

## Optiban 1, éco-conception d'une solution terrestre innovante

**Aux Antilles françaises, la culture de la banane est confrontée aujourd'hui à un enjeu essentiel pour sa pérennité : lutter efficacement contre les maladies infectant les bananeraies tout en respectant les réglementations en vigueur visant à limiter les traitements aériens. Dans le cadre du projet Optiban, les chercheurs ont développé une solution terrestre alternative. Focus sur la démarche utilisée et présentation des premiers résultats.**

### Les traitements par voie terrestre

L'objectif initial du projet était d'assembler un véhicule porteur tout terrain à un système de pulvérisation existant chez les constructeurs de matériel de pulvérisation (Tecnomat, Berthoud, Hardi, Martignani). L'évaluation d'éléments de pulvérisation préexistants ou légèrement modifiés n'a pas donné de résultat concluant, ce qui nous a amenés, forts de l'expérience acquise dans ce domaine, à étudier un nouvel outil de pulvérisation pour notre propre application.

Le cahier des charges initial du système de traitement que nous nous sommes fixé au début du projet était le suivant :

- un traitement réalisé au-dessus de la canopée, pour obtenir une meilleure efficacité biologique, tout en circulant dans les grands rangs des bananeraies,
- un traitement d'une portée efficace avec recouvrement de 11 m au minimum (soit la couverture de deux grands rangs de bananiers),
- un dosage de 15 litres de produit par hectare, donc un traitement en ultra bas volume identique à ce qui se pratique en « aérien », constitué d'huile paraffinique agricole à laquelle on incorpore suivant la pression de la maladie un autre fongicide (triazoles : Tilt ou Sico, à raison de 0,4 litres par hectare),
- une qualité de traitement compatible avec les objectifs de protection de la culture (taille des gouttes et nombre d'impacts par cm<sup>2</sup>),
- un dispositif capable de se déplacer à une vitesse de 2,5 à 5 km/h sur des pentes allant jusqu'à 45 % (ce qui représente 95 % des exploitations sur les deux départements des Antilles) et combinées avec des dévers de 15 %,
- un maître-couple<sup>1</sup> du système de traitement permettant le passage dans les « grands rangs » des bananeraies sans toucher les régimes de bananes,

Sachant que le premier objectif était de traiter les bananiers par le dessus, il nous a fallu tout d'abord vérifier si l'on pouvait fendre la canopée sans l'abîmer à l'aide d'un « mât », à une vitesse comprise entre 2,5 et 5 km/h. Deux séries de tests ont été effectués, en septembre 2008 puis en avril 2009 en Martinique.

### Faisabilité du passage d'un mât à travers la canopée formée par les feuilles de bananiers

Ces essais ont permis de valider la configuration « mât seul » plutôt que celle du « mât avec étrave » (photo 1). En effet, au vu du comportement des feuilles qui se plient plus facilement vers le bas que vers le haut, le passage d'une barre verticale, voire légèrement inclinée vers l'avant, semble moins impactant pour la végétation. Une vitesse de déplacement de 3 à 5 km/h est envisageable dans la plus grande majorité des cas. Les quelques dégâts constatés lors des essais (déchirures ou cassages des feuilles) ont été suivis par la profession et n'ont pas semblé avoir d'impacts sérieux sur la végétation par la suite. Les observations faites lors de ces tests ont permis de déterminer les aménagements nécessaires au sein des bananeraies afin de faciliter le passage d'un système de traitement terrestre, à savoir :

- un bon entretien des grands rangs pour le passage du système de traitement (déplacement des feuilles et des troncs coupés dans les petits rangs),
- un élargissement du grand rang de 3,60 à 4 m et une diminution du petit rang de 1,80 à 1,40 m, ce qui permet un passage plus large au système de traitement sans modifier pour autant le nombre de plants à l'hectare,

1. Surface apparente d'un véhicule dans la direction du mouvement.



➊ Afin de traiter les bananiers par le dessus sans abîmer la canopée, des tests ont été effectués avec une configuration avec mât seul et 10° en arrière (à gauche) et avec mât à étrave à 45° (à droite).

- le haubannage des bananiers seulement dans le petit rang, pour permettre le passage du système de traitement dans le grand rang,
- la sélection rigoureuse du rejet de régénération du bananier pour maintenir l'alignement du rang.

Autre constat sur la conception du futur mât pour limiter la casse de feuille : en cas de dévers prolongé, il devra s'incliner latéralement pour rester en permanence dans la partie souple des feuilles au milieu du grand rang, ce qui implique une deuxième correction entre le mât et les canons pour que ces derniers restent parallèles à la canopée.

Conjointement à la validation d'un traitement par le dessus de la canopée, nous avons recherché un porteur capable d'intégrer le futur système de pulvérisation et d'évoluer dans les bananeraies qui se trouvent en forte pente.

### Tests du porteur tout terrain Landtamer XHDS à huit roues motrices

Sélectionné en début d'année 2009 parmi une dizaine de véhicules tout terrain, pour ses capacités de franchissement en forte pente (> à 45 %) et pour la charge qu'il peut embarquer (900 kg avec chauffeur), cet engin a été testé sur le terrain antillais en mars 2010.

Le choix des pneumatiques en fonction des contraintes qu'ils peuvent générer au sol (Keller *et al.*, 2004) a été également un critère de sélection prépondérant dans le choix du futur porteur.

L'objectif de ces essais a été de vérifier les caractéristiques annoncées par le constructeur, de contrôler sa conformité au regard de la directive « Machines » 2006/42/CE, puis de tester ses performances jusqu'aux limites d'utilisation en pente et en dévers, ainsi que sa facilité à franchir les canaux anti-érosion et les tuyaux

d'irrigation. Ces différents tests ont été réalisés avec un lest de 900 kg sur un échantillonnage de sols réputés difficiles par la profession et dans des conditions d'humidité importante.

### Les points forts

Cet engin présente d'excellentes capacités de franchissement de fossés (jusqu'à 1,70 m de large) et de tuyaux d'irrigation en polyéthylène (jusqu'à 100 mm de diamètre). Grâce à ses huit pneus basse-pression, la contrainte sur le sol est moindre et ne risque pas de compacter les rhizomes qui sont à faible profondeur. Cependant, la circulation du porteur dans les grands rangs et sur terre argileuse est à proscrire en conditions très humides afin d'éviter la création d'ornières qui auraient pour conséquence d'augmenter les risques d'érosion par fortes pluies.

### Les points faibles

Ce type d'engin n'ayant pas de roues directrices (principe des véhicules à chenilles), il est moins aisé de tourner sans laisser des traces visibles sur le sol. Le franchissement en pente n'a été que de 25 %, mais ceci est imputé aux deux moteurs hydrauliques de la transmission hydrostatique qui ont un très mauvais rendement volumétrique (mauvais choix du constructeur). Le changement de ces moteurs est programmé, mais pour des raisons financières celui-ci se fera après les essais du système de traitement complet.

### En conclusion

Cet automoteur, moyennant les améliorations qui ont été mentionnées dans le rapport technique externe relatif à ces essais, est maintenu comme étant le porteur du futur système de pulvérisation mis au point sur le plateau technique RéductPol du Cemagref de Montpellier.

### ► Un nouveau système de pulvérisation terrestre par mini-canon

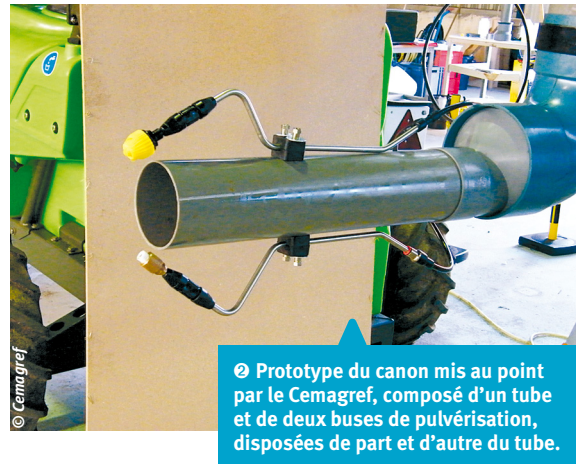
Étant dans l'impasse sur la sélection d'outils de pulvérisation disponibles sur le marché, mais forts de l'enseignement que nous avons retiré de ces expérimentations (Cotteux, 2010), nous avons mené une recherche spécifique pour trouver l'outil qui réponde au mieux à notre application.

Plusieurs mois de tests ont été nécessaires pour valider le principe de ce nouveau système. Ils ont abouti à la mise au point d'un prototype composé d'un tube diffusant un flux d'air à haute vitesse et de deux buses de pulvérisation, disposées de part et d'autre du tube dans un plan vertical et dont les jets sont dirigés vers le flux aéroulque (photo 2). Les optimisations ont porté sur le choix des vitesses d'air optimales qu'il convenait d'appliquer et par conséquent du diamètre du canon, mais également sur le type de buses choisies (forme du jet, granulométrie des gouttes et débit) et leurs positions par rapport au canon.

Un autre objectif était de trouver un bon rapport entre la portée efficace du traitement et la puissance consommée par la soufflerie (Ventilateur France Air, modèle VM 560), qui doit être en adéquation avec la puissance disponible sur le petit porteur.

La figure 1 représente la distribution du produit de pulvérisation que nous avons obtenue par un seul mini canon avec ce système. Ces tests ont été réalisés à l'abri du vent, dans notre hall d'essais de Montpellier, au cours du premier semestre 2010.

Avec un traitement croisé 22 mètres plus loin, soit l'équivalent d'un passage tous les quatre grands rangs, nous avons une portée deux fois supérieure à celle que nous nous étions fixée au cahier des charges. Nous constatons également que nous maintenons, sur cette distance et à



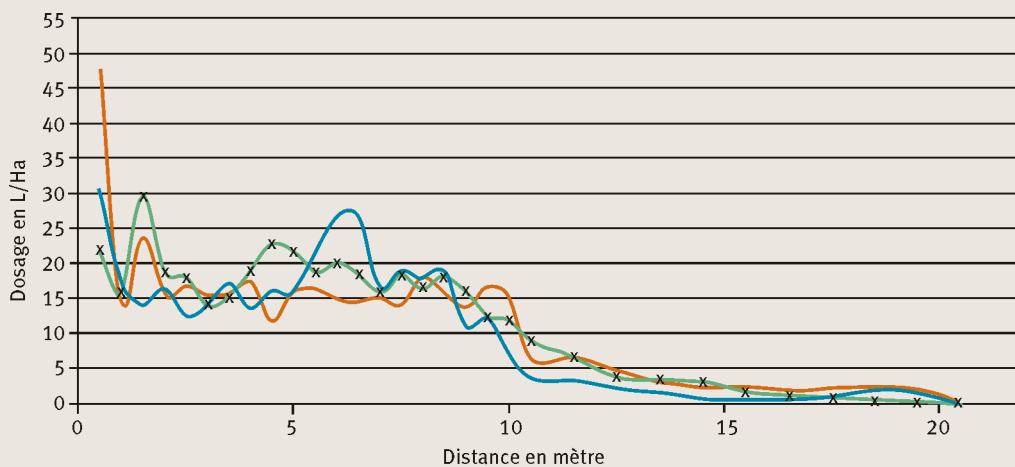
2 Prototype du canon mis au point par le Cemagref, composé d'un tube et de deux buses de pulvérisation, disposées de part et d'autre du tube.

la vitesse de 2,2 km/h, le dosage de 15 litres par hectare demandé par la profession. La puissance consommée dans ces tests par le ventilateur, pour générer des vents de 60 m/s, est de 8 KW pour les deux canons. Pour comparaison, les ventilateurs des gros canons testés dans le cadre de ce projet consomment entre 35 et 55 KW.

Le taux de récupération, rapport entre la dose déposée sur la cible (bananeraie) et la dose totale émise, a été de 70% environ lors de ces essais.

Pour évaluer rapidement ce nouveau concept de pulvérisation, indépendamment de son porteur multi-roues, la société Tecnomat l'a adapté sur un appareil de sa gamme nommé Vectis. Cette adaptation a été réalisée d'après un cahier des charges établi par le Cemagref. Transporté aux Antilles durant l'été 2010, ce système tracté nommé « Vectis 2 » a été testé dans les bananeraies en septembre 2010.

1 Courbe de répartition du produit fongicide (Huile Banole).



- MHdyn 175.1 ; Vt = 2,10 km/h ; h = 0,96 ; buse : B1 + ARX jaune B2 + ATR blanche : (0 mm) ; rot vectis. C100 = 2512 spec gun : droit ; spec buse : ARX jaune. ATR blanche ; P = 2,8 bar ; Q = 1,04 Mmin ; écart à Qt : 8,2 % ; taux recup = 69 %
- x — MHdyn 176.1 ; Vt = 2,13 km/h ; h = 0,96 ; buse : B1 + ARX jaune B2 + ATR blanche : (0 mm) ; rot vectis. C100 = 2537 spec gun : droit ; spec buse : ARX jaune. ATR blanche ; P = 2,7 bar ; Q = 1,01 Mmin ; écart à Qt : 6,5 % ; taux recup = 73 %
- MHdyn 175.3 ; Vt = 2,14 km/h ; h = 0,96 ; buse : B1 + ARX jaune B2 + ATR blanche : (0 mm) ; rot vectis. C100 = 2550 spec gun : droit ; spec buse : ARX jaune. ATR blanche ; P = 2,6 bar ; Q = 0,99 Mmin ; écart à Qt : 6,2 % ; taux recup = 67,3 %

## Test du nouveau système de pulvérisation terrestre à la Martinique (Vectis 2)

Les objectifs de ces essais étaient de :

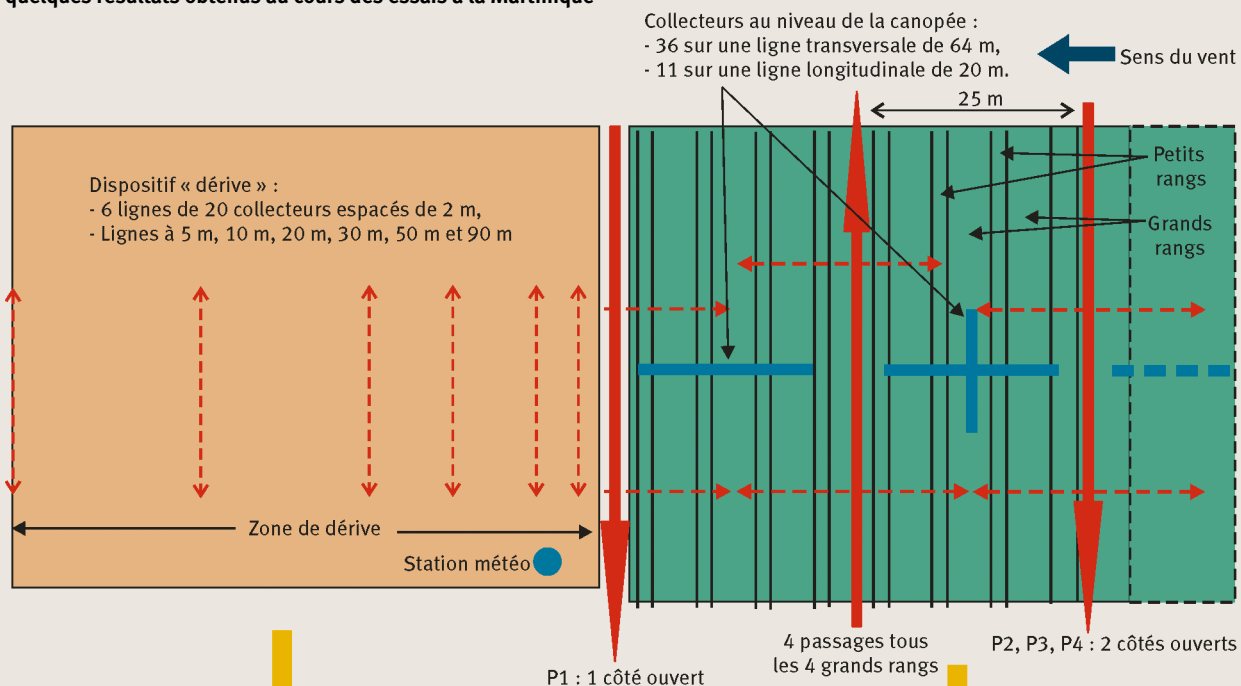
- valider en conditions réelles les résultats obtenus au Cemagref de Montpellier en termes de portée, qualité de répartition et taux de récupération à la vitesse de 2,5 km/h ;
- déterminer la vitesse optimum de traitement (vitesse de déplacement du tracteur) sans dégrader les caractéristiques de pulvérisation obtenues en laboratoire ;
- valider la hauteur du traitement par rapport à la canopée ;
- mesurer la dérive engendrée dans ces différentes configurations.

Les essais ont été effectués à l'huile fongicide Banole pour un traitement théorique de 15 litres par hectare sur deux parcelles de bananiers plates, sans dévers, ni pente. En effet, à ce stade du projet, la correction en dévers du mât et des canons n'a pas encore été intégrée. Les grands rangs de passage du Vectis 2 ont été sommairement aménagés pour permettre un passage du tracteur à vitesse constante (photo ②).



Le dispositif utilisé pour caractériser en dérive et en répartition le système de pulvérisation et quelques résultats obtenus au cours de ces essais sont présentés dans la figure ②.

### ② Dispositif utilisé pour caractériser en dérive et en répartition le système de pulvérisation : quelques résultats obtenus au cours des essais à la Martinique



— DH-08 mat à 5,80 vitesse 3,34 km/h

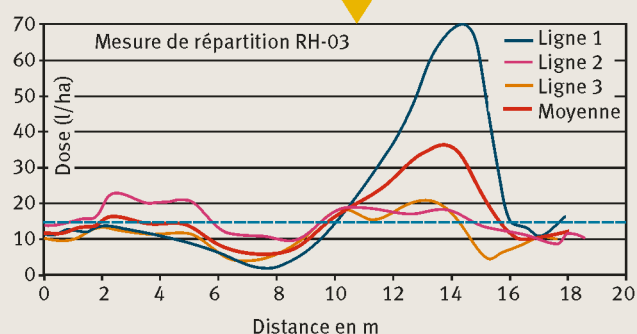
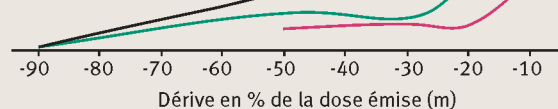
AFX marron ; 1 côté

— DH-09 mat à 5,80 vitesse 3,34 km/h

AFX marron ; 1 côté

— DH-108 mat à 5,80 vitesse 3,34 km/h

AFX marron ; 1 côté



► Les collecteurs utilisés pour quantifier la répartition et la récupération, sur la canopée et sur la zone de dérive, sont des boîtes de Pétri. Un traceur fluorescent a été ajouté à l'huile Banole et la quantité du produit ainsi collecté a été déterminée par spectrofluorimétrie.

Pour évaluer la qualité de la pulvérisation sur la canopée (Salyani et Fox, 1999), nous avons utilisé du papier oléo-sensible Syngenta™ (dimensions : 2,5 x 7,7 cm) que nous avons placé à côté de chaque boîte de Pétri. Ces papiers, au contact des gouttes d'huile, réagissent en produisant des tâches sombres ; ces dernières permettent de déterminer le nombre d'impacts obtenus et donnent également une indication sur la dimension des gouttes (figure 3). La présentation de ces papiers à quelques professionnels présents sur les sites d'essais ont conduit ceux-ci à donner une appréciation positive quant à la qualité de l'application (densité d'impacts).

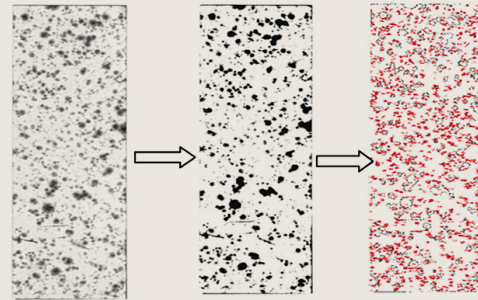
La première série d'essais a porté uniquement sur la répartition au sein de la végétation. Les différences entre les configurations ont concerné la vitesse d'avancement et la force du vent. Pour un vent inférieur à 1 m/s et une vitesse d'avancement de 3,6 km/h, le taux de collecte mesuré a été supérieur à 90 %.

La deuxième série d'essais a permis de mesurer la dérive et simultanément la répartition obtenue sur la végétation pour des conditions de vent fort. Les différences entre les configurations concernaient la vitesse d'avancement, la vitesse du vent, la hauteur des canons par rapport à la canopée, le réglage des débits. Pour un vent de l'ordre de 3 m/s et une vitesse d'avancement de 3,6 km/h, le taux de collecte sur canopée a été de 58 % et de 11 % sur la zone de dérive. Ce principe de pulvérisation s'est révélé sensible au vent. Ce nouveau système terrestre a pu être caractérisé, en l'état actuel de son développement, en termes de taux de collecte sur bananeraie et potentiel de dérive. Toutefois, des mesures complémentaires avec le système plus abouti permettront de préciser ces premiers résultats

En arboriculture, où le traitement est dirigé vers le feuillage, des tests ont été réalisés sur un pulvérisateur qui régule la vitesse d'air de son ventilateur en fonction de la densité du feuillage, de la vitesse et du sens du vent (Balsari *et al.*, 2009). Dans notre cas où le traitement est effectué au dessus de la canopée, pour optimiser son utilisation entre 1 et 5 m/s (la vitesse maximale autorisée de traitement), nous envisageons, pour la prochaine campagne d'essais, d'adapter pour une allée complète les débits de chaque canon en fonction du sens et de la vitesse du vent. Ainsi, si le traitement pouvait s'effectuer dans ces conditions, même si l'appareil devait passer tous les trois, voire deux grands rangs, cela permettrait d'augmenter le rendement journalier de ce type de pulvérisateur.

Pour étayer cette solution, une configuration originale a consisté à ne pulvériser que d'un seul côté, celui sous le vent, pour se servir de celui-ci comme vecteur naturel de transport. Pour un vent de 2,5 m/s et une vitesse de déplacement de 3,5 km/h, le taux de collecte a été de 70 % sur canopée et de 5 % sur la zone de dérive. Cependant, dans ce cas, la portée efficace est passée de quatre à trois grands rangs.

### ③ Analyse d'image numérique d'un papier oléosensible pour déterminer le nombre d'impacts par unité de surface.



À ce stade du projet, le Cemagref et l'Union des groupements de producteurs de bananes de Martinique et de Guadeloupe (UGPBAN) décident de protéger le principe de traitement dans son ensemble (dépôt de brevet) et lancent la fabrication du système de traitement, baptisé « Optiban 1 », qui associe le système de pulvérisation à son nouveau porteur tout terrain. Sa réalisation a été confiée à la société Tecnomat, toujours sur cahier des charges du Cemagref. Elle a intégré d'une part, les modifications nécessaires que les derniers essais avaient révélées, et d'autre part, un deuxième circuit de pulvérisation générant des débits différents aux canons droit et gauche, afin de vérifier l'intérêt d'un asservisement de la pulvérisation en fonction du vent. Ce système a également été équipé du système correcteur de dévers du mât et des canons mais en commande manuelle seulement, la nécessité d'automatiser cette fonction étant envisagée après ces essais.

### Test du nouveau système de traitement terrestre « Optiban 1 » à la Martinique

Les objectifs de ces essais sont de :

- valider les résultats obtenus avec le Vectis 2 en termes de portée, répartition, récupération et dérive du produit à la vitesse de 3,6 km/h ;
- déterminer la vitesse optimum de traitement, au-delà des 3,6 km/h, grâce à la transmission hydrostatique<sup>2</sup> de l'automoteur ;
- tester le nouveau circuit de pulvérisation utilisant des pompes électriques à courant continu avec régulation proportionnelle des débits (simplification du circuit, gain de poids et de puissance consommée) ;
- évaluer le principe de la pulvérisation asservie en fonction de la vitesse et du sens du vent avec le nouveau circuit de pulvérisation à débits variables ;
- vérifier le maintien de la qualité du traitement, lorsque le système de traitement est en dévers, grâce à la correction simultanée du mât et des canons qui permet à ces derniers de rester parallèles à la végétation ;
- voir la nécessité de réaliser cette correction automatiquement lorsque dans un grand rang une variation du dévers sur plusieurs mètres (ravines, ornières...) est observée ;

2. Transmission qui transforme l'énergie mécanique d'un moteur thermique ou électrique en énergie hydraulique [pompe(s) et moteur(s) hydraulique(s) à débit variable]. Avantages : vitesse variable et réversible, contrôle d'effort ou de couple...

- évaluer les capacités de mobilité du système de traitement en pente, dans les grands rangs et dans les tournières à l'amont et à l'aval des passages empruntés.

Les huit premiers essais ont permis de voir les limites du système de pulvérisation à débits fixes en fonction du vent et de la vitesse du système de traitement (photo 4). Avec un vent supérieur à 2,5 m/s, les taux de récupération chutent en dessous des 40% et cela indépendamment de la vitesse d'avancement (de 3,5 à 4 km/h). Avec des vents inférieurs à 2 m/s, les taux de récupération sont de 80% à 3,6 km/h et de 65% à 4 km/h. Trois mesures de dérive ont été couplées à certains de ces essais. Le taux global de dérive défini comme le rapport de la dose moyenne de produit collectée sur la zone de dérive sur la dose pulvérisée est de 6, 8 et 4% pour une dose pulvérisée de 15 litres par hectare. Ces résultats sont du même ordre de grandeur que les valeurs obtenues pour l'aérien. Le nouveau circuit de pulvérisation, composé de deux pompes électriques et de son boîtier électronique de commande, a bien fonctionné pendant toute la durée des essais. Des tests d'endurance seront réalisés dès le retour de ce matériel à Montpellier. L'intérêt d'un tel circuit, en plus de générer un débit variable, est de ne consommer que 300 watt à plein régime, alors que le circuit traditionnel installé en doublon sur Optiban 1 consomme 4 kw.

Suite à un incident mécanique survenu pendant ces essais, le contrôle en dévers du mât et des canons n'a pas pu être évalué. Nous avons dû immobiliser ceux-ci pour continuer la suite des essais. Indépendamment de cela, nous avons pu observer que les grands rangs avaient souvent une variation importante du dévers sur des distances de quelques mètres due à des ravines, ornières, d'où la nécessité de rajouter, dans le cahier des charges du futur système de traitement, une correction automatique du mât et des canons.

Dans sa version opérationnelle, nous avons pu tester la maniabilité et le comportement d'Optiban 1 sur des



4 Test du nouveau système de traitement terrestre Optiban 1 à la Martinique (mars 2011).

parcelles à plat et en pente (28% environ). Le principe du porteur à deux trains rigides de quatre roues motrices par côté (photo 5) est validé pour franchir à vitesse constante les canaux anti-érosion<sup>3</sup> sans que la trajectoire longitudinale des canons soit modifiée et pour passer sur les tuyaux d'irrigation jusqu'à 100 mm de diamètre sans les abîmer (grâce aux pneus basse pression).

3. En pente ou à plat, ces canaux anti-érosion sont disposés tous les 40 m environ pour drainer et éviter les ravinelements dans les bananeraies. En forme de trapèze, les plus grands mesurent 1,70 m de large et 0,5 m de profondeur.



5 Des tests de comportement et de maniabilité d'Optiban 1 ont été réalisés sur des parcelles à plat et en pente pour valider le principe du porteur à deux trains rigides de quatre roues motrices par côté.

En revanche, en pente, des difficultés ont été rencontrées sur sol détrempe pour effectuer les quarts de tour en bout de rang (notamment en aval) ou pour remonter un grand rang où il y avait quelques ravines longitudinales. Bien que le porteur au moment des essais pesait 200 kg de plus que prévu, cela n'explique pas ce comportement en pente. Le concept de ce type de porteur n'est pas remis en question et nous proposons, pour améliorer sa maniabilité, que les modifications préconisées par le Cemagref soient réalisées.

En raison des problèmes rencontrés en pente avec Optiban 1, nous n'avons pas pu réaliser d'essai de répartition représentatif.

### Conclusion

Les essais réalisés avec le Vectis2 ont démontré que la solution terrestre proposée est efficace lorsque le vent est inférieur à 1 m/s. Dans ces conditions, avec une vitesse d'avancement de 4 km/h et une portée efficace du produit de 11 m par canon, le taux de récupération mesuré a varié de 60 à 100 % de la dose appliquée. Pour ces conditions d'application, le rendement de traitement peut atteindre huit hectares à l'heure. Ce rendement prend en compte les temps de non traitement comme les demi-tours en bout de rang.

Les premiers essais de pulvérisation menés avec Optiban 1, en vue de valider l'utilisation du vent naturel pour optimiser l'application, ont permis de mettre en évidence que la pulvérisation face au vent est à déconseiller. Bien que la répartition obtenue soit homogène, la quantité de produit récupéré est très faible de l'ordre de la dizaine de pourcent. Pour ce qui est de la pulvérisation sous le vent, des taux de récupération de l'ordre de 70 % avec une portée de 11 m (deux grands rangs de bananiers) ont pu être obtenus lorsque le vent est inférieur à 2,5 m/s.

Les conditions rencontrées sur le terrain (vitesse et orientation du vent), les pannes et les conditions météorologiques défavorables, n'ont pas permis d'étudier

suffisamment de conditions différentes pour pouvoir dégager une utilisation efficace du vent pour accroître la portée de traitement et d'envisager un module d'asservissement du débit au vent.

En ce qui concerne le porteur tout terrain XHDS, sur terrain détrempe, il n'a pu être validé dans les pentes à 28 % du fait de sa transmission hydrostatique déficiente. Ainsi, les modifications préconisées après les essais de terrain de mars 2010 doivent être réalisées et son système de direction à commande mécanique par deux manettes doit être remplacé par une commande électronique à joystick.

Quelques efforts restent à faire pour que la solution terrestre complète efficacement l'action des aéronefs notamment, pour le traitement des ZITA. ■

### Les auteurs

#### Marc Rombaut et Éric Cotteux

Cemagref, Centre de Montpellier  
UMR ITAP, Informations et technologies  
pour les agro-procédés  
361 rue Jean-François Breton, BP 5095  
34196 Montpellier  
eric.cotteux@cemagref.fr  
marc.rombaut@cemagref.fr

#### Maylis Carré

Cemagref, Centre de la Martinique  
UR AEMA, Agriculture et espace insulaire  
Quartier Petit Morne, BP 214  
97285 Lamentin Cedex 02  
maylis.carre@cemagref.f

#### Dominique Didelot

Cemagref, Centre de Clermont Ferrand  
UR TSCF, Technologies et systèmes d'information  
pour les agrosystèmes  
24 avenue des Landais  
63172 Aubière  
dominique.didelot@cemagref.fr

### QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- **BALSARI, P., MARUCCO, P., TAMAGNONE, M., 2009, *Crop adapted spray application: first field tests on the sprayer prototype developed in the ISAFRUIT project.***
- **COTTEUX, E., 2010, Evaluation and optimization of ground spraying within the quarantine treatment against Black Sigatoka French West Indies, in : *Conférence Suprofruit*, Juin 2011, Accepted paper.**
- **KELLER, T., 2004, Sol compaction and sol tillage – studies in agricultural soil mechanics, Doctoral dissertation, Dept. of Soil Sciences, *Acta Universitatis agriculturae Suecia Agraria*, vol. 489, 75 p.**
- **SALYANI, M., FOX, R.D., 1999, Evaluation of spray quality by oil and water-sensitive papers, *Transactions of the ASAE*, 42 (1), p 37-43.**

### Remerciements

Remerciements au ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire (Direction générale de l'Alimentation) et à l'Union des groupements de producteurs de bananes de Martinique et de Guadeloupe, pour leur soutien technique et financier, ainsi qu'à tous les participants aux expérimentations de terrain pour la logistique et leur implication dans le bon déroulement des essais.