

## **Analyse de risques et impact sur la gestion des maladies, le cas de l'échaudure des feuilles de la canne à sucre en Guadeloupe.**

J. H. Daugrois<sup>1</sup>, P. Champoiseau<sup>1</sup> et P. Rott<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), Station de Roujol, UPR Multiplication Végétative, Petit-Bourg, Guadeloupe, F-97170 France. <sup>2</sup>UMR BGPI (Biologie et Génétique des Interactions Plante-Parasite), Cirad-Inra-Montpellier SupAgro, TA A-54/K, Campus International de Baillarguet, Montpellier Cedex 5, F-34398 France.

### **RESUME**

Les spécificités culturelles de la canne à sucre, telles que son mode de culture pérenne (5 à 10 ans), son cycle de récolte annuel et son mode de propagation par bouturage jouent un rôle important dans la dispersion et le développement des maladies systémiques de cette plante. Une bonne connaissance ainsi que la prise en compte de ces spécificités est nécessaire pour mener une lutte efficace contre les maladies de la canne à sucre, et notamment contre l'échaudure des feuilles. Dans ce but, les recherches menées en Guadeloupe visent à mieux comprendre le cycle infectieux et l'épidémiologie de cette maladie.

L'étude des populations épiphytes de *X. albilineans* a permis de mettre en évidence, pour la première fois, des contaminations de la phyllosphère de la canne à sucre préalablement à la contamination systémique des plantes. La présence de populations bactériennes épiphytes apparaît nécessaire, mais non suffisante, à la contamination des tiges après transmission de *X. albilineans* par voie aérienne. Chez les variétés de canne à sucre sensibles, les populations bactériennes sont corrélées au cumul des précipitations pendant la période de croissance de la plante.

La pérennité de la résistance des variétés cultivées peut être menacée par la variabilité de l'agent causal. En effet, il existe des variants d'agressivité au sein des populations de *X. albilineans* de Guadeloupe. Cependant, à ce jour, aucune relation entre la variabilité génétique et les variants de pathogénie de *X. albilineans* n'a pu être mise en évidence. La découverte d'une telle relation permettrait de mieux appréhender les risques d'évolution de cet agent pathogène.

La limitation de la progression de *X. albilineans* dans la tige est un caractère majeur de la résistance à l'échaudure des feuilles. Ce caractère a été déterminé chez 65 clones issus de 5 espèces apparentées à la canne à sucre. Le potentiel de résistance présent chez les clones de l'espèce sauvage *S. spontaneum* a été démontré.

Ces trois études conjointes permettent une bonne appréhension des risques liés à la maladie de l'échaudure des feuilles, et ouvrent des pistes pour la gestion de ces risques.

**Mots clés :** *Xanthomonas albilineans*, épidémiologie, variabilité, résistance durable.

### **INTRODUCTION**

La canne à sucre (*Saccharum* spp.) est une monocotylédone de la famille des Poacées, de la tribu des Andropogonées et du genre *Saccharum*. La canne à sucre fournit plus des deux tiers de la production mondiale de sucre et est une des plantes les mieux adaptées pour la production de bioéthanol. Elle constitue la source exclusive de sucre pour les pays en développement. Dans ces pays, la consommation augmente régulièrement et la satisfaction des besoins est souvent une priorité nationale. Les recherches menées au CIRAD contribuent à augmenter la production

en améliorant la productivité et la qualité, dans des conditions climatiques et socioéconomiques très diversifiées. Comme pour beaucoup de plantes, les maladies présentes chez la canne à sucre constituent des facteurs limitant importants de la production sucrière. Plus de 60 maladies d'origines diverses ont été répertoriées pour la canne à sucre (Rott et al., 2000). Pour lutter contre ces maladies, aucun traitement sanitaire n'est pratiqué dans la plupart des zones de production tout comme en Guadeloupe. De plus, la propagation des variétés (clones) est effectuée par bouturage et le système de culture est pluriannuel (4 à 10 ans), pour chaque cycle de plantation. Ces caractéristiques propres à la canne à sucre en font un modèle d'étude quasiment unique mais très diversifié car présent sur plus de 18 millions d'hectares répartis dans 82 pays.

La lutte contre les maladies de la canne à sucre peut se résumer à l'utilisation de variétés résistantes (Walker, 1971) et la production de plants de bonne qualité sanitaire pour la plantation (Egan et Sturgess, 1980 ; Flynn et Anderlini, 1990). La sélection de variétés résistantes aux maladies, présentes et à venir, est donc primordiale pour la pérennisation de la culture. Cette sélection nécessite une bonne connaissance des maladies et de leurs agents pathogènes. Si un grand nombre de travaux ont été réalisés sur les maladies de la canne à sucre, les études génétiques de la résistance de cette plante aux maladies ont longtemps été limitées par la complexité de l'organisation de son génome (D'Hont et al., 1996).

Quoiqu'il en soit, la gestion de la résistance des variétés de canne est un des points importants dans la lutte contre les maladies et implique nécessairement une analyse des risques épidémiologiques. Ce type d'étude a été réalisé en Guadeloupe pour lutter contre la maladie de l'échaudure des feuilles.

L'échaudure des feuilles de la canne à sucre, causée par *Xanthomonas albilineans*, est présente dans plus de 60 pays, dont la Guadeloupe. Elle constitue une des maladies majeures de cette plante, et cette situation est due non seulement à son effet sur la production de sucre et sur la perte de variétés en collection ou lors des processus de sélection, mais aussi à l'existence d'une phase de latence, au cours de laquelle les plantes peuvent être infectées sans pour autant montrer de symptômes (Ricaud et Ryan, 1989). Une autre caractéristique de la maladie est l'observation d'épidémies sporadiques.

De nombreuses recherches ont déjà été menées sur l'échaudure des feuilles de la canne à sucre. Si certains aspects de la maladie sont bien connus (Rott et Davis, 2000), tels que l'expression des symptômes qui peuvent apparaître sur les plants malades, ou encore le rôle de la toxine (albucidine) dans cette symptomatologie (Birch et Patil, 1987), d'autres aspects sont encore méconnus.

L'échaudure des feuilles est connue depuis longtemps pour être transmise par les outils de coupe et par l'utilisation de boutures infectées (Ricaud et Ryan, 1989). Cependant, de nombreuses observations, telle que la présence de bactéries dans les gouttelettes de gutation, suggèrent la possibilité d'une contamination des plantes par voie aérienne (Klett et Rott, 1994 ; Saumtally et al., 1996). *X. albilineans* envahit le xylème de la plante et cette bactérie se différencie facilement d'autres bactéries du même genre par son mode d'action et l'expression de son pouvoir pathogène. Néanmoins, on observe une certaine diversité au sein de cette espèce (Davis et al., 1997), et cette diversité pourrait jouer un rôle dans les variations d'expression de la maladie.

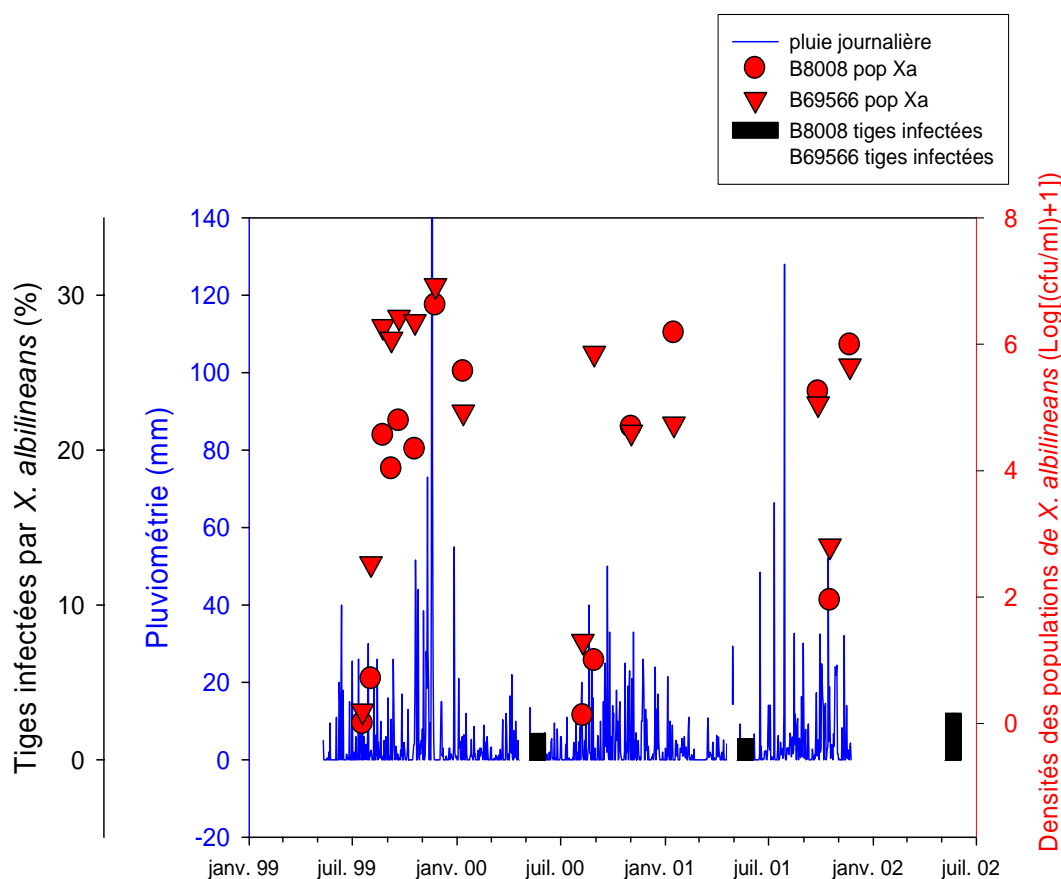
Les recherches menées en Guadeloupe ont été développées pour mieux comprendre le cycle infectieux de la maladie afin d'en renforcer la lutte, soit par la création de variétés résistantes, soit par la production de plants assainis. Ces études concernent l'épidémiologie, la variabilité de l'agent pathogène et la résistance du complexe *Saccharum* à l'échaudure des feuilles.

## **DISSEMINATION DE LA MALADIE ET OUTILS DE PREDICTION**

Le suivi de la dynamique des populations épiphytes de *X. albilineans* en Guadeloupe, dans des parcelles de canne à sucre mises en place avec des plants sains issus de culture *in vitro*, a permis de mettre en évidence, pour la première fois, une contamination des plantes précédée par une contamination de la phyllosphère de la canne à sucre. La contamination de la phyllosphère a été appréhendée par la mesure des populations bactériennes de *X. albilineans* dans les gouttes de rosée ou de pluie présentes à la surface des feuilles le matin. L'étude a révélé l'existence de fortes densités de populations de *X. albilineans* dans ces eaux de surface, préalablement à l'observation de symptômes nécrotiques sur les feuilles. Ces observations laissent supposer qu'une phase épiphyte chez *X. albilineans* joue un rôle important dans le cycle infectieux de la maladie. Cette phase épiphyte est favorisée par la pluie et les événements cycloniques ainsi que par la proximité de source d'inoculum (Daugrois et al., 2006). En effet, une relation a été mise en évidence, sur trois cycles de culture et sur un cultivar sensible de canne à sucre, entre le cumul des pluies au cours d'un cycle de culture et le pourcentage de tiges infectées par *X. albilineans* (Daugrois et al., 2006). Toutefois, l'agressivité de la souche contaminant la phyllosphère et la densité des populations de *X. albilineans* présentes à la surface des feuilles sont déterminantes pour l'infection des plantes précédant l'installation des populations épiphytes de l'agent pathogène (Daugrois et al., 2003 ; Daugrois et al., 2006). En effet, les souches les plus virulentes sont plus aptes à pénétrer les tissus foliaires et favorisent ainsi les phénomènes d'ingression et d'égression entre la surface et les tissus internes de la plante (Beattie et Lindow, 1995 ; Hirano et Upper, 1993). Ces processus sont favorables au développement de fortes populations bactériennes dans l'eau, à la surface des feuilles, et consécutivement, à la dispersion de l'agent pathogène de plante à plante.

## **IMPACT DE LA RESISTANCE DE LA CANNE A SUCRE SUR LA DISSEMINATION DE LA MALADIE**

Il a été démontré que la colonisation de la phyllosphère de la canne à sucre par *X. albilineans* est une étape importante du cycle infectieux de l'échaudure des feuilles en Guadeloupe. En revanche, l'impact du niveau des résistance de variétés de canne à sucre sur la colonisation de la phyllosphère et la dynamique des populations bactériennes épiphytes de *X. albilineans* au cours de cycles de récolte successifs est inconnue. Afin de répondre à cette problématique, nous avons mesuré les populations épiphytes de *X. albilineans* pendant trois cycles de récolte à la surface des feuilles de deux variétés de canne à sucre qui diffèrent par leur niveau de résistance à l'échaudure des feuilles (Daugrois et al., 2005). Après transfert au champ de plants sains de canne à sucre issus de culture *in vitro*, nous avons mesuré les populations bactériennes de *X. albilineans* régulièrement dans les gouttes de rosée prélevées à la surface des feuilles. Après le début de la colonisation de la canopée par *X. albilineans*, la densité des populations bactériennes moyennes a progressé plus rapidement sur les feuilles de la variété sensible que sur celles de la variété résistante. Néanmoins, en fin de colonisation de la phyllosphère de la canne à sucre, les densités de populations épiphytes moyennes de *X. albilineans* observées dans les gouttes de rosée étaient similaires pour les deux variétés étudiées (figure 1). La présence de l'agent pathogène dans les tiges de canne à sucre a été contrôlée par isolement des bactéries à chaque cycle de récolte, après 11 à 12 mois de croissance des plantes. La proportion de tiges infectées par *X. albilineans* a varié en fonction du niveau de résistance des variétés et, pour la variété sensible, en fonction des densités de populations épiphytes de l'agent pathogène (figure 1). L'importance des densités de populations bactériennes épiphytes est donc primordiale, mais non suffisante, dans le processus de contamination des tiges après transmission par voie aérienne de l'agent pathogène de l'échaudure des feuilles.



**Figure 1** : Evolution des populations épiphytes de *X. albilineans* sur les cultivars de canne à sucre B8008 et B69566, résistant et sensible, respectivement, à l'échaudure des feuilles, et contaminations des tiges associées.

La vie épiphyte de *X. albilineans* est donc une réalité, du moins dans les conditions tropicales humides de la Guadeloupe. Cette phase épiphyte est une étape clé du cycle infectieux de cette maladie, notamment pour les variétés sensibles, et celle-ci est fortement influencée par les conditions climatiques locales. Dans ces conditions, l'utilisation d'un schéma de multiplication *ex situ* de plants assainis (pépinières) ne permet pas une lutte efficace contre cette maladie si cette lutte n'est pas accompagnée par une sélection de variétés résistantes.

## IMPACT DE LA VARIABILITE DE L'AGENT PATHOGENE SUR L'EXPRESSION DE LA MALADIE

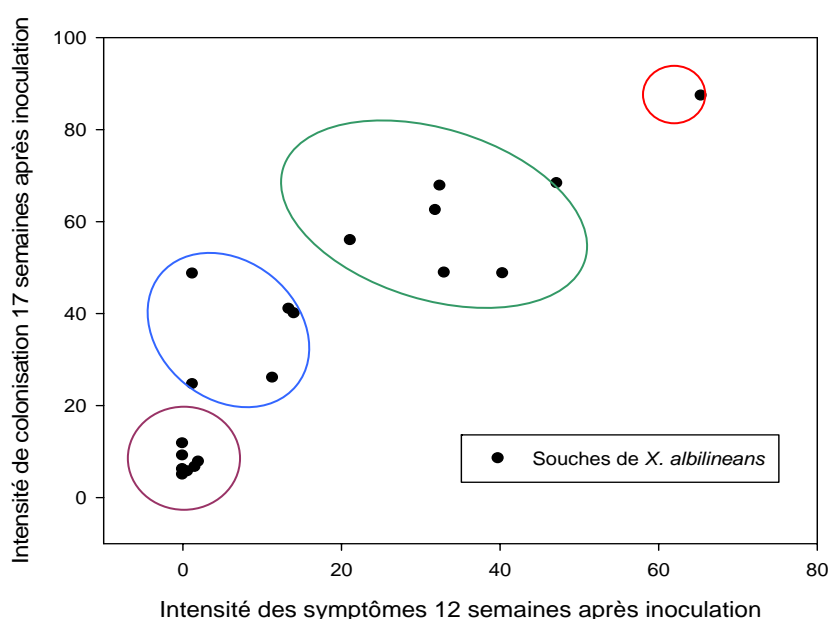
La pérennité de la résistance des variétés cultivées de canne à sucre peut être menacée par l'existence de variants de *X. albilineans*. En effet, il a été montré une variabilité d'agressivité entre différentes souches de *X. albilineans*, même lorsque celles-ci sont issues d'une même zone géographique (Mohamed et al., 1996). Une étude de la variabilité d'agressivité de souches de Guadeloupe sur plusieurs cultivars de canne à sucre n'a pas permis de mettre en évidence l'existence de races, mais de conclure à celle de variants de pathogénie, ou pathotypes, au sein de cette espèce (Daugrois et al., 2000).

L'association de cette variabilité d'agressivité à la variabilité d'un ou de plusieurs caractères génétiques chez cette agent pathogène permettrait d'identifier les gènes liés à la pathogénie de *X. albilineans*, et cette pathogénie semble différente de celle d'autres bactéries pathogènes, y compris au sein du genre *Xanthomonas*. En effet, pour nombre de bactéries Gram-négatives

pathogènes des plantes et des animaux, la pathogénie est liée à la présence du système de sécrétion de type III. Ce système permet aux bactéries pathogènes d'injecter dans la cellule de l'hôte des protéines effectrices, jouant un rôle clé dans la pathogénie de ces agents pathogènes (Buttner et Bonas, 2002). Or, ce système de sécrétion de type III n'a pas pu être identifié chez *X. albilineans*, laissant supposer que d'autres mécanismes liés à la pathogénie existent chez cette espèce. En revanche, *X. albilineans* produit une toxine, l'albicidine, qui joue un rôle clé dans la pathogénie de cette bactérie (Birch et Patil, 1987). La description et le séquençage récent des gènes impliqués dans la production de cette toxine (Royer et al., 2004) nous fournissent la matière première pour étudier la variation de gènes liés à la pathogénie de *X. albilineans*. Nous avons observé des variations de production d'albicidine *in vitro* chez 63 souches de *X. albilineans* prélevées en Guadeloupe entre 1999 et 2002. Cependant, aucune variation des gènes impliqués dans la synthèse de cette toxine n'a été mise en évidence pour les souches issues de Guadeloupe, alors que pour des souches de *X. albilineans* isolées à travers le monde, quatorze haplotypes et deux groupes génétiques majeurs ont été identifiés (Champoiseau et al., 2006a). Par ailleurs, aucun lien entre la diversité des gènes de biosynthèse de l'albicidine, la variation de production d'albicidine et la variation de l'agressivité des souches n'a pu être mis en évidence (Champoiseau et al., 2006a).

Ces résultats nous ont conduits à émettre l'hypothèse que d'autres gènes sont impliqués dans l'expression du pouvoir pathogène de *X. albilineans*.

Afin de rechercher ces gènes et d'élargir la base d'étude de *X. albilineans*, une collection regroupant 147 souches de *X. albilineans*, prélevées dans la plupart des zones cannières de Guadeloupe, a été constituée. Ces 147 souches appartiennent au même groupe sérologique, parmi les trois groupes identifiés chez *X. albilineans* (Rott et al., 1994). Soixante quinze souches ont été choisies sur la base de la quantité d'albicidine produite *in vitro*, mesurée grâce à un bio essai, et par rapport à leur origine géographique dans l'archipel. Elles ont ensuite fait l'objet d'une analyse de pathogénie sur la base de leur capacité à coloniser la tige de canne à sucre après inoculation et à produire des symptômes sur un cultivar sensible. Dix-neuf souches ont ensuite été sélectionnées parmi les 75 souches étudiées pour confirmer, dans une deuxième répétition de l'essai, la variabilité de la pathogénie observée (figure 2). Ces travaux ont permis



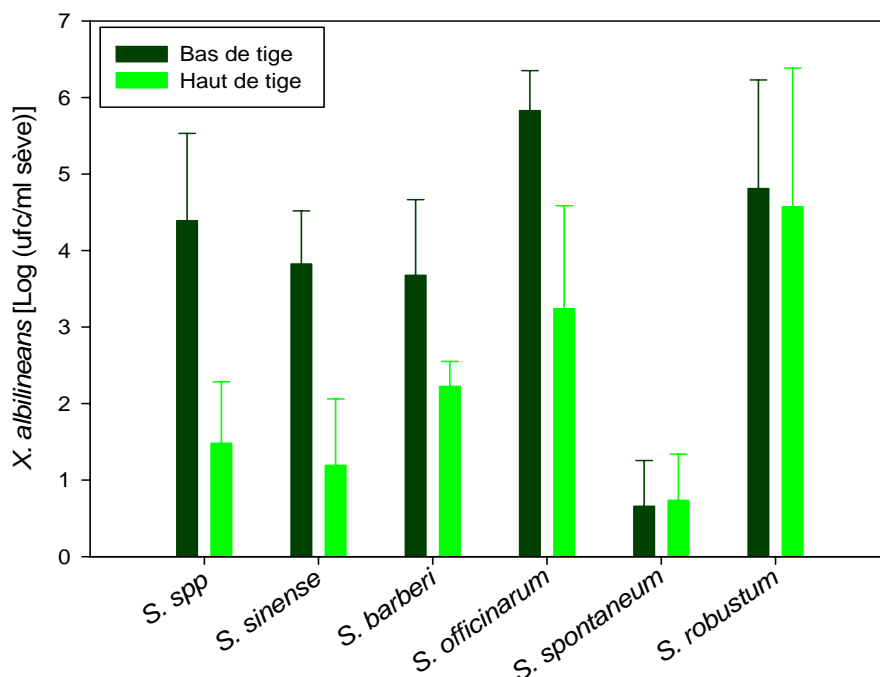
**Figure 2 :** Distribution de 19 souches de *X. albilineans* issues de Guadeloupe en fonction de l'intensité des symptômes foliaires et de l'intensité de colonisation des tiges après inoculation du cultivar de canne à sucre B69566.

d'identifier quatre groupes de pathogénie différents (Champoiseau et al., 2006b).

Des variations génétiques ont pu être identifiées par analyse de polymorphisme des fragments d'amplification (AFLP), à l'aide de seize couples d'amorces, avec les neuf souches appartenant à quatre groupes de pathogénie différents. Toutefois, ces variations génétiques n'ont pas pu être reliées aux variations de pathogénie. De la même façon, nous avons recherché chez *X. albilineans* la présence de quarante gènes impliqués dans la pathogénie d'espèces bactériennes proches. Seuls trois de ces gènes ont pu être identifiés chez *X. albilineans*. De plus, ces trois gènes sont présents chez les neuf souches de pathogénie différente, et chacune de leur séquence est identique chez toutes les souches (Champoiseau et al., 2006b). L'origine de la variation de l'agressivité de souches proches génétiquement demeure donc inconnue. Toutefois, seule une faible part du génome a été étudiée en détail et aucune modification majeure du génome n'a été mise en évidence à ce jour. De ce fait, il est possible que des mutations nucléotidiques simples dans un ou plusieurs gènes impliqués dans la pathogénie de *X. albilineans*, ou encore des variations de nature épigénétiques, sont responsables des variations de pathogénie observées. L'étude de la séquence complète du génome de *X. albilineans* devrait nous permettre, par comparaison avec d'autres bactéries phytopathogènes, d'identifier les gènes de pathogénies et de caractériser les mécanismes moléculaires impliqués dans l'interaction du couple *X. albilineans*/canne à sucre. La séquence complète du génome d'une souche de *X. albilineans* issue de cette étude a été déterminée au Génoscope et son annotation est en cours.

## **SOURCE GENETIQUE DE RESISTANCE A L'ECHAUDURE DES FEUILLES**

L'analyse de la résistance des clones de canne à sucre était à l'origine uniquement basée sur l'observation des symptômes foliaires, mais comme les plantes peuvent être contaminées sans montrer de symptômes (phase de latence) (Rott et Davis, 2000), l'analyse de la résistance des clones sur la base des symptômes foliaires a été abandonnée par plusieurs centres de création variétale. Par ailleurs, il a été démontré que la limitation de la progression de *X. albilineans* dans la tige est une caractéristique majeure de la résistance à l'échaudure des feuilles (Rott et al., 1997). C'est sur cette base que les techniques d'évaluation de la résistance des variétés de canne à sucre à l'échaudure des feuilles ont été modifiées en Guadeloupe. La résistance des clones est maintenant analysée en évaluant les populations bactériennes présentes dans le xylème de la tige, après inoculation ou infection naturelle, tout en tenant compte des symptômes lorsqu'ils apparaissent. Nous avons utilisé ces nouvelles techniques pour rechercher des sources de résistances chez 56 accessions issues de cinq espèces apparentées à la canne à sucre : *S. barberi*, *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. sinense* et *S. spontaneum*. Ces études ont permis d'identifier un potentiel de sources de résistance chez les clones de l'espèce sauvage *S. spontaneum* (figure 3) (Daugrois et al., 1998).



**Figure 3** : Densités des populations de *X. albilineans* dans le haut et le bas de tiges 5 mois après l'inoculation de clones appartenant à des espèces apparentées à la canne à sucre. Les populations ont été déterminées dans la sève extraite des tiges par centrifugation. Les barres d'erreurs représentent les écart-types.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'échaudure des feuilles est une maladie d'importance économique majeure dans de nombreux pays où la canne à sucre est cultivée. De nouvelles et importantes informations sont maintenant disponibles et celles-ci devraient modifier les méthodes de lutte contre cette maladie. Nous avons maintenant la preuve de l'existence : i/ de contaminations par voie aérienne de parcelles saines à la plantation et de mouvement de la bactérie de plante à plante, ii/ d'une variabilité génétique et de pathogénie chez l'agent causal *X. albilineans*, et iii/ que des sources génétiques de résistances sont présentes dans le complexe *Saccharum*. Toutefois, des recherches complémentaires sur la base génétique et physiologique de la virulence chez *X. albilineans* et sur les mécanismes et structure génétique de la résistance à l'échaudure des feuilles sont encore nécessaires. Les avancées techniques en biologie moléculaire ouvrent de nouvelles opportunités pour améliorer la compréhension des interactions hôte-pathogène dans le pathosystème *X. albilineans*/canne à sucre.

## BIBLIOGRAPHIE

- Beattie, G.A. and Lindow, S.E. (1995). The secret life of foliar bacterial pathogens on leaves. *Annual Review of Phytopathology* 33: 145-172.
- Birch, R.G. and Patil, S.S. (1987). Correlation between albicidin production and chlorosis induction by *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen. *Physiological Molecular Plant Pathology* 30: 199-206.
- Buttner, D. and Bonas, U. (2002). Getting across – bacterial type III effector proteins on their way to the plant cell. *EMBO Journal* 21: 5313-5322.

- Champoiseau, P., Daugrois, J.-H., Girard, J.-C., Royer, M. and Rott, P. (2006a). Variation in albicidin biosynthesis genes and in pathogenicity of *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen. *Phytopathology* 96: 33-45
- Champoiseau, P., Daugrois, J.-H., Pieretti, I., Cociancich, S., Royer, M. and Rott, P. (2006b). High variation in pathogenicity of genetically closely related strains of *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen, in Guadeloupe. *Phytopathology* 96: 1081-1091.
- Daugrois, J.H., Costet, L., Feldmann, P. and Rott, P. (1997). Leaf scald resistance in offspring of *Saccharum spontaneum* clones analysed by pathogen population densities. In: SASA., international society of sugar cane technologists. Abstracts of the pathology and molecular biology workshop. Mount Edgecombe, Afrique du Sud, SASA.
- Daugrois, J., Costet, L. and Rott, P. (1998). Resistance to leaf scald disease in wild relatives of sugarcane analysed by pathogen population densities. In: BSPP, ISPP, *ICPP98. Offered papers. Abstracts (themes 3, 4, 5 and miscellaneous)*. Birmingham, UK, BSPP, vol. 3, p. 3.4.7.
- Daugrois, J.H., Champoiseau, P., Boisne-Noc, R. and Rott P. (2000). Variability in pathogenicity of *Xanthomonas albilineans* in Guadeloupe. *Phytopathology* 90: S18.
- Daugrois, J.H., Dumont, V., Champoiseau, P., Costet, L., Boisne-Noc, R. and Rott, P. (2003). Aerial contamination of sugarcane in Guadeloupe by two strains of *Xanthomonas albilineans*. *European Journal of Plant Pathology* 109: 445-458.
- Daugrois, J.H., Champoiseau, P., Boisne-Noc, R. and Rott, P. (2005). Epiphytic colonization and infection by *Xanthomonas albilineans* of two sugarcane cultivars differing in resistance to leaf scald disease. *Proceedings of XXV ISSCT congress, Guatemala City, Guatemala, 2005*, pp. 678-685.
- Daugrois, J.H., Champoiseau P. and Rott P. (2006). Impact of rainfall on epiphytic colonization of sugarcane by the leaf scald pathogen and associated plant infection. *VIIIth ISSCT Pathology Workshop, Petit-Bourg, Guadeloupe (FWI), January 23-27, 2006*.
- Davis, M.J., Rott, P., Warmuth, C.J., Chatenet, M. and Baudin, P. (1997). Intraspecific genomic variation within *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen. *Phytopathology* 87: 316-324.
- D'Hont, A., Grivet, L., Feldmann, P., Rao, P., Berding, N. and Glaszmann, J.C. (1996). Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. *Molecular & General Genetics* 250: 405-413.
- Egan, B.T. and Sturgess, O.W. (1980). Commercial control of leaf scald disease by thermotherapy and a clean seed program. *Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists* 17: 1602-1606.
- Flynn, J.L. and Anderlini, T.A. (1990). Disease incidence and yield performance of tissue culture generated seedcane over the crop cycle in Louisiana. *Journal of American Society of Sugar Cane Technologists* 10: 113.



- Hirano, S.S. and Upper, C.D. (1993). Dynamics, spread, and persistence of a single genotype of *Pseudomonas syringae* relative to those of its conspecifics on populations of snap bean leaflets. *Applied and Environmental Microbiology* 59: 1082-1091.
- Klett, P. and Rott, P. (1994). Inoculum sources for the spread of leaf scald disease of sugarcane caused by *Xanthomonas albilineans* in Guadeloupe. *Journal of Phytopathology* 142: 283-291.
- Mohamed, I.S., Rott, P., Davis, M.J. and Chatenet, M. (1996). Differentiation of *Xanthomonas albilineans* strains based on multiplication of the pathogen in sugarcane varieties. *Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists* 22: 486-492.
- Ricaud, C. and Ryan, C.C. (1989). Leaf scald. In: Ricaud C, Ryan BT, Gillaspie AG and Hughes CG (eds). *Diseases of Sugarcane*, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, pp. 39-58.
- Rott, P., Davis, M.J. and Baudin, P. (1994). Serological variability of *Xanthomonas albilineans*, causal agent of sugarcane leaf scald disease. *Plant Pathology* 43: 344-349.
- Rott, P., Mohamed, I.S., Klett, P., Soupa, D., de Saint-Albin, A., Feldmann, P. and Letourmy, P. (1997). Resistance to leaf scald disease is associated with limited colonization of sugarcane and wild relatives by *Xanthomonas albilineans*. *Phytopathology* 87: 1202-1213
- Rott, P., Bailey, R.A., Comstock, J.C., Croft, B.J. and Saumtally, A.S. editors (2000). *A guide to sugarcane diseases*. La librairie du Cirad, Montpellier, France, 339 pages.
- Rott, P. and Davis, M.J. (2000). Leaf scald. In: Rott P, Bailey RA, Comstock JC, Croft BJ and Saumtally AS (eds). *A Guide to Sugarcane Disease*, La librairie du Cirad, Montpellier France, pp. 38-44.
- Royer, M., Costet, L., Vivien, E., Bes, M., Cousin, A., Damais, A., Pieretti, I., Savin, A., Megessier, S., Viard, M., Frutos, R., Gabriel, D.W. and Rott, P. (2004). Albicidin pathotoxin produced by *Xanthomonas albilineans* is encoded by three large PKS and NRPS genes present in a gene cluster also containing several putative modifying, regulatory, and resistance genes. *Molecular Plant-Microbe Interaction* 17: 414-427.
- Saumtally, S., Medan, H. and Autrey, L.J.C. (1996). Evolution of aerial infection of leaf scald caused by *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson in sugarcane. *Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists* 22: 493-496.
- Walker, D.I.T. (1971). Breeding for resistance. In: Heinz JD (ed). *Sugarcane Improvement Through Breeding*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 445-502.