

Incidence des conditions d'application sur l'efficacité des fongicides utilisés en post-récolte pour la banane

Jacques Joas^{a*}, Sophie Malisart^b

^a Cirad,
Station de la Bretagne,
BP 20,
97408 Saint-Denis Cedex 9,
France

^b Cirad-Fhlor,
Station de Moutte,
97200 Fort-de-France,
Martinique, France

jacques.joas@cirad.fr

Effect of the application techniques on the effectiveness of the fungicides used in the banana postharvest.

Abstract — Introduction. Disease control of bananas, necessary for ensuring the postharvest quality of the marketed product, depends very much on the techniques used for the fungicide application. A survey carried out *in situ* in Martinique underlined that fungicide application times and techniques were variable. Then, various techniques were tested to define the best operating conditions. **Materials and methods.** Several factors which, at the shed stage, can influence the effectiveness of the postharvest fungicide applications were studied: the use or not of alum, the application time, the nozzle type and flow, and the spraying angle. The treatments were carried out on fruits after inoculation with *Colletotrichum musae* on fruit injuries and crowns. The fruits were then preserved for 8 d at 14 °C, and put in maturation according to industrial simulation (24 h; 1 L ethylene × m⁻³) before being stored for 5 d at 22 °C. The necrose surface or the stalk deterioration was then measured. **Results and discussion.** The alum added to the thiabendazole decreased the effectiveness of this fungicide when it was used alone. The spraying time affected the performance of the fungicides, an application of 30 s being the desirable minimum. The combination of the imazalyl with the thiabendazole or the bitertanol had a favorable effect on controlling the canker in the crown decay. The comparison of the flows tested showed that a flow of a nozzle of about 0,4 L × min⁻¹, applied for 30 s, guaranteed the effective passage of the fungicide solution between the fruits and the banana hands. The size of the drops (thin or wide droplets) intervened little when the sprayed volume and the contact time were respected (5 L per tray for 30 s). The fungicide effectiveness was improved by using a “bottomless” tubular tray, using a spray over and under the fruits. **Conclusion.** The true action of fungicides is directly related to a quality of application which integrates the nozzle time and flow. The recommendations given, dependent on severe experimental inoculation, are probably over-estimated; they can however be used as a reference in situations where the parasite pressure is very high.

Martinique (France) / Musa sp. / Colletotrichum musae / postharvest decay / stored products pest control / disinfection / control methods / performance testing

Incidence des conditions d'application sur l'efficacité des produits fongicides utilisés en post-récolte pour la banane.

Résumé — Introduction. Le contrôle sanitaire des bananes, essentiel pour assurer la qualité après-récolte du produit commercialisé, dépend beaucoup des techniques d'application des fongicides. Une enquête réalisée *in situ* en Martinique a mis en évidence des temps et des techniques d'application des produits fongicides variables. Différentes techniques ont été expérimentées pour définir les meilleures conditions opératoires. **Matériel et méthodes.** Plusieurs facteurs qui, au stade du hangar, peuvent influencer l'efficacité des applications de fongicides après-récolte ont été étudiés : l'emploi ou non d'alun, le temps d'application, le type et le débit des buses, l'angle des pulvérisations. Les traitements ont été réalisés sur fruits après inoculation contrôlée avec *Colletotrichum musae* sur blessures et sur couronnes. Les fruits ont ensuite été conservés 8 j à 14 °C, puis mis en maturation en simulation industrielle (24 h ; 1 L éthylène × m⁻³) avant d'être stockés 5 j à 22 °C. La surface des nécroses ou l'altération des pédoncules ont alors été mesurées. **Résultats et discussion.** L'alun ajouté à du thiabendazole a diminué l'efficacité du fongicide utilisé seul. Le temps d'aspersion a eu un effet sur la performance des produits fongicides, une application de 30 s étant le minimum souhaitable. La combinaison de l'imazalyl au thiabendazole ou au bitertanol a eu un effet favorable pour le contrôle du chancre dans les pourritures de couronne. La comparaison des débits testés a montré qu'un débit de buse de l'ordre de 0,4 L × min⁻¹, appliqué pendant 30 s, garantissait le passage effectif de la solution fongicide entre les fruits et les bouquets. La taille des gouttes (fines ou grosses gouttelettes) a peu d'incidence quand le volume pulvérisé et le temps de contact sont respectés (5 L par tray pendant 30 s). Les performances ont été améliorées en utilisant un tray tubulaire « sans fond », faisant intervenir une pulvérisation par-dessus et par-dessous. **Conclusion.** L'action réelle des fongicides est directement liée à une qualité d'application qui intègre le temps et le débit. Les préconisations données, liées à une inoculation expérimentale sévère, sont probablement surestimées ; elles peuvent cependant servir de référence dans les situations où la qualité sanitaire laisse à désirer.

Martinique (France) / Musa sp. / Colletotrichum musae / maladie post-récolte / lutte antiparasite en entreposage / désinfection / méthode de lutte / contrôle de performance

* Correspondance et tirés à part

Reçu le 29 septembre 2000
Accepté le 6 juillet 2001

Fruits, 2001, vol. 56, p. 383–394
© 2001 Cirad/EDP Sciences
All rights reserved

RESUMEN ESPAÑOL, p. 394

1. Introduction

L'état sanitaire de la banane est une composante essentielle de sa qualité après-récolte. Les principales pathologies sont alors l'antrachnose et les pourritures de couronnes. Si l'agent pathogène spécifique de l'antrachnose (ou chancre du fruit) est un champignon (*Colletotrichum musae*), différents agents pathogènes, fongiques ou bactériens sont impliqués dans les pourritures de couronnes. La mycoflore la plus représentative est constituée de *Fusarium* sp., *C. musae* et *Cephalosporium* sp. [1, 2], mais la présence de bactéries (*Erwinia carotovora*, *Achromobacterium* spp.) a été parfois signalée [3]. L'altération des fruits (lésions, meurtrissures) provenant de parcelles à forte pression d'inoculum se traduit par un préjudice commercial. À l'extrême, elle provoque une maturation précoce de l'ensemble des fruits d'un ou plusieurs cartons pendant le transport ; cela pourrait être causé par l'éthylène produit à l'occasion du stress associé à la blessure [4], voire à l'éthylène synthétisé par le mycélium de *C. musae* [5]. Il est ainsi fréquent d'observer des cartons entièrement mûrs n'ayant qu'un seul bouquet de bananes abimé par carton.

Le contrôle de la qualité sanitaire des fruits est donc essentiel. Il dépendra en grande partie des techniques d'application des fongicides et du soin apporté à la désinfection des infrastructures de la filière [6].

Nous nous sommes intéressés à trois facteurs qui, au stade du hangar, peuvent influencer l'efficacité des applications de fongicides après-récoltes : l'emploi ou non d'alun, le temps d'application, le type et le débit des buses.



Figure 1.
Tray classique : plateau en plastique (longueur : 84 cm, largeur : 70 cm, profondeur : 12 cm), présentant trois rangées alvéolées légèrement arrondies et percées (sept trous par rangées) afin d'éviter que la solution de traitement ne reste au fond (photo J. Joas).

L'alun (sels d'aluminium) est un coagulant, qui va déstabiliser les particules colloïdales en neutralisant leurs charges négatives superficielles. Bien qu'aucune expérimentation ne l'ait encore mentionné, l'association de l'alun aux traitements fongicides pourrait avoir un impact sur la performance des matières actives. Le temps d'application de la solution fongicide est également susceptible d'influencer la qualité du traitement. En effet, les recommandations d'usage ayant fait l'objet de dérives dans le temps, des réponses aléatoires aux traitements réalisés ont pu être constatées et des contrôles in situ ont montré que la durée de pulvérisation pouvait varier de (4 à 300) s. Enfin, compte tenu des différentes combinaisons observées en conditions réelles entre le type et le débit des buses, il apparaissait souhaitable de préciser certaines relations de cause à effet déjà mises en évidence lors de l'évaluation de la performance des traitements [7].

L'étude entreprise a donc cherché à étudier la performance des traitements fongicides sur *C. musae* en fonction de techniques d'application faisant varier les trois facteurs identifiés.

Par ailleurs, en complément de ce premier volet d'expérimentation, nous avons également étudié l'influence éventuelle de l'angle de pulvérisation des traitements sur des bouquets de bananes placés sur « trays », ou plateaux, selon le type de système utilisé : tray usuel avec fond percé (*figure 1*) ou prototype de tray tubulaire sans fond (*figure 2*). Ce dernier modèle a permis d'étudier le taux de dilution de la solution fongicide en fonction du niveau de resuyage des fruits [8] et de relier l'efficacité de l'application sur tray à une nouvelle technique d'aspersion croisée par-dessus/par-dessous les lots de bananes à traiter.

2. Matériel et méthodes

2.1. Préparation des fruits, inoculations et mesures

Les manipulations ont été réalisées sur des mains de bananes de rang 3, prélevées lors

du dépaquetage des régimes. L'ensemble des expérimentations a porté sur des lots de fruits prélevés dans un même hangar de conditionnement. L'inoculum a été préparé selon le protocole proposé par de Lapeyre de Bellaire [2]. Les mains ont été découpées dans un bac de lavage. Chacun des traitements a été appliqué sur un même nombre de doigts de chacune des mains, répartis de façon aléatoire. Pour observer les symptômes de pourritures des couronnes, la partie complète du coussinet situé entre la hampe et le pédoncule a été conservée pour chaque fruit.

L'inoculation des fruits a été effectuée dans un puits calibré de 5 mm de diamètre et 2 mm de profondeur, percé sur une des faces latérales de chaque banane ; une goutte de 50 μL d'inoculum a été déposée dans la blessure ainsi obtenue après resuyage du latex (environ 2 h). Cette technique ne reproduit pas une contamination au hangar, mais elle permet de simuler une infestation pseudo-quiescente sur blessure franche car la nécrose ne démarre pas tant que le fruit est stabilisé à un stade vert.

Pour la contamination contrôlée des couronnes, la goutte d'inoculum a été déposée après écoulement du latex sur chaque sommet des coussinets découpés et positionnés de façon à présenter une surface plane. Cette contamination directe, sans doute excessive par rapport à la réalité, a permis d'évaluer l'impact effectif de la technique d'application des fongicides [9].

Après adsorption de la goutte d'inoculum, les fruits ont été placés à 25 °C et en conditions d'humidité saturante pendant 24 h pour favoriser une implantation correcte du champignon [2]. Des traitements fongiques ont alors été appliqués. Les fruits ont été conditionnés en sacs de plastique (polyéthylène basse densité de 16 μm d'épaisseur), et, pour simuler leur transport, ces sacs ont été conservés en cagettes pendant 10 j à 14 °C. Ils ont ensuite été placés une quinzaine d'heures à 22 °C, puis mis en maturation pendant 24 h dans une enceinte étanche à 1 L \times m⁻³ d'éthylène.

Les observations des fruits inoculés ont été réalisées après 5 j de maturation supplémentaire à l'air ambiant à 22 °C, alors

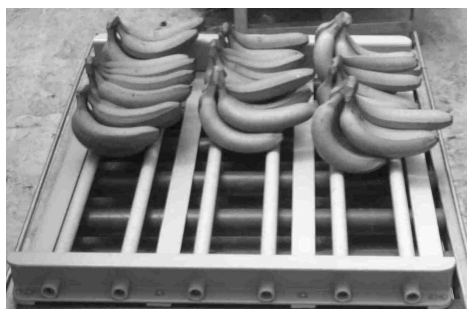


Figure 2. Prototype de plateau tubulaire sans fond : les fruits sont supportés par des barreaux espacés. Il ne peut plus y avoir d'eau résiduelle. Les rampes d'aspersion peuvent alors être disposées au-dessus et au-dessous du tray (photo J. Joas).

que les bananes avaient atteint un stade colorimétrique situé entre les indices 6,5 et 7. Sur les fruits, la surface de la nécrose, de longueur L et de largeur l, a été estimée par la formule de l'ellipse [$S = \pi (L \times l) / 2$].

Pour évaluer les altérations observées sur pédoncules et coussinets, une notation simplifiée du « crown rot index » a été utilisée. Ainsi, la note 0 a été attribuée aux coussinets et pédoncules présentant un aspect sain et normal ; la note 1, aux coussinets et pédoncules noircis : en l'absence de spores, il a été supposé *a priori* que l'expression de *C. musae* était partielle ou à un stade encore faible, cela n'excluant pas la présence d'autres champignons ou bactéries ; la note 2 a été attribuée lorsque la sporulation était apparente, la réponse de l'inoculum étant alors affirmée, la présence d'autres champignons n'étant également pas pour autant exclue.

Les résultats ont été traités par une analyse de variance et les moyennes significativement différentes ont été identifiées par la méthode de Newman et Keuls.

2.2. Application des fongicides

Les trois matières actives usuellement utilisées en traitement post récolte sur bananes ont été testées, en respectant les recommandations des fournisseurs (*tableau 1*).

Les solutions, préparées avec de l'eau potable ont été appliquées selon trois techniques différentes :

- par trempage, pour servir de référence dans la qualité de l'application, puisqu'une immersion garantit un mouillage homogène des fruits ;

Tableau I.

Fongicides testés pour la protection des bananes après récolte.

Matière active	Spécialité commerciale	Distributeur	Doses produits utilisées pour 100 L	Observation
Thiabendazole	Mertect 20S	Novartis Agro	220 g	Dose minimale de prescription utilisée en conditions expérimentales
			250 g	Dose d'usage préconisée utilisée en conditions réelles
Imazalil	Fungaflor 75 SC	Agro-Végétal	64 g	–
Bitertanol	Baycor 300 EC	Bayer-SA	70 mL	–

– par aspersion, pour étudier l'incidence des temps, avec un pulvérisateur contenant 5 L de solution, équipé d'une buse dispersant des gouttes de faible diamètre (débit d'environ $0.3 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$) ;

– par aspersion, pour étudier l'incidence du type de buses, avec un appareil industriel.

2.2.1. Incidence de l'alun

Des tests préliminaires ayant donné des réponses variables lors de la pulvérisation

de solutions avec ou sans alun, trois doses d'alun ont été testées, uniquement par trempage, en association soit avec du thiabendazole, soit avec du bitertanol : absence d'alun, 500 g d'alun pour 100 L de solution, 1000 g d'alun pour 100 L de solution représentant la dose d'usage. Pour chacune des six solutions [fongicide + alun], deux temps, 1 min et 3 min, ont été testés afin de favoriser un gradient de migration de la solution au niveau de l'épiderme des fruits. Le traitement témoin a été réalisé dans l'eau potable seule.

Tableau II.

Description des traitements après-récolte de bananes, effectués avec des solutions de thiabendazole ou d'un mélange de thiabendazole et imazalyl.

Technique d'application	Durée de l'application (s)	Matière active utilisée
Aspersion par buse ($0,3 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$)	8	Thiabendazole Thiabendazole + imazalyl
	30	Thiabendazole Thiabendazole + imazalyl
	60	Aucune : traitement témoin Thiabendazole Thiabendazole + imazalyl
Trempage	30	Thiabendazole Thiabendazole + imazalyl
	60	Thiabendazole Thiabendazole + imazalyl
	180	Aucune : traitement témoin Thiabendazole Thiabendazole + imazalyl

2.2.2. Temps d'application des matières actives

Pour garantir la qualité d'échantillonnage, les doigts de chaque main ont été répartis entre les différents traitements appliqués soit par trempage, soit par aspersion. Cependant, une main ne contenant en moyenne que 15 doigts utilisables, les doigts latéraux n'étant pas retenus, il n'a pas été possible de comparer en même temps, pour une même main, les trois matières actives. Les expérimentations portant sur 15 mains au moins, soit 15 répétitions, ont été donc réalisées en dissociant les fongicides (*tableaux II, III*).

2.2.3. Débits et taille des gouttes en conditions réelles

Les essais ont été réalisés sur un matériel industriel (tunnel autonome d'aspersion, à déclenchement automatique). À chaque traitement, 20 fruits inoculés ont été répartis sur deux trays. Les fruits étudiés ont été

insérés entre les bouquets répartis sur trois rangées longitudinales dans chacun des trays (*figures 1, 2*). Pour éviter une interférence du temps d'application, susceptible d'amplifier les différences éventuelles liées au débit et à la taille des gouttes, un temps d'aspersion constant de 30 s a été retenu.

Le dispositif expérimental a correspondu :

- pour une application statique (tray arrêté) à un équipement de trois rampes d'aspersion couvrant l'ensemble du tray (*tableau IV*) ;

- pour une application dynamique (tray avançant), à une série de rampes d'aspersion successives réparties sur une section de tapis suffisamment longue pour respecter le temps de référence, cette longueur dépendant alors de la vitesse de défilement du tapis.

Par un choix adapté de buses, il a été possible de comparer, pour un même type de gouttes, deux débits différents et, pour un même débit, deux types de gouttes différents. Selon les essais, trois ou quatre buses par rampe ont été utilisées. De plus, en se basant sur des techniques de pulvérisation « bas volume » qui garantissent une consommation minimale de produit et afin d'élargir le spectre de la taille de gouttes utilisées, un test de micro pulvérisation a également été effectué.

2.2.4. Incidence du type de tray sur la performance du traitement

Un prototype de plateau sans fond a été réalisé (*figure 2*), les fruits étant supportés par des barreaux espacés. Les quantités d'eau exportées ont alors été mesurées en tenant compte du temps de ressuyage de (30, 60 ou 180) s ou bien de l'incidence, pendant 15 s et 45 s, d'un séchage par air soufflé du type lame d'air pour lequel la vitesse de l'air a été supérieure à $20 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$.

Deux types d'inoculation sur blessures ont été réalisés sur des fruits différents, à raison de 14 fruits inoculés par type de blessure et par traitement. Ces inoculations ont été faites soit sur face latérale pour conserver le référentiel classique, soit sur face convexe puisque, dans la pratique,

Tableau III.

Description des traitements après-récolte de bananes, effectués avec des solutions de bitertanol, imazalyl ou d'un mélange de bitertanol et imazalyl.

Technique d'application	Durée de l'application (s)	Matière active utilisée
Aspersion par buse ($0,3 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$)	8	Bitertanol Imazalyl Bitertanol + imazalyl
	30	Bitertanol Imazalyl Bitertanol + imazalyl
	60	Aucune : traitement témoin Bitertanol Imazalyl Bitertanol + imazalyl
Trempage	180	Bitertanol Imazalyl Bitertanol + imazalyl

c'est généralement cette partie externe qui est la plus sujette à blessures.

Deux rampes d'aspersion ont été utilisées, soit accolées pour des applications sur tray classique, soit en opposition pour des applications sur tray tubulaire (*tableau V*). Les fruits ainsi traités ont été comparés à un lot témoin sans pulvérisation de fongicides.

3. Résultats et discussion

3.1. Effet de l'interaction entre l'alun et les fongicides

Dans nos conditions expérimentales, il n'y a pas eu de relation directe entre le temps de trempage et la performance des fongicides ; les variations observées pourraient être davantage liées à l'hétérogénéité de réponse due aux fruits qu'à l'impact réel de la durée de trempage. À chaque fois que le thiabendazole a été utilisé, la présence d'alun s'est systématiquement et significativement traduite par une baisse d'efficacité du traitement (*tableau VI*).

Tableau IV.

Caractéristiques des types de buses utilisées pour une application statique (tray arrêté) des traitements après-récolte de bananes, effectués avec différentes solutions de fongicides.

Volume d'aspersion par tray (3 rampes) ¹	Fines gouttelettes (100 à 200 µL) ²				Grosses gouttelettes (400 µL) ²			
	Référence des buses	Pression (bar)	Débit par buse (L × min ⁻¹)	Nombre de buses/rampe	Référence des buses	Pression (bar)	Débit par buse (L × min ⁻¹)	Nombre de buses/rampe
1,5 L	Albuz verte	2	0,25	4	AXI 110015	1	0,34	3
5,4 L	Twinjet 80002VS	4	0,91	4	Albuz rouge	1	0,91	4
100 mL par tray Pulvérisateur bas volume à microgouttelettes de 10 µL								

¹ Trois rampes soit 9 à 12 buses.

² Données supposées par rapport à la couleur des buses liée au diamètre volumétrique moyen (VMD).

Tableau V.

Caractéristiques des types de buses utilisées sur rampes soit accolées pour des applications sur tray classique, soit en opposition pour des applications sur tray tubulaire pour le traitement après-récolte de bananes.

Volume d'aspersion par tray 3 × 2 rampes ¹	Fines gouttelettes (100 à 200 µL) ²				Grosses gouttelettes (400 à 500 µL) ²			
	Référence des buses	Pression (bar)	Débit par buse (L × min ⁻¹)	Nombre de buses/rampe	Référence des buses	Pression (bar)	Débit par buse (L × min ⁻¹)	Nombre de buses/rampe
3,06 L	AXI	1	0,34	3	–	–	–	–
5,4 L	Teejet 11001VS	4	0,46	4	Teejet 11002 Vs	1	0,46	4

¹ Trois jeux de deux rampes, soit 18 à 24 buses pour l'ensemble de chaque type de tray.

² Données supposées par rapport à la couleur des buses liée au diamètre volumétrique moyen (VMD).

Tableau VI.

Réduction des nécroses (en % par rapport au témoin) par traitement après-récolte de bananes inoculées avec *C. musae*, en fonction de la dose d'alun ajoutée à la solution de fongicide et du temps d'application par trempage des fruits dans la solution.

Dose d'alun dans la solution de fongicide	Thiabendazole ¹		Bitertanol	
	1 min	3 min	1 min	3 min
0	83,3	71,3	83,5	88,1
500 g × 100 L ⁻¹	59,0	40,8	87,2	75,8
1000 g × 100 L ⁻¹	21,9	44,2	80,4	89,8

¹ Moyennes significativement différentes (seuil de 5 %).

Tableau VII.

Réduction des nécroses (en % par rapport au témoin) par traitement après-récolte de bananes inoculées avec *C. musae*, en fonction de la durée et de la méthode d'application.

a) Comparaison entre l'application de thiabendazole seul et d'un mélange de thiabendazole et imazalyl.

Produits	Aspersion			Immersion		
	8 s	30 s	60 s	30 s	60 s	180 s
Thiabendazole	41,7 a	81,1 bcd	84,0 bcd	75,5 bc	84,4 bcd	87,6 bcd
Thiabendazole + imazalyl	76,2 b	89,9 cd	94,4 d	82,7 bcd	90,2 cd	88,8 cd

b) Comparaison entre l'application d'imazalyl seul, de bitertanol seul et du mélange de ces deux matières actives.

Produits	Aspersion			Immersion
	8 s	30 s	60 s	180 s
Imazalyl	52,3 a	52,0 a	76,8 bcd	91,3 de
Bitertanol	61,7 ab	87,2 cde	73,1 bcd	100,0 e
Bitertanol + imazalyl	81,4 cde	94,4 de	100,0 e	100,0 e

a, b, c, d : au sein de chacune des expérimentations, groupes significativement homogènes d'après la méthode de Newman et Keuls au seuil de 5 %.

3.2. Effet des durées d'aspersion et de trempage

Au-delà de l'effet spécifique du fongicide, il est apparu une relation assez nette entre les courtes durées d'application et le développement des nécroses (*tableau VII*). Il n'est donc pas surprenant de noter la faible régulation du pathogène dans les systèmes de pulvérisation rapides.

Les résultats obtenus confirment par ailleurs l'efficacité moyenne de l'imazalyl utilisé seul [9, 10]. Cependant, en association avec les autres molécules, cette matière active peut améliorer significativement la régulation de *C. musae*.

Un temps de contact suffisant a permis au thiabendazole d'avoir des performances similaires au bitertanol. Cela est d'autant plus intéressant que, dans nos conditions expérimentale, nous avons utilisé, pour ce produit, la dose minimale de prescription (45 g matière active × 100 L).

Une durée d'aspersion de 30 s au moins est apparue nécessaire pour garantir une

efficacité maximale des produits fongicides, quels qu'ils soient. Par ailleurs, avec chacune des matières actives testées, la présence d'imazalyl a amélioré le contrôle de *C. musae* inoculé sur couronne. Cette performance avait déjà été mise en évidence [9], mais il n'a pas encore été expliqué pourquoi l'imazalil était moins efficace que le bitertanol et le thiabendazole pour réguler l'action du champignon sur les blessures latérales alors que ces deux derniers produits avaient peu d'effets sur les inoculations de pédoncules.

Contrairement à l'association imazalyl-bénomyl qui annulerait l'action de l'imazalyl sur les pourritures de couronnes [9], les associations testées au cours de nos expérimentations n'ont pas altéré la performance de l'imazalyl (*figure 3*). Le mélange des molécules imazalyl et thiabendazole, ainsi que celui de l'imazalil et du bitertanol, n'a pas provoqué de problèmes de phytotoxicité ; la couleur des fruits a évolué normalement au cours de la phase de maturation.

L'application par immersion a donné, d'une façon générale, les meilleurs résultats

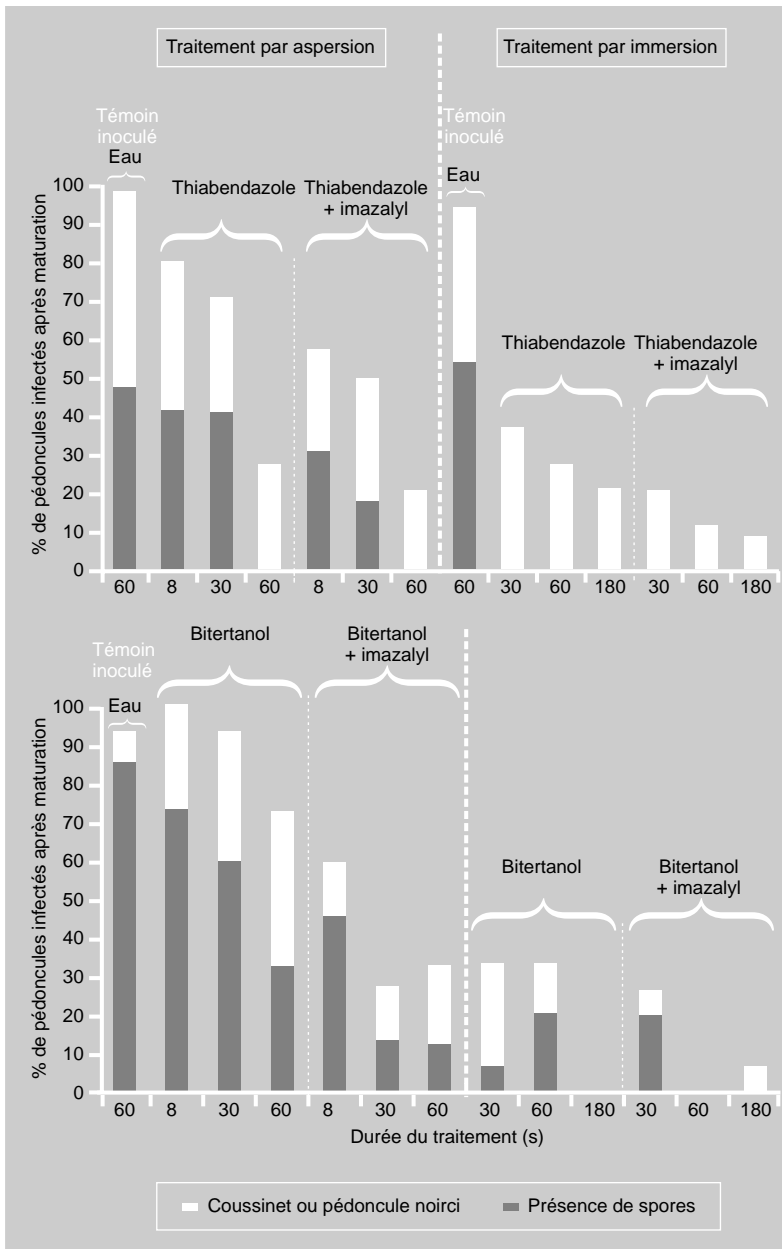


Figure 3. Évolution des nécroses sur couronnes de mains de bananes entreposées après inoculation par *Colletotrichum musae*, en fonction de la méthode d'application du traitement fongicide, de la matière active utilisée et du temps de traitement.

(figure 3). Cela s'explique d'une part par le temps de contact du fruit avec le produit qui est alors plus long, d'autre part par la méthode elle-même qui, du fait de l'immersion, garantit un contact en tous points entre le fruit et la solution. La pulvérisation peut présenter l'avantage d'être plus facile à piloter que l'immersion, mais elle ne pourra être efficace que si un temps suffisamment long de traitement est respecté.

3.3. Efficacité comparée des débits et de la taille des gouttes

Un mouillage des fruits sur la base de 5,4 L de solution par tray a donné de meilleurs résultats qu'une aspersion à 1,5 L de solution par tray (tableau VIII). Par ailleurs, les buses à fines ou grosses gouttelettes ont donné des résultats comparables, quel que soit le débit appliqué au cours du temps d'aspersion retenu (tableau VIII).

Une buse avec un débit de $0,91 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$ (fines gouttelettes, mouillage de 5,4 L par tray) a donc assuré un ruissellement correct de la solution en tout point du tray. En revanche, ce ruissellement a été insuffisant avec la buse de $0,25 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$ de débit (fines gouttelettes, mouillage de 1,5 L par tray) et pratiquement inexistant dans le cas de la micropulvérisation.

Sur les couronne inoculées avec *C. musae* après maturation, le traitement fongicide des fruits par aspersion a permis de contrôler la totalité des nécroses, toutes porteuses de spores, quels qu'aient été le débit et de la taille des gouttes utilisées. Le dépôt du brouillard (microgouttelettes) a donné une réponse satisfaisante, comparable aux autres traitements. Le manque d'efficacité de la micronisation constaté précédemment pourrait être dû à une pénétration insuffisante de la solution fongique entre les bouquets. Dès lors la pulvérisation en ultra bas volume d'un brouillard pulsé, en améliorant la réponse du traitement, serait une technique intéressante puisque le volume de solution et la quantité de fongicide utilisés sont inférieurs à ceux des systèmes classiques.

3.4. Incidence du type de tray

3.4.1. Quantité d'eau exportée

L'emploi d'un tray tubulaire, sans fond, a réduit la quantité d'eau exportée, quelle que soit la méthode d'application utilisée : réduction moyenne de l'ordre de 65 % dans le cas du ressuyage naturel (tableau IX), de 52 % dans le cas du séchage par lame d'air (tableau X).

Tableau VIII.

Réduction des nécroses (en % par rapport au témoin) par traitement après-récolte de bananes inoculées avec *C. musae*, en fonction du débit et de la taille des gouttes utilisées pour le traitement fongicide par aspersion des fruits.

Volume d'aspersion	Fines gouttelettes	Grosses gouttelettes	Microgouttelettes
1,5 L par tray	77,05 b	74,2 b	–
5,4 L par tray	91,57 a	87,13 a	–
Ultrabas débit ¹	–	–	23,4

a, b : groupes homogènes selon la méthode de Newman et Keuls au seuil de 5 % ; la mauvaise performance de l'ultrabas volume n'a pas été pris en compte dans le calcul.

¹ Volume estimé inférieur à 100 mL par tray.

Le séchage par lame d'air permet de réduire la quantité d'eau sur le fruit mais n'empêche pas une accumulation partielle de l'eau en fond de tray : un soufflage de 45 s sur tray classique équivaut au mieux à un ressuyage de 30 s en tray tubulaire. Le séchage par lame d'air, s'il n'est pas couplé à un système comparable au tray tubulaire, ne présente pas d'intérêt majeur dans la prévention des risques de dilution.

La quantité d'eau résiduelle est divisée en moyenne par trois avec l'emploi d'un tray tubulaire.

Cette quantité d'eau résiduelle va provoquer une dilution partielle de la solution fongicide. Dans le cas d'un traitement par aspersion en circuit fermé, le pourcentage de dilution, estimé pour 540 trays, soit le chargement d'un conteneur de 20 pieds, met en évidence la performance du tray tubulaire (*tableau XI*).

3.4.2. Performance de l'application fongicide

Le contrôle des blessures latérales a été moins efficace sur plateau plein que sur plateau sans fond tubulaire (*tableau XII*). En revanche, pour les blessures externes, il n'y a pas eu de différences de régulation liées au type de plateau utilisé. Dans le cas d'une pulvérisation de 1,8 L par plan (3 plans par tray), l'accumulation de la solution au fond du plateau plein pourrait permettre de traiter les blessures éventuellement

Tableau IX.

Quantité d'eau exportée après lavage pour élimination du latex, en fonction du type de tray utilisé pour le traitement fongicide après-récolte de bananes et du temps de ressuyage naturel.

Tray	Temps (s)	Solution exportée (g)		
		sur fruit	sur tray	total
Classique	30	48	73	121
	60	42	60	102
	180	36	50	86
Tubulaire	30	42	–	42
	60	40	–	40
	180	27	–	27

Tableau X.

Quantité d'eau exportée après lavage pour élimination du latex, en fonction du type de tray utilisé pour le traitement fongicide après-récolte de bananes et du temps de soufflage (séchage par lame d'air).

Tray	Temps (s)	Solution exportée (g)		
		sur fruit	sur tray	total
Classique	15	29	26	55
	45	22	27	49
Tubulaire	15	29	–	29
	45	21	–	21

Tableau XI.

Taux de dilution de la solution fongicide en circuit fermé en fonction du volume du bac, du temps de ressuyage et du type de tray utilisé pour le traitement fongicide après-récolte de bananes.

Volume du bac de solution (L)	Temps de ressuyage (s)	Dilution de la solution (%)	
		avec tray classique	avec tray tubulaire
100	30	39,0	19,0
	180	32,0	13,0
200	30	19,5	8,5
	180	16,0	6,5

présentes sur la partie du fruit en contact avec la solution fongicide.

La réduction du débit des buses, qui compenserait une augmentation du nombre de buses et maintiendrait ainsi un volume appliqué à peu près constant, n'a pas altéré la performance de la solution fongicide. En multipliant le nombre de buses, la qualité de mouillage des fruits a été améliorée. De même, la modification des angles d'aspersion a favorisé le passage de la solution entre les fruits et les bouquets et, même dans le cas d'un faible débit, l'efficacité du traitement a été améliorée pour le contrôle de l'infection sur les faces latérales.

4. Conclusion

L'emploi des fongicides doit respecter un certain nombre de règles. Il faut éviter leurs mélanges avec d'autres produits susceptibles de mobiliser la matière active ou, au minimum, étudier au cas par cas la compatibilité du mélange envisagé.

L'action réelle des fongicides est directement liée à une qualité d'application qui intègre le temps et le débit :

- Un temps minimal de contact est nécessaire pour favoriser la pénétration de la matière active puisque, à volume égal, le niveau de régulation de *C. musae* est fonction du temps d'aspersion.

- Le débit utilisé dépend de la qualité de diffusion de la solution entre les bouquets et les doigts. Pour un même volume de solution appliqué, l'augmentation du nombre de buses, compensée par une diminution du débit des buses, garantit une bonne performance du traitement. Au-delà de cette qualité de pénétration, un volume minimal apporté compensera les dilutions de la solution liées à la présence d'eau sur le fruit et dans le fond du plateau. La dimension des gouttelettes pulvérisées, à débit égal, influe peu sur la performance du traitement.

Tableau XII.

Réduction des nécroses (en % par rapport au témoin) dues à *C. musae*, en fonction du type de tray utilisé pour le traitement fongicide après-récolte de bananes, ainsi que du débit et de la taille des gouttes utilisées pour le traitement fongicide par aspersion des fruits.

Type d'aspersion	Blessure latérale		Blessure sur face externe ¹	
	Tray classique	Tray tubulaire	Tray classique	Tray tubulaire
Débit 0,75 L par plan				
Fines gouttelettes	72,04 b	92,67 a	89,12	90,59
Débit 1,80 L par plan				
Fines gouttelettes	83,81 b	100,00 a	100,00	100,00
Grosses gouttelettes	90,22 b	100,00 a	97,68	100,00

¹ Pas de différence significative (seuil de 5 %).

a, b : groupes homogènes selon la méthode de Newman et Keuls (seuil de 5 %).

Dans nos conditions expérimentales, un volume de base de 5 L de solution pulvérisée par tray, pendant 30 s, par 12 buses de $0,91 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$ de débit, ou 24 buses de $0,46 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$ a donné la meilleure réponse. L'inoculation effectuée a été assez sévère et, en situation réelle, ces préconisations sont probablement surestimées ; elles peuvent cependant servir de référence dans les situations où la qualité sanitaire laisse à désirer.

L'utilisation d'un plateau tubulaire sans « fond », en permettant un positionnement libre des buses (aspersion par-dessus ou par-dessous), a donné de meilleurs résultats que le plateau utilisé habituellement. Le positionnement actuel des rampes d'aspersion dans les tunnels pourrait être révisé. Une augmentation du nombre de buses, en garantissant une aspersion oblique des bouquets, améliorerait la pénétration des gouttelettes entre les fruits.

Cependant, au delà du contrôle effectif des pathogènes, la mise en œuvre de mesures préventives (soin au régime, nettoyage et désinfection du hangar et des outils de découpe) doit être prioritaire. En réduisant la pression d'inoculum, les blessures et les sources d'infection, la qualité sanitaire des fruits pourra être plus facilement contrôlée et garantie.

Remerciements

Les auteurs remercient M.L. Vigouroux, responsable Qualité du service technique de la Sicabam (Guadeloupe) pour l'enquête typologique des hangars, ainsi que M.P. Douillet, responsable technique Novartis, pour son aide et ses conseils dans la réalisation des essais en conditions réelles.

Références

- [1] Hostachy B., Vegh I., Leroux P., Jacquemot E., Foucher S., Pigou R., Bananes de Martinique : incidence des problèmes fongiques sur la qualité, *Phytoma* 420 (1990) 37–43.
- [2] De Lapeyre de Bellaire L., Bioécologie de *C. musae* (Berck. & Curt.) Arx., agent de l'antrachnose des bananes, dans les conditions tropicales humides de Guadeloupe, univ. Paris XI Orsay, thèse, Orsay, France, 1999.
- [3] Laville E., La protection des fruits tropicaux après récolte, Cirad-Coleacp, Montpellier, France, 1994.
- [4] Santana Llado J.D., Marrero Dominguez A., The effects of peel abrasion on the postharvest physiology and commercial life of banana fruits, in: Proc. 1st Int. Symp. on banana in the subtropics, International Society for Horticultural Science (ISHS) 490 (1998) 547–553.
- [5] Peacock B.C., Muirhead I.F., Ethylene production by *Colletotrichum musae*, Queensland J. Agr. Anim. Sci. 30 (1974) 239–246.
- [6] Shillingford C.A., Control of banana fruits rots and of fungi that contaminate washing water, *Trop. Sci.* 19 (4) (1977) 197–203.
- [7] De Lapeyre de Bellaire L., Nolin J., Amélioration du contrôle du chancre sur les bananes d'exportation et traitements post-récolte, *Fruits* 49 (3) (1994) 179–184.
- [8] Frossard P., Dilution des bains de trempage (cas particulier des bananes), *Fruits* 30 (12) (1975) 745–748.
- [9] Frossard P., Laville E., Plaud G., Étude des traitements fongicides appliqués aux bananes après récolte. III. Action de l'imazaly, *Fruits* 31 (6) (1976) 361–364.
- [10] Nolin J., Amélioration de la qualité des bananes d'exportation, Cirad-Irfa, Doc. int., Guadeloupe, 1990, 12 p.

Incidencia de las condiciones de aplicación en la eficacia de productos fungicidas utilizados en la postcosecha del banano.

Resumen — Introducción. El control sanitario de los bananos, esencial para garantizar la calidad postcosecha del producto comercializado, depende mucho de las técnicas de aplicación de los fungicidas. Un estudio realizado *in situ* en Martinica ha evidenciado diferentes tiempos y técnicas de aplicación de los productos fungicidas. Se han experimentado diferentes técnicas para definir las mejores condiciones de operación. **Material y métodos.** Se estudiaron varios factores que, en la fase del cobertizo de almacenado, pueden influir en la eficacia de las aplicaciones postcosecha de fungicidas: empleo o no de alumbre, tiempo de aplicación, tipo y caudal de las toberas, ángulo de pulverizaciones. Los tratamientos se efectuaron en frutos tras inoculación controlada con *Colletotrichum musae* en heridas y coronas. Posteriormente, se conservaron los frutos 8 d a 14 °C y, seguidamente, se pusieron en maduración en simulación industrial (24 h; 1 L etileno \times m⁻³) antes de almacenarse 5 d a 22 °C. Se procedió, entonces, a la medición de la superficie necrosada o la alteración de los pedúnculos. **Resultados y discusión.** El alumbre añadido al tiabendazol disminuyó la eficacia del fungicida utilizado solo. El tiempo de aspersión repercutió en la eficacia de los productos fungicidas; el tiempo mínimo deseable era de 30 s. La combinación de imazalil con tiabendazol o bitertanol tuvo un efecto favorable para el control del chancro en las pudriciones de corona. La comparación de los caudales probados mostró que un caudal de tobera del orden de 0,4 L \times min⁻¹, aplicado durante 30 s, garantizaba el paso efectivo de la solución fungicida entre frutos y manojos. La dimensión de las gotas (finas o gruesas) no tuvo especial importancia cuando se respetaron el volumen pulverizado y el tiempo de contacto (5 L por bandeja durante 30 s). Se mejoró la eficacia empleando una bandeja tubular “sin fondo”, realizando una pulverización por arriba y por abajo. **Conclusión.** La acción real de los fungicidas está directamente vinculada a una buena aplicación que respete tiempo y volumen. Las recomendaciones proporcionadas, junto a una alta inoculación experimental, se hallan probablemente sobrestimadas; no obstante, pueden servir de referencia en situaciones de mediocre calidad sanitaria.

Martinica (Francia) / *Musa* sp. / *Colletotrichum musae* / enfermedades postcosecha / control de plagas (prod. alm.) / desinfección / métodos de control / pruebas de rendimiento

To access this journal online:
www.edpsciences.org
