

Evaluation d'un système biobed pour le traitement des bouillies fongicides en sortie de hangar.

Problématique

Le traitement des bananes au hangar d'emballage conduit à l'emploi de bouillies fongicides à base de deux molécules (le bitertanol et le thiabendazole) utilisées alternativement. La récolte des bananes ayant lieu toute l'année, il faut gérer un flux hebdomadaire de bouillie concentrée qui est actuellement rejetée dans l'environnement sans traitement préalable.

Divers systèmes ou procédés ont été testés pour traiter ces bouillies. Le système Sentinel utilise le principe de floculation puis de filtration sur colonne de charbon actif. Les principaux désavantages sont d'une part la nécessité d'organiser un réseau de collecte des eaux chez les exploitants pour rentabiliser le matériel et d'autre part d'organiser une filière de traitement du charbon actif qui doit être expédié en métropole. Un autre système est en cours d'évaluation par le groupement des producteurs de bananes BANAMART en Martinique et est basé sur une concentration des bouillies par une procédé de distillation suivi d'une évaporation des bouillies concentrées dans des sacs osmofilm. Ses désavantages sont, comme pour Sentinel, liés à l'impossibilité de rentabiliser le matériel au sein de petites et moyennes exploitation, à la nécessité de récupérer les eaux chez les exploitants avant distillation puis d'organiser une filière de récupération et destruction des osmofilms.

On cherche à identifier une solution individuelle adaptée aux exploitations de petite et moyenne taille. On a vu que le système biobed était adapté aux traitements de fond de cuve peu concentrés pour des molécules utilisées en arboriculture fruitière. On pose la question de l'utilisation de ce système pour les exploitations bananières. En effet les conditions changent pour la banane en raison d'une part des molécules employées (bitertanol et thiabendazole) et d'autres part des quantités à traiter (apports hebdomadaires de flux concentrés). Ainsi, en ce qui concerne les molécules, le bitertanol est peu mobile, peu volatile et peu persistant (tableau 1). Sa dégradation dans un système biobed devrait être satisfaisante au regard des caractéristiques des molécules testées en arboriculture. La présence de son métabolite le 1, 2, 4-triazole nécessite cependant d'être suivi. En revanche le thiabendazole est peu mobile mais très persistant. Cette caractéristique est peu favorable à une dégradation dans un système biobed. Elle nécessiterait d'explorer un système alternatif ou peut conduire à revoir la stratégie de traitement au hangar basée sur l'alternance de molécules, c'est à dire à n'utiliser que le bitertanol.

Tableau 1 : caractéristiques des molécules utilisées pour le traitement des bananes au hangar

Pesticide	Water solubility at 20°C (mg.L ⁻¹)	Koc (L.kg ⁻¹)	Soil degradation DT50 - Typical (days)	Aqueous photolysis DT50 (days)	Vapour pressure at 25°C (mPa)	Henry Constant at 25°C (Pa.m ³ .mole ⁻¹)
Bitertanol C ₂₀ H ₂₃ N ₃ O ₂	5 <i>Peu soluble</i>	2 040 <i>Peu mobile</i>	23 <i>Peu persistant</i>	0.1 <i>Rapide</i>	2.2 x 10 ⁻⁷ <i>Non volatile</i>	2 x 10 ⁻⁸ <i>Non volatile</i>
1, 2, 4-triazole C ₂ H ₃ N ₃ <i>métabolite</i>	1 250 000 <i>Très soluble</i>	123 <i>Moyennement mobile</i>	7 <i>Non persistant</i>	- <i>-</i>	0.022 <i>Volatile</i>	- <i>-</i>
Thiabendazole C ₁₀ H ₇ N ₃ S	30 <i>Peu soluble</i>	2500 <i>Peu mobile</i>	500 <i>Très persistant</i>	1 <i>Modérément rapide</i>	5.3 x 10 ⁻⁴ <i>volatile</i>	3.7 x 10 ⁻⁶ <i>Non volatile</i>

Source : [FOOTPRINT Pesticides database](#)

Objectifs

Evaluer l'efficacité d'un système biobed sur la dégradation du bitertanol et du thiabendazole sur la base d'un apport hebdomadaire. On fait l'hypothèse qu'une accumulation d'une ou l'autre molécule est possible étant donné la fréquence des apports et les durée de demi-vie qui peuvent être très élevées. Pour pallier à ce phénomène des modes de gestion du biobed comportant des phases sans apport de molécules ont été testées. Ainsi on s'est intéressé à l'effet d'apports continus où alternés sur la vitesse de dégradation des molécules et leur éventuelle accumulation dans le biobed.

Protocole simplifié

Traitements

Les traitements suivants ont été testés:

- t1 = apport continu de la bouillie fongicide durant 6 mois puis suivi de la dégradation durant 6 mois

- t2 = alternance fongicide / sans fongicide tous les mois durant 12 mois
- t3 = apport unique puis suivi de la dégradation du produit durant 6 mois pour établir la courbe de dégradation des molécules et leur demi-vie

Réalisation

- 3 bacs de compost de 4 m² chacun, remplis sur 80 cm soit 3.2 m³ par bac.
- Plantation en brachiaria decumbens.
- Apport de bouillies hebdomadaire :
 - o les tests préliminaires donnent une capacité minimale d'évaporation de 15L/m²/semaine soit 60 L par bac ; Ce volume permet de conserver un potentiel hydrique de l'eau de -50 cm sur tout le profil et d'éviter l'apparition d'hydromorphie. L'humidité dans le bac est pilotée par tensiométrie : si l'évaporation augmente, on complète la bouillie avec de l'eau pour conserver un potentiel hydrique dans le bac de -50 cm.
 - o les molécules concernées sont le bitertanol (Baycor 21g MA = 70 ML /100 L d'eau) et le thiabendazole (Mertect 44g MA = 200 ML / 100 L d'eau)
 - o on apporte de façon hebdomadaire la quantité contenue dans 60 L soit 42 ML de (12.6 g de bitertanol) et 120 ML de Mertect (26.4 g de thiabendazole). Pour t1 et t2 on apporte la quantité en 3 fois durant la semaine (soit 42/3 = 14 et 120/3 = 40 ML de produit à chaque apport); pour t3 on apporte en une seule fois la quantité hebdomadaire pour chacune des molécules (42 et 120 ML de produit).

Tableau 2 : quantités à apporter par semaine

Molécule	quantité pour 100 L d'eau		Volume hebdomadaire par bac	quantité requise	
	g de MA	ML de produit		g de MA	ML de produit
Bitertanol	21	70	15 L x 4 m ² = 60 L	12.6	42
thiabendazole	44	200		26.4	120

Mesures

- détermination de la densité du biomix
- mesure des quantités d'eau apportées
- suivi de la dynamique d'évolution des concentrations dans le compost par prélèvement (analyses Institut Pasteur de Lille)
- suivi des caractéristiques physico-chimique des biomix (analyses CIRAD MPL)
- suivi du rayonnement, des températures et de la tensiométrie dans les bacs

Calendrier des mesures

- Avant épandage,
 - o Analyse minérale sur bagasse, terre et biomix prélevé à la fabrication (juillet 2007)
 - o Analyse minérale sur un échantillon moyen par profondeur pour l'ensemble des bacs du biobed prélevé début janvier 2008 avant épandage
- juste après le premier épandage de fongicides, réalisation de 3 prélèvements à 2 profondeurs (0-20 ; 20-40) dans chacun des 3 bacs. A partir de ces prélèvements, on réalise un échantillon moyen par profondeur et pour chacun des 3 bacs où les fongicides ont été apportés => 6 échantillons congelés pour envoi à l'institut Pasteur de Lille
- Par la suite on procède à raison d'un prélèvement toutes les 4 semaines durant 1 an pour t1 et t2 et durant 6 mois pour t3. A chaque prélèvement, pour chaque bac, on a réalisé un échantillon moyen à partir de 3 coups de tarière, soit pour le bac, soit pour chaque profondeur pour le bac.

Résultats

Dispositif

Construction des cuves



Figure 1 : bacs biobed et système d'irrigation

Un dispositif en béton (Figure 1), de 16 m² (4m*4m), divisé en 4 bacs de dimensions internes de 3.61m² (1,90m*1,90m) et 0,85m de profondeur, a été construit en avril 2007. L'étanchéité des bacs a été renforcée à l'intérieur par une peinture spéciale. Une toiture métallique, avec de la tôle transparente a été posée à une hauteur de 1,05m du périmètre du biobed. Afin d'éviter tout apport externe d'eau nous avons installé du plastique de serre du côté Nord-Est de ce dernier.

Pour l'alimentation en eau, nous avons mise en place, un système d'irrigation goutte à goutte, indépendant pour chaque bac, composé de trois hampes et 15 goutteurs, reliés à 4 cuves surélevées d'un volume de

220litres pour chacune.



Figure 2 : plantation de brachiaria

Enfin une plantation de boutures de brachiaria decumbens (Figure 2) a été effectuée fin de juillet 2007 et un complément par semis de graines le 16/10/2007.



Fabrication du biomix



Figure 3 : mélange terre + bagasse (biomix)

Le biomix (Figure 3) est un compost utilisé pour remplir le biobed. Pour son obtention nous avons mélangé 7 mètres cubes de terre (andosol Neufchâteau), et 7 mètres cubes de bagasse de canne (distillerie de Montebello). Afin d'obtenir un mélange homogène nous avons fait appel à une tractopelle.

A la fabrication du biomix, trois échantillons ont été prélevés pour analyse MPL, un pour la terre, un pour la bagasse, et un pour le biomix (prélèvements faits en juillet 2007). Les résultats

d'analyse sont indiqués en annexe

Gestion des apports d'eau

Pour gérer les apports d'eau, nous avons implanté un Système tensiométrique permettant de contrôler l'humidité dans les bacs. C'est ainsi que 10 tensiomètres ont été posés, bac1 T1, bac 2 T3, bac 4 T2 : deux tensiomètres entre les goutteurs dans chacun des bacs, à 2 profondeurs 0-20, 20-40 ; quatre tensiomètres pour le bac 3 témoin, 2 sous goutteurs à 0-20, 20-40 et 2 entre les goutteurs, aux mêmes côtes.

Les apports d'eau ont été dimensionnés de façon à maintenir les valeurs tensiométriques des bacs, à -50 cm d'eau. Des mesures préliminaires quelques mois avant l'apport de la bouillie, nous ont permis de déterminer une quantité d'eau moyenne à apporter. Par la suite, nous avons effectué des mesures trois fois par semaine en même temps que l'apport de la bouillie. L'apport hydrique a été revu à la hausse ou à la baisse pour chaque bac, en fonction de la variation des données tensiométriques qui dépendent du niveau de la croissance de la plante et des effets climatiques (ETP).

Evaporation

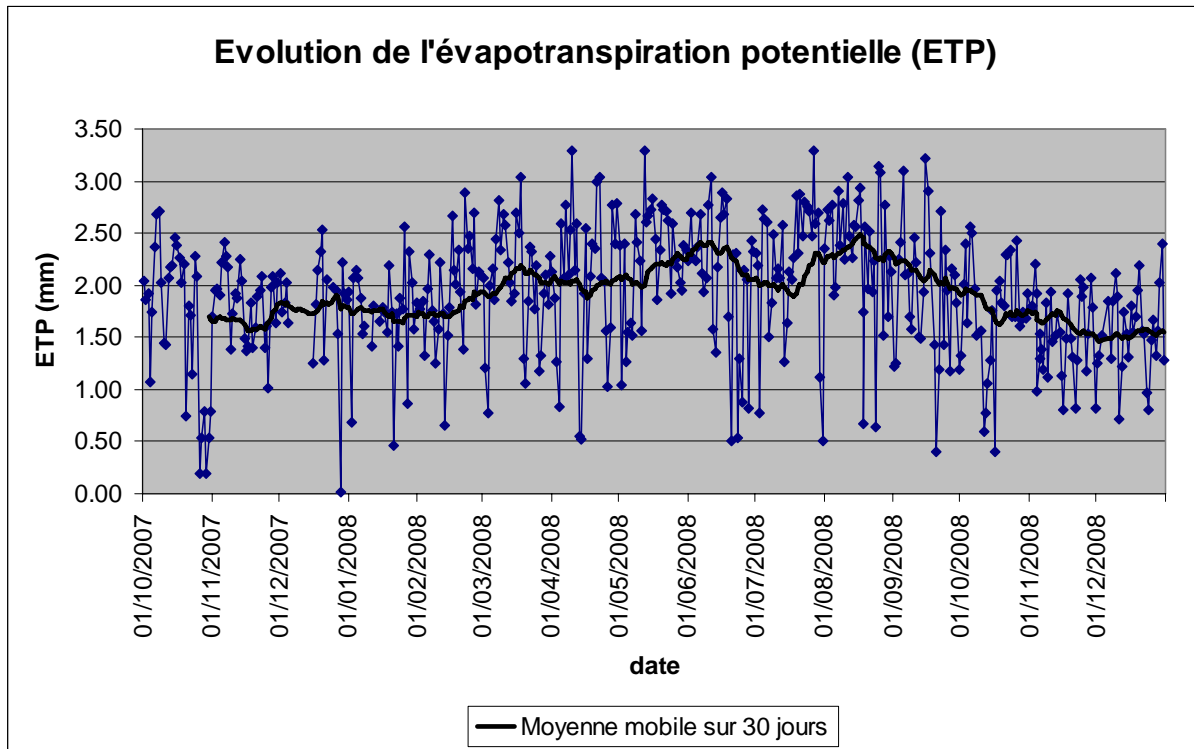


Figure 4 : évolution de l'évapotranspiration potentielle calculée à partir du rayonnement global

L'ETP a été estimée à partir des mesures de rayonnement global sur la station de Neufchâteau (Figure 4). L'ETP au cours de la période d'expérimentation se situe en moyenne à 2 mm jour ce qui correspond aux hypothèses émises au départ pour l'alimentation du bac. Les apports d'eau moyenne ont été de 2,3 mm par jour, le brachiaria procurant une évapotranspiration maximale supérieure à l'ETP. Ces conditions ont permis de conserver une humidité au sein du bac apte à une dégradation aérobie des molécules.

Détermination de la période de demi-vie sur un apport unique

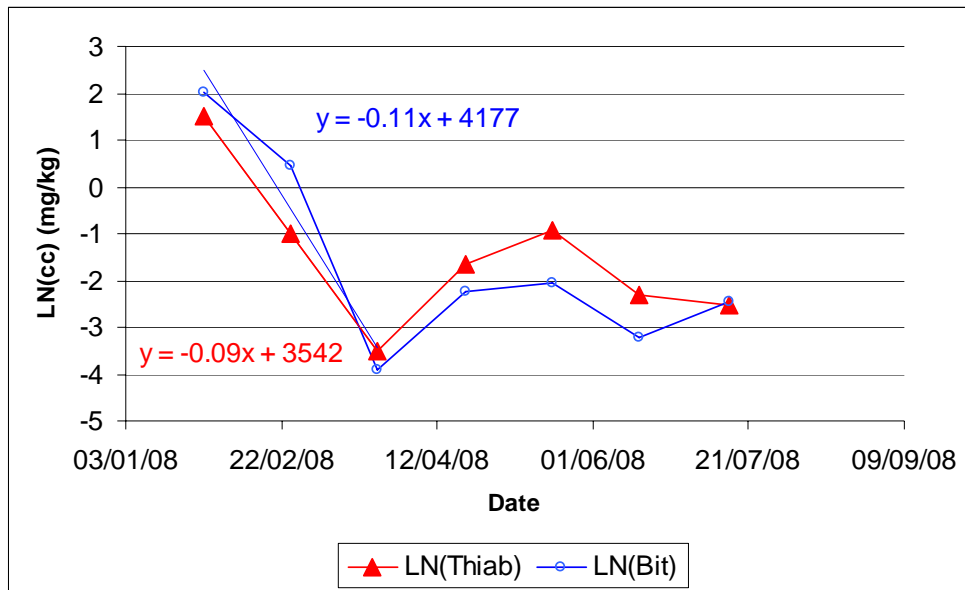


Figure 5 : évolution du logarithme népérien des concentrations en thiabendazole et bitertanol suite à un apport unique (t3). Les pentes sont calculées sur les 3 premiers points de décroissance.

La période de demi-vie des molécules peut-être calculée à partir de l'évolution des concentrations suite à un apport unique (Figure 5). Elle est égale à :

Pour le bitertanol : $\text{LN}(2) / 0.11 = 6.3$ jours

Pour le thiabendazole : $\text{LN}(2) / 0.09 = 7.7$ jours

La valeur pour le bitertanol est plus faible mais comparable à la valeur reportée par la bibliographie. En revanche celle pour le thiabendazole est beaucoup plus faible que celle reportée par la littérature qui est de 500 jours. Ceci suggère soit que des micro-organismes spécifiques de la dégradation de cette molécule préexistent dans le biomix, soit que d'autres voies de dégradation (photodégradation par exemple) ont pu avoir lieu.

On constate également que 6 mois après apport, les deux molécules sont toujours présentes dans le biomix bien qu'à de très faibles concentrations (de l'ordre de 0.1 mg/kg). Ceci est cohérent avec l'existence de résidus liés, peu accessibles à la biodégradation, en liaison avec la forte teneur en matière organique du substrat.

Evolution des concentrations de thiabendazole et de bitertanol

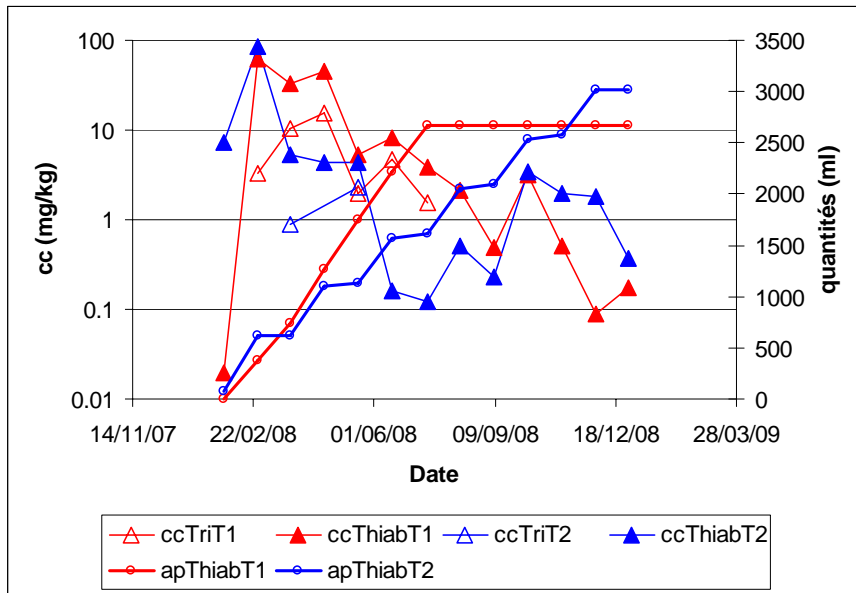


Figure 6 : apport (ap) de thiabendazole et évolution des concentrations (cc) suivant les traitements T1 et T2 pour le thiabendazole (Thiab) et son dérivé le 123 triazole (Tri)

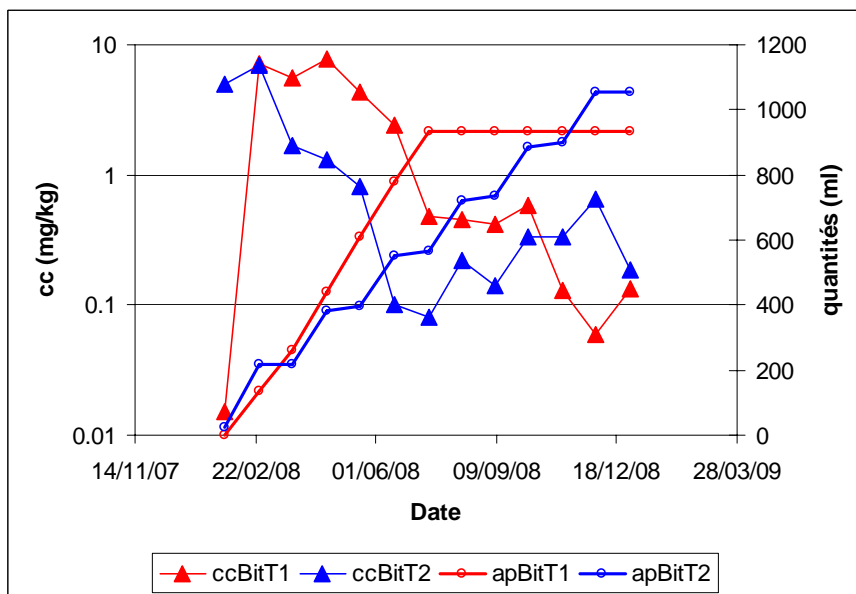


Figure 7 : apport de bitertanol et évolution des concentrations (cc) suivant les traitements T1 et T2

Pour les deux molécules, les résultats Figure 6 et Figure 7 montrent une évolution comparable : un pic de concentration est observé pour les deux premiers apports, puis, alors que les apports des molécules se poursuivent, les concentrations baissent plus ou moins rapidement suivant les traitements : dans le cas d'apport régulier des molécules (T1) la baisse des concentrations est progressive et atteint des niveaux proches de ceux observés pour un apport unique (T3) 6 mois après l'arrêt des traitements (0.1 mg/kg) ; dans le cas d'un apport alterné 1 mois sur 2 (T2) les concentrations restent à un très bas niveau mais sont supérieures au bout d'un an au traitement T1.

Enfin, on ne constate aucune accumulation du produit de dégradation du thiabendazole, le 123 triazole.

On a vu que les demi-vies calculées à partir des valeurs expérimentales sont beaucoup plus courtes que celles reportées par la littérature. Une simulation de l'évolution des concentrations dans le biobed des 2 molécules étudiées a été réalisée en tenant compte des apports successifs et en calant la demi-vie des molécules de façon à ce que les valeurs simulées s'ajustent au mieux aux valeurs observées. On trouve par cette méthode une demi-vie calculée d'environ 3 jours pour le bitertanol et de 10 jours pour le thiabendazole, valeurs proches de celles calculées à partir d'un apport unique (6.3 et 7.7 jours). L'observation des écarts entre concentrations simulées et observées au cours du temps apporte des informations supplémentaires. En effet, on observe jusqu'au 21/07/08 environ (Figure 8), que les concentrations mesurées tendent à s'écarter de celles simulées en y devenant inférieures. Ceci traduirait une amélioration de la capacité du biobed à dégrader les molécules au cours du temps en favorisant la sélection et l'activité des microorganismes intervenant dans la dégradation des deux molécules ; une autre hypothèse basée sur l'interception de la molécule par le couvert végétal peut cependant être avancée et est expliquée dans le paragraphe suivant. En revanche en fin d'expérimentation, alors que les valeurs simulées tendent vers 0, elles deviennent systématiquement inférieures à celles mesurées (non visible sur le graphique). Ceci va dans le sens d'une fraction non accessible à la dégradation.

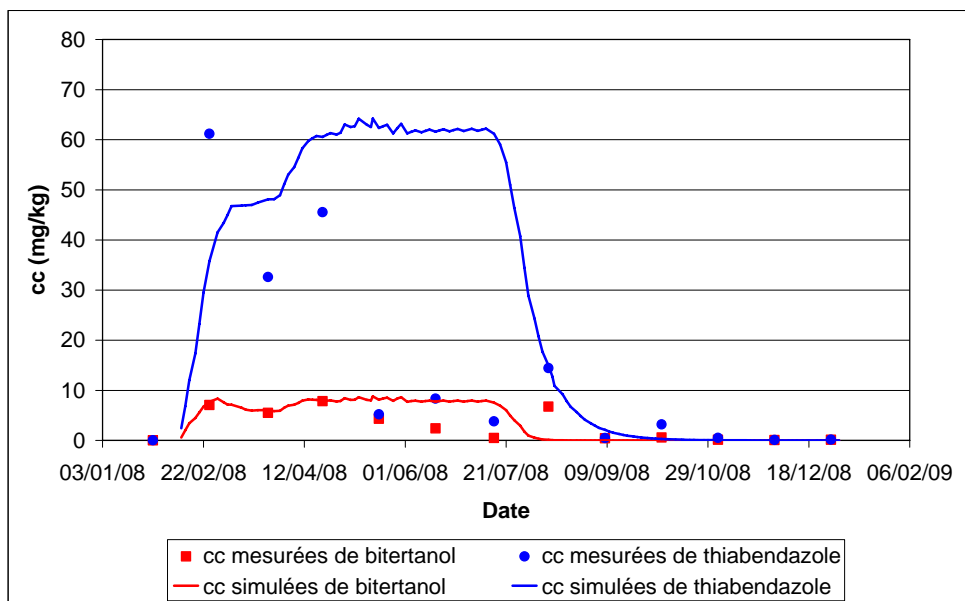


Figure 8 : évolution des concentrations simulées et mesurées dans le cas d'un apport continu de bitertanol et de thiabendazole (T1)

Concentration des molécules suivant les profondeurs

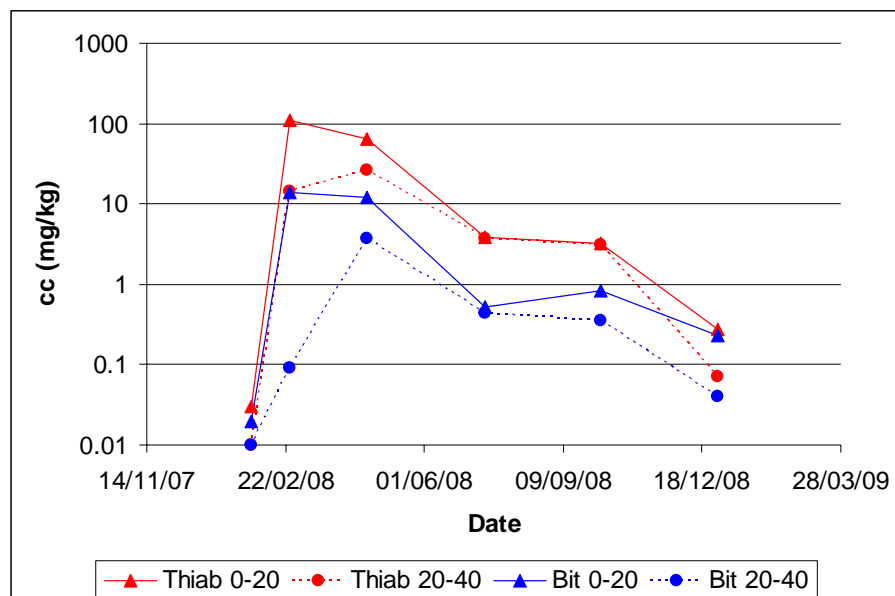


Figure 9 : concentration en thiabendazole et bitertanol en surface et en profondeur du biobed pour le traitement T1

Les mesures de concentrations en surface et en profondeur des deux molécules (Figure 9) montrent qu'en début d'expérimentation les deux molécules sont principalement réparties en surface. En revanche, la répartition dans le profil devient plus homogène en fin d'expérimentation. Des résultats similaires sont obtenus pour T2 (non montré) et suggère que cette répartition homogène n'est pas due à l'arrêt des apports. Il est possible qu'une rétention de molécule puisse avoir lieu sur la matière végétale aérienne au cours de l'épandage qui retarde l'arrivée de la molécule au sol. Aucune analyse de la biomasse aérienne du brachiaria n'a pu être réalisée dans le cadre du présent projet et ne vient donc confirmer ou non cette hypothèse. Cependant, du point de vue environnemental, cet effet supposé n'a que peu d'importance : il ne favorise pas la dispersion de la molécule et pourrait même faciliter une photodégradation.

Conclusion

En conclusion, le système biobed composé d'un mélange de terre (andosol) et de bagasse et planté en brachiaria apparaît efficace pour dégrader deux molécules fongicides utilisées dans le traitement des bananes au hangar, le bitertanol et le thiabendazole. Aucune accumulation des molécules ni de leurs produits de dégradation n'est constatée malgré une fréquence de traitement élevé. Au contraire, l'efficacité du biobed semble s'améliorer avec le temps et laisse supposer des durées de vie du système supérieure à l'année.

Les points remarquables enregistrés concernent les durées de demi-vie extrêmement courtes des molécules calculées dans les 3 bacs pour des fréquences d'apport variées (apport unique, apport continu, apport un mois sur deux). Alors que la biomasse aérienne devient très importante en cours d'année, il est possible qu'une rétention des molécules sur le feuillage puisse avoir lieu sans remettre en cause le calcul des demi-vies, réalisées avant fermeture du couvert. Cette rétention a pu retarder

l'entrée du produit dans le sol et favoriser la photodégradation des molécules. Cette voie n'a pas cependant pu être explorée plus avant. Enfin l'expérimentation met en évidence l'existence d'une fraction liée des molécules dans le biomix peu accessible à la biodégradation et qui fait que le biomix reste contaminé, bien qu'à un niveau faible, même après 6 mois sans apport.

Les principales contraintes à l'utilisation de ce système sont la gestion de l'eau au sein du biobed pour conserver des conditions aérobies de dégradation tout en maintenant une humidité suffisante à l'activité des microorganismes et à la croissance de la plante. Le suivi tensiométrique est une nécessité. Dans les conditions de Neufchâteau, la capacité de traitement est d'un peu plus de 2mm par jour. Près d'un an après l'apport, le volume de compost s'est réduit pratiquement de la moitié. Dans les conditions expérimentales, 800 kg de compost par bac ont été apportés pour des apports hebdomadaires de 12.6 g de bitertanol et 26.4 g de thiabendazole, soit un rapport de 15.75 et 33 mg de matière active par kg de compost. Dans les exploitations agricoles, on peut estimer la quantité nécessaire de bouillie à 150 litres pour 10 tonnes de bananes (1 container de 20 pieds). C'est à dire que selon la capacité de traitement indiqué ci-dessus, il faudra 7.5 m² de biobed pour évaporer en une journée la quantité nécessaire au traitement d'1 t de bananes. Pour une grosse exploitation produisant 50t de banane par semaine par unité de conditionnement, un biobed de 7.5 m² * 50 t : 7 jours = 53 m² serait suffisant, soit une taille raisonnable. Ce procédé serait donc applicable dans la plupart des exploitations guadeloupéennes.

Les principales questions qui demeurent sont l'augmentation inattendue des capacités de dégradation du système par rapport aux valeurs reportées par la littérature. Ceci inviterait à vérifier ces valeurs dans des conditions de laboratoires. D'autre part le stockage des molécules par la biomasse aérienne du brachiaria doit être évalué. L'analyse de la matière sèche de la graminée en fin d'expérimentation apparaît nécessaire. Enfin diverses actions restent à entreprendre dans l'optique d'homologuer ce dispositif pour une utilisation chez l'exploitant. Notamment, des mesures d'écotoxicologie sont demandées avant et après traitement ; également, les conditions d'un suivi technique et de service après vente doivent être également définies... Pour cela, si la recherche peut apporter son appui, l'identification d'un tiers porteur du dossier d'homologation reste nécessaire. En l'état l'homologation ne vaudra que pour les molécules fongicides étudiées ; l'introduction d'une nouvelle molécule devra faire l'objet d'une expérimentation additionnelle.

Annexe 1

	No Labo	1	2	3	4	5
		Bagasse	Terre	Biomix	Biomix	Biomix
		Fabrication	Fabrication	Initial	0-20	20-40
					24/01/08	24/01/08
<u>Analyses physiques</u>						
Granulométrie standard						
Argiles	%		3.60	8.70	4.90	5.80
Limons fins	%		12.10	22.90	19.50	20.40
Limons grossiers	%		12.10	22.60	17.80	20.00
Sables fins	%		23.10	24.80	22.90	18.80
Sables grossiers	%		49.10	20.90	34.90	35.00
<u>pH - Calcimétrie</u>						
pH eau			5.82	6.40	6.62	6.78
<u>Matière Organique</u>						
perte au feu à 500°C	%		22.11	31.03	24.29	24.86
Matière organique						
Matière organique	%	74.94	8.65	16.91	11.35	11.60
Carbone organique	%	43.47	5.02	9.81	6.58	6.73
Azote total	‰	4.36	4.95	4.48	5.27	5.11
C/N		99.76	10.15	21.92	12.50	13.16
<u>Complexe d'échange - Acidité</u>						
Complexe d'échange Acétate						
Ca éch	me/100g		5.24	11.89	16.19	15.70
Mg éch	me/100g		1.93	2.30	2.65	2.57
K éch	me/100g		0.47	1.81	1.67	1.56
Na éch	me/100g		0.13	0.17	0.22	0.26
Somme	me/100g		7.77	16.16	20.72	20.09
CEC	me/100g		25.28	22.50	25.00	23.80
TS	%		30.70	71.80	82.90	84.40
<u>Eléments totaux</u>						
Ca	g/kg	1.15	2.81	5.45	6.37	6.13
Mg	g/kg	0.64	7.47	7.54	8.01	7.83
K	g/kg	3.12	2.53	2.77	3.13	3.06
Na	g/kg	0.32	1.29	1.28	1.31	1.26
P	mg/kg	538.00	1510.10	1328.00	1608.80	1533.80
S	mg/kg	538.20				
<u>Analyses d'engrais</u>						
Capacité de rétention en eau	%	689.80	94.80	140.80	120.90	125.10