



Emmanuel WICKER¹,
Patrick QUÉNÉHERVÉ²,
Cica URBINO³

¹ PRAM-Cirad

² PRAM-IRD

³ Cirad

Intérêt de la connaissance des bioagresseurs pour l'Agriculture biologique

Le passage à une agriculture propre ou de type biologique, en proscrivant tout emploi de produit chimique de synthèse, amène à repenser entièrement les stratégies de protection des cultures et à raisonner la lutte non plus au niveau de la culture seule, mais au niveau d'un système de culture. Dans ce contexte, la connaissance des principaux bioagresseurs auxquels on est confronté est nécessaire pour mieux définir et orienter les stratégies de lutte. Il s'agit d'identifier les points critiques expliquant la nuisibilité du bioagresseur et de mettre en place des réponses efficaces et adaptées pour le contrôler.

A partir de trois exemples de bioagresseurs, nous allons essayer de montrer en quoi la connaissance des populations pathogènes et de l'épidémiologie permet de dégager des pistes prioritaires de lutte.

LES NÉMATODES À GALLES DU GENRE MELOIDOGYNE

Les nématodes à galle du genre *Meloidogyne* figurent parmi les nématodes parasites des plantes les plus dommageables aux cultures à travers le monde. Plus de 90 espèces sont ainsi décrites, qui s'attaquent à toutes cultures, annuelles ou pérennes, en zone tempérée comme en zone tropicale. Pendant de longues années, les quatre principales espèces largement reconnues à travers le monde ont été *M. hapla*, *M. incognita*, *M. arenaria* et *M. javanica*. Leur gamme d'hôtes est extrêmement étendue et dépasse très largement le seul cadre des plantes cultivées puisqu'on les retrouve sur un très grand nombre d'adventices. Excepté *M. hapla*, espèce plus spécifique des zones tempérées, les trois autres espèces sont présentes à la Martinique. Leur détection et leur identification générique sont assez faciles dès lors que l'on examine le système racinaire, puisque ces nématodes sont responsables de l'apparition de nodosités ou galles sur les racines des plantes par ailleurs en mauvais état de croissance. Les plantes cultivées les plus sensibles appartiennent au groupe des plantes maraîchères, mais on verra plus loin que d'autres plantes, comme des arbres, avec le cas du goyavier, sont également très sensibles aux attaques de ce nématode.

L'identification spécifique de ces nématodes est déjà plus délicate. Pendant de très longues années, elle a été basée sur la simple identifica-

Pôle de Recherche Agronomique
PRAM
de la Martinique

6

tion morphologique, avec parfois un test complémentaire de gamme d'hôtes, ce qui a souvent conduit à des erreurs d'identification au niveau de l'espèce qui, d'inconnue, passait vite au stade d'incognita. Depuis quelques années, la biochimie et la biologie moléculaire (électrophorèse d'isoenzymes et PCR-RAPD) sont devenues des outils indispensables dans l'identification des espèces du genre *Meloidogyne*. Ainsi, à la Martinique, des études récentes ont montré que la diversité spécifique était bien plus importante qu'initialement escomptée. On est ainsi passé de 4 à plus de 16 espèces différentes, dont 5 inconnues toujours en cours d'identification.

Pendant de très longues années également, la détection de *Meloidogyne* n'a été effectuée que sur des échantillons d'origine agricole. Or des enquêtes récentes en milieux naturels à la Martinique ont montré que la fréquence de détection de *Meloidogyne* sp était de 32,8 % en forêts et atteignait 72,3 % sur la végétation des formations d'altitude (Montagne Pelée, Pitons du Carbet et autres mornes). Ce genre est donc bien présent à la Martinique et colonise le milieu naturel jusqu'aux plantes cultivées avec une très grande polyphagie.

Les premières cultures qui ont eu à souffrir des attaques de *Meloidogyne* sont les cultures maraîchères : la culture de tomate de plein champ, jusque dans les années 90, montrait des signes évidents d'attaque par les nématodes à galles, puis les attaques ont disparu suite à l'adoption par les agriculteurs d'une variété particulière (cv. Heatmaster), mieux adaptée à la chaleur et, jusqu'à aujourd'hui, plus un agriculteur ne semble souffrir de dégâts de nématodes sur ces cultures de tomate. La raison vient de l'utilisation d'une variété de tomate qui comporte un gène de résistance (*Mi*) aux trois principales espèces de *Meloidogyne*. Ce gène majeur est cependant inefficace à contrôler *M. mayaguensis*. L'introggression d'un gène de résistance aux *Meloidogyne* a constitué la réponse la plus élégante et la plus facilement appropriable par les agriculteurs eux-mêmes mais cette réponse, idéale dans le cadre de l'Agriculture biologique, ne concerne ici que la tomate (Deberdt *et al.*, 1999). D'autres gènes de résistance à *Meloidogyne* existent chez le poivron, la patate douce, le soja mais ne sont pas utilisés à la Martinique.

Quand cette technique n'est pas utilisable, il faut avoir recours à d'autres pratiques culturales. En raison de la très grande polyphagie du genre *Meloidogyne*, les pratiques de la jachère spontanée et des rotations culturales sont limitées. Certaines pratiques ont toutefois donné de bons résultats comme la jachère cultivée avec des légumineuses ou des graminées antagonistes (*Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Crotalaria juncea*, *Digitaria decumbens*, *Panicum maximum*) (Quénéhervé *et al.*, 1998). Ces pratiques demandent toutefois du temps et de l'espace, et sont bien souvent inapplicables par de petits exploitants.

Les rotations peuvent aussi réduire les populations de nématodes et l'on peut ainsi alterner des cultures très sensibles (tomate, aubergine, laitue, melon), avec des cultures moyennement sensibles (crucifère, chou) ou légèrement sensibles (oignon) ou mêmes résistantes (haricot 2.2.3.V, tomate ou piment résistant).

Dans le cas des cultures pérennes comme le goyavier, l'utilisation des jachères et rotations est totalement impossible. La détection de *Meloidogyne mayaguensis* sur cette culture est relativement récente mais son impact est considérable car il est responsable de la destruction de nombreux vergers de goyaviers sélectionnés depuis quelques années à la Martinique. En l'absence de méthodes prophylactiques et de sources de résistance utilisables, c'est la pratique du porte-greffe qui semble donner des

résultats compatibles avec une agriculture raisonnée ou biologique. En effet, une autre variété de goyavier, spontanée en Amérique centrale, *Psidium friedrichstalianum*, immune vis-à-vis des attaques de *Meloidogyne* est ici utilisée comme porte-greffe pour les variétés améliorées de goyaviers *Psidium guajava*.

Au vu de ces différentes caractéristiques et en conclusion, les principales composantes de la lutte intégrée contre les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*, en agriculture raisonnée comme en Agriculture biologique sont, après l'identification précise du parasite : le raisonnement des rotations, le contrôle des adventices, l'utilisation de jachères cultivées antagonistes et l'utilisation des porte-greffes et des variétés résistantes quand ils existent.

RALSTONIA SOLANACEARUM, AGENT DU FLÉTRISSEMENT BACTÉRIEN

Ralstonia solanacearum (anciennement *Pseudomonas solanacearum*) est une bactérie tellurique provoquant le flétrissement bactérien, qui se révèle être l'un des principaux facteurs limitants en cultures maraîchères. Sa gamme d'hôtes, extrêmement étendue, englobe plus de 50 familles botaniques, à la fois des Monocotylédones et des Dicotylédones, et touche aussi bien les grandes cultures d'exportation (bananier, arachide, gingembre, tabac, pomme de terre) que les cultures maraîchères



Racines de goyavier
attaquées par
Meloidogyne



et vivrières, en conditions tropicales et subtropicales, mais aussi en zone tempérée ou dans les régions tropicales d'altitude. Cette bactérie est par ailleurs capable de se maintenir sur de très nombreuses espèces sauvages, adventices notamment, en les infectant ou simplement en se maintenant dans l'immédiate proximité des racines. Les plus courantes sont certaines Solanacées sauvages telles que l'herbe amère (*Solanum americanum*), l'herbe à poc (*Physalis angulata*), les morelles noire et douce-amère (*Solanum nigrum* et *S. dulcemara*), ainsi que le pourpier (*Portulaca oleracea*) ou l'herbe grasse (*Commelina diffusa*) entre autres. En Martinique, on l'a également retrouvée sur le balisier rouge (*Heliconia caribea*) vivant en bordure de forêt.

Ceci explique que des attaques aient pu être observées sur des parcelles en première culture, ou sur des zones qui n'avaient plus été cultivées depuis des décennies. De nombreux auteurs considèrent par ailleurs que des jachères inférieures à cinq ans sont inefficaces pour diminuer le risque de maladie.

Aux Antilles françaises, cette bactérie provoque de gros dégâts depuis les années 60 sur tomate, aubergine, poivron et piment. Des attaques particulièrement importantes observées sur les

l'origine de nombreux foyers de dépérissement et de mortalités importantes dans les zones humides d'altitude du centre de l'île. A partir de 2001, *R. solanacearum* est réisolée sur des plants de melon présentant de fortes attaques de flétrissement, puis sur giraumon, concombre, pastèque et plus rarement courgette. Les progrès récents dans la classification intraspécifique de cette bactérie (Fegan & Prior, 2005) ont distingué quatre sous-espèces appelées phylotypes. Le développement d'outils de diagnostic moléculaire performants (multiplex-PCR) et leur application lors d'une enquête en 2002-2003 ont permis de montrer que deux populations différentes coexistaient à la Martinique ; l'une, composée des phylotypes I et II (ex-biovar 3 et 1 respectivement), est connue depuis les années 1960 et n'attaque que les Solanacées ; l'autre, appelée "population émergente" (phylotype II/sequevar4NP), n'est apparue que depuis 1998 et infecte la plupart des Cucurbitacées maraîchères (melon, concombre, pastèque, giraumon, courgette), les anthuriums, et se retrouve également dans les cultures de tomate.

Dans ce contexte nouveau, les rotations Solanacées-Cucurbitacées, largement pratiquées par le passé sont à éviter, voire à proscrire.



*Flétrissement bactérien
(Ralstonia solanacearum)
sur concombre*

cultures intensives d'aubergine dans les années 84-85 ont d'ailleurs fortement contribué au déclin de cette filière. Depuis 1999, cette bactérie a été mise en évidence sur anthurium, à

Les plantes flétries en décomposition, les débris organiques de même que tout matériel végétal (plants, tubercules de pomme de terre, pieds de banane, rhizomes d'*Heliconia*, d'*Anthurium*,

boutures de *Pothos*) ne manifestant pas de symptômes sont considérés comme des réservoirs de l'inoculum car porteurs d'infections latentes. A partir de cet inoculum primaire, l'infection des plantes hôtes se fait soit par pénétration naturelle dans les racines, soit par des blessures (dégâts mécaniques ou piqûres de nématodes), mais aussi par infection de la tige à la faveur de blessures de taille avec des outils souillés. Une fois implantée dans les tissus vasculaires de la plante, la bactérie se multiplie et finit par boucher les vaisseaux, provoquant le symptôme caractéristique de flétrissement foliaire, qui se répand très vite à la plante entière et aboutit généralement à la mort. En cas de forte attaque, on peut observer une exsudation à l'aisselle des feuilles de tomate ou à la base des rhizomes chez *Anthurium*. Cette exsudation rend possible une dissémination rapide de la bactérie par l'eau de pluie (par éclaboussure ou ruissellement), les animaux, les outils agricoles, voire certains insectes dans le cas de la maladie de Moko sur bananier.

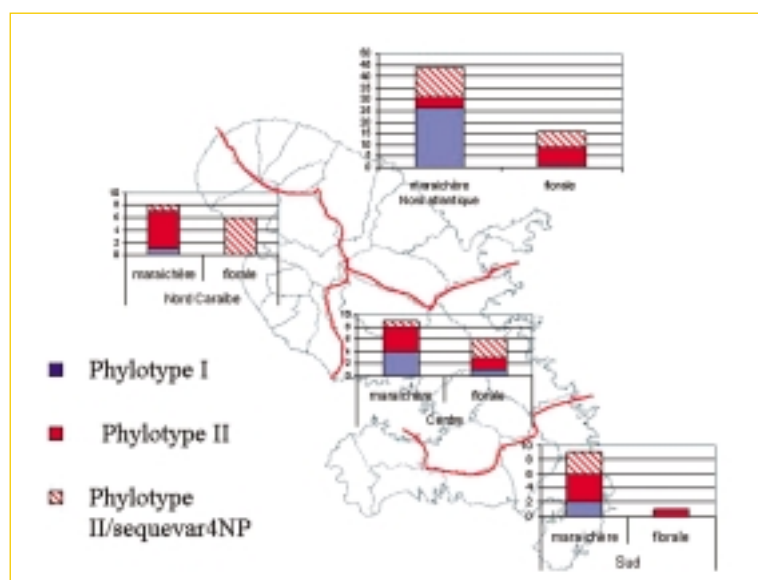
La forte variabilité et la capacité d'adaptation de cet agent pathogène rendent d'autant plus difficile la mise en place de stratégies de lutte efficaces et durables. Les résistances variétales disponibles contre *R. solanacearum* sont le plus souvent partielles (résistance chez la tomate, tolérance chez le piment), et surtout très dépendantes des conditions environnementales. Des lignées ou variétés sélectionnées dans une région précise contre une population pathogène donnée se révèlent souvent inefficaces face à des populations originaires d'autres zones géographiques. La résistance de

la lignée de tomate Hawaii 7996, l'un des générateurs de résistance les plus stables, est ainsi contrôlée par un locus souche-spécifique ; cette variété s'est montrée très sensible aux souches taiwanaises. Certains fabricants de semences, dont les équipes de création variétale se trouvent en Asie, prennent soin d'évaluer leurs lignées les plus prometteuses dans les petites Antilles, où les populations locales de *R. solanacearum* semblent beaucoup plus agressives (certains évoquent même des différences marquées de comportement variétal entre la Martinique d'une part et Trinidad et la Jamaïque d'autre part).

Les données récentes de phylogénie moléculaire, le séquençage de trois génomes complets et la mise à disposition d'une puce à ADN sont actuellement exploités dans le cadre d'un projet inter instituts (Cirad, CNRS, INRA) associant notamment le Pôle de Protection des Plantes de la Réunion et le PRAM, pour revisiter le déterminisme génétique du pouvoir pathogène et les propriétés de résistance variétale chez les Solanacées à graines. L'enjeu est d'orienter durablement les stratégies de sélection de variétés résistantes.

Le flétrissement bactérien ne s'exprime pas dans certains type de sols tels que les vertisols de la Grande Terre en Guadeloupe (Prior *et al.*, 1993). En fait, le mécanisme de cette résistance est purement physique (séquestration des bactéries dans les feuillettes d'argile), et a été annihilé par la mise en place de l'irrigation. *Ralstonia solanacearum* se maintient en réalité dans tous les types de sol.

Répartition géographique des différents phylotypes de *R. solanacearum* en cultures florales et maraîchères, sur les quatre zones agropédoclimatiques de la Martinique



Actuellement, la seule stratégie véritablement efficace réside dans la combinaison de l'utilisation de variétés partiellement résistantes avec des pratiques prophylactiques strictes : désherber massivement pour éviter le maintien de l'inoculum, éviter les rotations entre Solanacées, mais aussi entre Solanacées et Cucurbitacées, implanter des plantules saines. L'obtention de plants sains passe par le contrôle et la désinfection de l'eau d'irrigation, comme celle prati-



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ano G., Anaïs G. et al., 2004. *L'amélioration de la tomate pour les régions tropicales de plaine : travaux en Guadeloupe*, *Phytoma - La défense des végétaux* 573 : 23-25.

Deberdt P., Olivier J., Thoquet P., Quénehervé P. & Prior P., 1999. *Evaluation of bacterial wilt resistance on tomato lines near-isogenic for the Mi gene conferring resistance to the root-knot nematode*, *Plant Pathology*, 48 : 415-424.

Fegan M. & Prior P., 2005. *How complex is the "Ralstonia solanacearum species complex", Bacterial wilt disease and the Ralstonia solanacearum species complex* (C. Allen, P. Prior & A. C. Hayward eds), *Madison, APS Press*.

Polston J. E. & Anderson P. K., 1997. *The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the western hemisphere*, *Plant Disease* 81(12) : 1358-1369.

Maladie virale
(TYLCV) sur tomate

quée avec succès en Angleterre dans les pépinières de pomme de terre. Une voie prometteuse, expérimentée en Asie et en Afrique du Sud, est l'utilisation de cultures associées ou de rotations assainissantes à base d'Alliacées ou d'œillets d'Inde (*Tagetes patula*).

LES MALADIES À BEGOMOVIRUS DE LA TOMATE

Les begomovirus sont responsables de nombreuses maladies économiquement importantes sur des cultures vivrières (manioc, patate douce), maraîchères (cucurbitacées, crucifères) et industrielles (coton). Ils sont transmis par *Bemisia tabaci*, un aleurode qui est aussi un ravageur sur le même type de cultures et sur des plantes ornementales (*Poinsettia*, *Lantana*). Depuis les années 80, avec l'intensification des cultures, de nouveaux biotypes de *B. tabaci* plus polyphages et plus efficaces dans la transmission des begomovirus que les populations connues précédemment ont été identifiés. On a alors observé des pullulations et une large dissémination dans le monde entier de cet insecte et des virus qu'il transmet. Ce phénomène est aggravé par le phénomène de recombinaison interspécifique qui existe chez les begomovirus et qui conduit à la création de nouvelles espèces virales pouvant présenter des propriétés biologiques nouvelles. L'évolution des populations virales pose un sérieux problème pour la durabilité des résistances.



Depuis 1990, on assiste dans la zone Caraïbe et en Amérique centrale à l'émergence de maladies à begomovirus sur tomates. Elles font suite aux pullulations d'aleurodes *B. tabaci* biotype B, vecteur du virus dans ces régions. Les begomovirus représentent la principale contrainte virale de la tomate cultivée toute l'année en plein champ dans ces régions (Polston & Anderson, 1997). En Guadeloupe et en Martinique, les populations de vecteur ont été observées depuis 1990 et une première maladie causée par le PYMV est apparue sur tomate en 1991 puis en Martinique en 1992. Depuis 2001, le TYLCV qui est responsable de dégâts beaucoup plus graves a été identifié dans les deux îles (Urbino, Gérion et al., 2003).

On ne connaît pas actuellement d'exemple de contrôle efficace des maladies à begomovirus dans le monde. Il n'y a pas de variétés résistantes à la plupart des espèces de begomovirus connues. De nombreuses stratégies, basées sur le contrôle du vecteur avec des traitements chimiques lourds et des pratiques culturales pour limiter les populations de vecteur et les sources d'inoculum viral ont été appliquées avec un certain succès dans des cultures industrielles. Cependant, la durabilité de ces méthodes est limitée par les risques de pollution des produits maraîchers, l'apparition de population de vecteur résistante aux pesticides, l'introduction d'espèces virales d'origine étrangère ou l'émergence de nouvelles maladies issues de recombinaison entre begomovirus.

Dans le cadre du projet européen "BETOCARIB", couvrant cinq îles de la Caraïbe, des recherches ont été menées sur le pathosystème "*Bemisia*/begomovirus/tomate" pour mieux comprendre le développement des épidémies et pouvoir en déduire des stratégies intégrant plusieurs méthodes de lutte. A partir de la caractérisation des différents begomovirus présents, des enquêtes et des expérimentations ont été conduites pour identifier les facteurs clés responsables des épidémies (pratiques culturales, plantes réservoirs, niveaux de population des vecteurs et des sources d'inoculum). Les résultats ont été utilisés pour établir des modèles qui sont en cours de validation par le biais d'enquêtes. Ces modèles ont permis de proposer des stratégies de lutte (pratiques culturales, variétés résistantes) qui sont actuellement en cours d'évaluation dans différents agrosystèmes à Cuba, en Martinique et à Trinidad.

Quénéhervé P., Topart P. & Martiny B., 1998. *Mucuna pruriens* and other rotational crops for control of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* in vegetables in polytunnels in Martinique, *Nematropica* 28 : 19-30.

Urbino C., Gérion A. L. et al., 2003. "Les maladies à begomovirus chez la tomate dans les départements français d'Outre-Mer. I - Les départements français d'Amérique", *Phytoma* 556 : 52-55.

Les études réalisées dans le cadre de ce projet ont permis d'obtenir une cartographie des maladies, des outils de diagnostic des begomovirus, et de connaître la dynamique de population du vecteur au cours de l'année et les facteurs clés du déclenchement de la maladie. En Guadeloupe, les principales zones à risque pour le développement de la maladie sont les zones de cultures maraîchères où sévissent à la fois les populations de vecteur et les begomovirus. La tomate semble être le principal réservoir de virus. La lutte contre le vecteur seul ne peut être efficace car le nombre d'insectes suffisant pour propager la maladie est très inférieur au seuil que l'on peut espérer atteindre avec des insecticides ou un contrôle biologique des populations.

Les stratégies actuelles visent à retarder le plus possible le stade de contamination des parcelles de manière à réduire les pertes de rendement sur les plantes. Il s'agit donc de protéger physiquement les pépinières vis-à-vis des vecteurs, d'éliminer les résidus de culture en fin de récolte, d'éviter de juxtaposer en champ des parcelles infectées et des jeunes parcelles non infectées, ou de placer des jeunes parcelles sous le vent des parcelles infectées.

Des études génétiques sont en cours pour identifier des sources de résistance aux begomovirus. Il est clair que les variétés résistantes ont un rôle important à jouer dans le contrôle de ces maladies, et que la durabilité des résistances est conditionnée par une réduction de la pression en vecteur infectieux.

PERSPECTIVES

Sur ces trois exemples, on mesure combien la bonne connaissance des populations patho-

gènes est un gage de réussite de la lutte. Pour ces trois bioagresseurs, la solution de l'éradication est complètement illusoire, vu leur polyphagie, leur capacité d'adaptation à différents milieux, leur capacité de dissémination pour certains. Les agriculteurs doivent désormais s'habituer à vivre avec ces maladies, en utilisant du matériel végétal amélioré et en mettant en pratique des stratégies de lutte qui maintiennent les populations pathogènes à des niveaux suffisamment bas pour ne pas atteindre le seuil de nuisibilité économique.

Sur tomate, par exemple, il faut désormais disposer de variétés de tomate cumulant les résistances aux *Meloidogyne* (gène *Mi*), à *Ralstonia solanacearum* et aux begomovirus, tout en étant adaptées aux conditions tropicales humides. Des familles comportant la double résistance au flétrissement bactérien et aux virus sont en cours de développement à l'INRA de Guadeloupe (Ano, Anais et al., 2004). Le greffage pourrait permettre de cumuler les résistances aux bioagresseurs telluriques (nématodes, *R. solanacearum*), des caractères agronomiques intéressants et/ou une résistance à des bioagresseurs aériens (begomovirus). Cette technique nécessite cependant un véritable savoir-faire et est coûteuse en main-d'œuvre.

Il y a également la nécessité de mise en place d'une véritable filière de production de plants certifiés sains, capable de fournir aux producteurs des plants exempts de virus et d'infections latentes de *R. solanacearum* apportés par l'eau d'irrigation. Enfin des méthodes de lutte innovantes, incluant des rotations assainissantes et non hôtes, l'utilisation de biopesticides, sont à développer et promouvoir.