plants morts (cercles barrés) et vivants (simples cercles).

► La cochenille du vanillier

Conchaspis angraeci a été recensée pour la première fois sur l'île en 1997 par Provanille. Depuis, elle n'a cessé de se répandre sur l'île, bien que les zones de production de la vanille ne soient pas toutes touchées. Ainsi, la région de St-Philippe est pour le moment relativement épargnée (quelques pieds recensés). Par contre, de Ste-Suzanne à Ste-Rose, les niveaux d'infestation sont beaucoup plus importants. Les suivis effectués par Provanille auprès de ses adhérents indiquent que ce ravageur est en progression. Un des moyens d'éviter l'émergence de nouveaux foyers est de veiller à la mise en place de lianes « saines » sur les nouvelles parcelles ou en cas de remplacement de lianes mortes. En effet, le principal facteur de dissémination de la cochenille semble être l'introduction de lianes infestées, même à des niveaux faibles, au sein d'une parcelle saine.

Les niveaux d'infestation et la sévérité des symptômes diffèrent selon le type cultural, l'ancienneté de l'infestation et la localisation géographique. Les parcelles cultivées en sous-bois présentent des populations moins abondantes que celles cultivées en plein champ et en intercalaire canne à sucre. La répartition hétérogène et la densité des lianes en sous-bois semblent constituer un frein à la dispersion par rapport à l'alignement régulier et à la proximité des pieds des cultures en plein champ. Notre étude a montré que les stades larvaires mobiles, plus sensibles aux traitements insecticides, sont plus nombreux pendant la saison chaude, ce qui devra être pris en compte dans les éventuelles préconisations de lutte chimique. On manque encore de données pour évaluer précisément les pertes de rendement dues à ce ravageur. Les conséquences d'une infestation ne se manifestent pas par une mort de la liane en première, voire en deuxième année. Le processus d'installation est lent et l'affaiblissement de la liane progressif. L'itinéraire technique est important puisque, sur des parcelles très bien entretenues, des lianes avec de forts effectifs de cochenille peuvent parfois produire des gousses de bon calibre avec un rendement peu affecté.

Les enquêtes de terrain ont confirmé que les auxiliaires naturels indigènes, prédateurs ou parasitoïdes, sont peu nombreux et incapables de contrôler par eux-mêmes les populations de la cochenille. Les parasitoïdes recensés ne semblent pas inféodés aux populations de *C. angraeci*. Un test de laboratoire de prédation par la coccinelle *Chilocorus nigritus*, prédatrice efficace de diverses diaspinés en vergers d'agrumes et sur cocotier, a été mis en place à partir

de novembre. Les premiers résultats n'ont pas été positifs, les adultes de coccinelles ne survivant pas plus de 5 jours en l'absence de nourriture alternative et ne présentant pas d'activité prédatrice notable. Les tentatives d'élevage sur citrouille à partir d'une contamination par des L1 montrent un taux amélioré de fixation et de passage au stade L2. Cependant, peu d'adultes sont obtenus, et l'on ne dispose pas encore d'une méthode d'élevage sur hôte de substitution. La production sur lianes de vanille en serre s'avère relativement lente.

A l'heure actuelle, le contrôle des infestations repose avant tout sur des mesures prophylactiques telles que l'arrachage des lianes fortement contaminées et leur remplacement par des boutures certifiées indemnes de cochenilles (et de virus) issues de la pépinière de Provanille.

K. Le Roux



Photo 12.
Hoya bella (Asclepiadaceae) plante-hôte alternative de la cochenille de la vanille (A. Richard).



Photo 13.
Dégâts de la cochenille du vanillier (A. Franck).



► Dynamique des populations de stomoxes dans les élevages laitiers

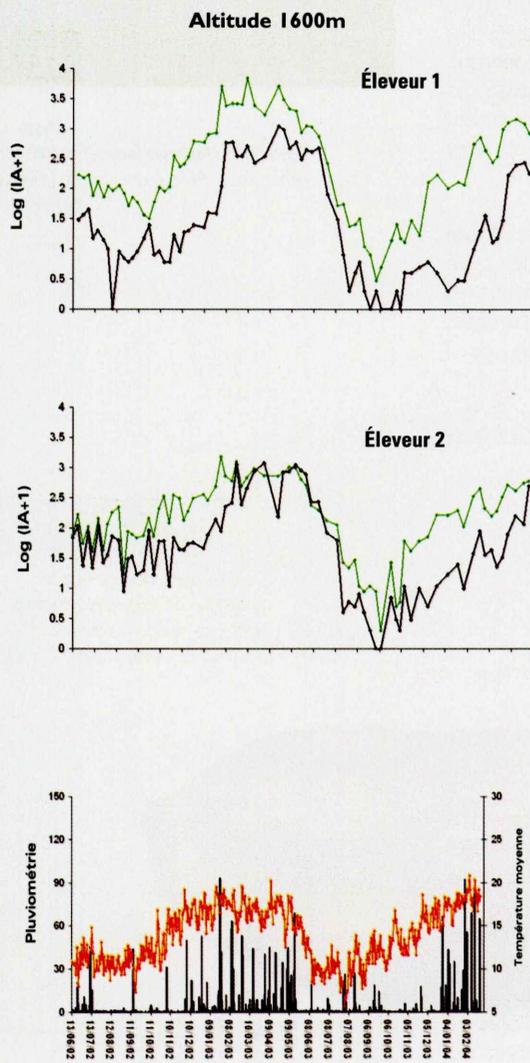


Figure 12. Abondances relatives [$\log I_0 (IA+1)$] de *S. calcitrans* (vert) et *S. niger* (noir), température moyenne (°C) et pluviosité (mm) en fonction du temps chez deux éleveurs laitiers situés à 1600 m d'altitude.

Trois acteurs interviennent : le parasite responsable de la maladie, le vecteur transporteur de ce parasite et l'hôte qui sera infecté. La compréhension du fonctionnement d'un tel système est souvent très complexe puisqu'elle fait intervenir de nombreuses composantes et que son efficacité est très fortement dépendante des conditions environnementales. En effet, les facteurs biotiques et abiotiques sont déterminants dans la biologie et la dynamique des populations des différents acteurs du système. Ainsi, les modifications climatiques engendrées par exemple par le réchauffement global se traduisent par des modifications des facteurs biotiques et abiotiques qui agissent sur la biologie des espèces et influencent la démographie des populations au cours du temps. De plus, ces variations spatio-temporelles de densité influencent directement la structuration génétique des populations. Il semble alors intéressant de définir l'impact des facteurs abiotiques tels que les paramètres météorologiques sur la biologie et la dynamique des populations ainsi que les conséquences génétiques de ces variations. A la Réunion, les stomoxes *Stomoxys calcitrans* et *S. niger*, diptères hématophages, sont vecteurs de maladies par transmission mécanique. Ils transmettent l'anaplasmose (dont l'agent causal est *Anaplasma marginale*) maladie représentant la première cause de mortalité chez les bovins laitiers. De plus, par leurs piqûres douloureuses et la spoliation sanguine, les stomoxes représentent une nuisance considérable pour l'élevage bovin et pour la production de lait et constituent donc un modèle de choix.

Dynamique des populations de stomoxes

A la Réunion, les deux espèces de stomoxes présentent des variations de densité au cours du temps (Fig. 12). Le cycle saisonnier des deux espèces est bien marqué avec une forte densité de stomoxes en période estivale et une nette réduction de la taille de la population en hiver. L'étude des patterns d'abondance (cycles saisonniers) le long d'un gradient altitudinal, a permis de mettre en évidence un synchronisme spatial des différentes populations, de *S. calcitrans*

d'une part et de *S. niger* d'autre part. Ce synchronisme spatial intraspécifique observé dans la dynamique des populations diminue quand la distance entre les populations augmente. Le synchronisme spatial entre populations peut résulter de trois principaux mécanismes : (1) la dispersion entre les populations (2) l'effet de facteurs abiotiques (température, pluviosité,...) agissant de manière conforme sur la dynamique des différentes populations (Moran effect) (3) les interactions trophiques avec les populations des autres espèces de la communauté. Par l'analyse de séries chronologiques, nous avons montré que la température explique à elle seule entre 60 et 85 % des fluctuations de densité observée sur les différents sites d'étude et pourrait donc être le facteur clef responsable du synchronisme spatial et de la variation de densité des populations.

Effet de la température sur le cycle biologique des stomoxes

Ces variations spatio-temporelles de densité résultent de l'influence de la température sur le cycle biologique des deux espèces de stomoxes. Une première étude sur *S. calcitrans* et *S. niger* a montré que la survie des immatures des deux espèces était maximale entre 20 et 25°C et qu'elle diminuait de part et d'autre de cet intervalle. La durée de développement est également un trait lié à la température puisqu'elle passe d'environ 70 jours à 15°C à 14 jours à 30°C chez les deux espèces. Dans une seconde étude, nous avons montré que la température avait également un effet considérable sur la longévité des adultes et la fécondité des femelles et influençait de manière importante les différents paramètres démographiques des deux espèces de stomoxes.

Ainsi la température est le facteur explicatif majeur des variations spatio-temporelles de densités des deux espèces de stomoxes. Nous étudions actuellement les conséquences de ces variations de densité sur la structuration génétique des populations. Plus précisément, nous nous posons les questions suivantes : les goulots d'étranglements suivis d'événements de fondation répétés entraînent-ils une perte de diversité génétique et une différenciation notable des populations de stomoxes ? Les effets de fondation sont ils plus importants pour les populations de *S. niger* que celles de *S. calcitrans* ? Enfin, l'expansion d'une population se fait-elle à partir des populations plus proches ? Afin de répondre à ces interrogations, des marqueurs microsatellites ont été mis au point pour chacune des deux espèces (Gilles et al. 2004) et

les premiers résultats montrent qu'il existe une grande homogénéité à l'échelle de l'île. Celle-ci pourrait résulter de la grande mobilité des stomoxes (capables de parcourir d'importantes distances) mais

aussi des pratiques agricoles (mouvement important de paille de canne à sucre ou de fumier; substrats de développement des stomoxes).

J. Gilles



Photo 14.
Femelle de *Stomoxys calcitrans*
(J. Gilles).

GÉNÉTIQUE ET CARACTÉRISATION DE LA RÉSISTANCE AUX BIOAGRESSEURS

► Résistance de la canne à sucre au foreur ponctué

À la Réunion, la résistance de la canne à sucre au foreur ponctué *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera, Crambidae) est bien connue au travers de la sensibilité contrastée des variétés R570 et R579 à ce ravageur. L'objectif des recherches menées est de promouvoir la résistance génétique de la canne au foreur ponctué en étudiant la diversité et l'hérédité des résistances ainsi que les mécanismes mis en jeu, en vue de fournir des sources de résistance et des méthodes pour la création de variétés résistantes.

En 2004, les performances de plusieurs critères de mesure de la résistance ont été évaluées au travers d'une étude préliminaire menée sur un essai variétal du Cerf à Ste Marie. Il apparaît que les observations précoces (avril) permettent de classer les variétés aussi bien que des observations avant récolte, plus lourdes. Le critère simple du « taux de tiges attaquées » montre des performances équivalentes à celles de critères plus lourds basés sur le comptage des entre-nœuds attaqués. D'autre part, la collection de 456 clones internationaux du Cerf a été criblée en vue d'identifier des clones résistants ou sensibles. Treize clones potentiellement résistants et dix-neuf potentiellement sensibles ont été identifiés. Le niveau de sensibilité de ces clones doit être confirmé en 2005 et 2006.

La connaissance de la localisation tissulaire de la résistance est déterminante pour l'identification des mécanismes mis en cause. Les sites d'alimentation des jeunes chenilles de *Chilo sacchariphagus* ont ainsi été analysés lors de sondages réalisés dans quinze parcelles de planteurs, huit plantées avec la variété R579 (sensible) et sept avec la variété R570 (résistante). On constate que seuls les quatre premiers

stades larvaires sont observés hors de la tige. Les chenilles se répartissent sur les feuilles terminales, les gaines foliaires et la tige dès le premier stade larvaire. Leur progression vers la tige se fait le plus fréquemment en perforant au moins une gaine foliaire. La pénétration dans la tige intervient majoritairement à la base des quatre entre-nœuds situés sous le méristème terminal. Les bourgeons axillaires ne sont pas un site privilégié de pénétration dans la tige. Des différences de comportement des chenilles entre variétés suggèrent que le franchissement des gaines foliaires est l'occasion de l'expression d'une partie de la résistance de la variété R570. Les tests menés en laboratoire confirment que les chenilles du premier stade larvaire détectent des différences entre variétés à la surface externe de la gaine foliaire. La variété R579 est préférée à la R570 et induit une moindre mortalité lors de la pénétration des chenilles.

S. Nibouche

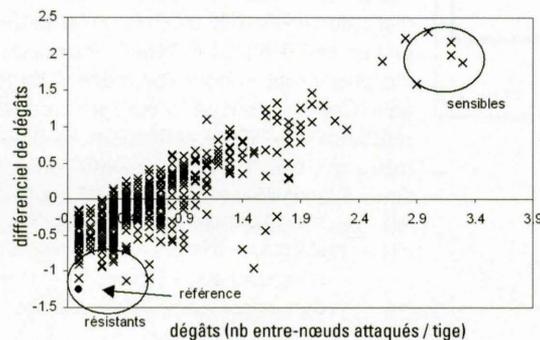


Figure 13.
Distribution des dégâts observés sur tige en avril 2004 sur les 456 clones de la collection du Cerf. Le point noir indique le clone (KASSOER) utilisé comme référence résistance pour le calcul de la sensibilité.

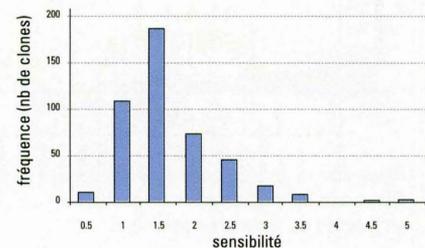


Figure 14.
Histogramme de répartition de la sensibilité des clones de la collection. La sensibilité est évaluée par la distance euclidienne entre le clone et la référence, calculée à partir de la Figure 13.

