

**AFPP – 6^e CONFÉRENCE SUR LES MOYENS ALTERNATIFS DE PROTECTION
POUR UNE PRODUCTION INTEGRÉE**

LILLE – 21, 22 ET 23 MARS 2017

**UTILISATION DU MAÏS DOUX COMME PLANTE PIÈGE POUR CONTROLER LA NOCTUELLE DE LA
TOMATE *HELICOVERPA ZEA***

B. RHINO ⁽¹⁾ et A. RATNADASS ⁽²⁾

⁽¹⁾ CIRAD/CAEC, UPR HortSys, Petit-Morne, 97285 Le Lamentin, Martinique, beatrice.rhino@cirad.fr

⁽²⁾ CIRAD, UPR Hortsys, Station de Bassin-Plat, BP 180, 97455 Saint-Pierre, La Réunion,
alain.ratnadass@cirad.fr

RÉSUMÉ

L'utilisation d'une plante piège qui attire le ravageur et le détourne de la culture principale est une méthode de protection des cultures agro-écologique et respectueuse de l'environnement. Nous avons étudié l'utilisation du maïs doux comme plante piège pour protéger les cultures de tomate de la noctuelle *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). Nos résultats montrent que les soies de maïs doux sont des sites de ponte privilégiés pour *H. zea* et que la synchronisation de l'apparition des soies et de la floraison de la tomate a pour effet des pontes plus faibles dans les parcelles de tomate avec une bordure de maïs doux que dans celles sans bordure. Cette méthode nécessite aussi la prise en compte de l'effet variétal. Sur 10 variétés de maïs doux testées pour leur attractivité comme site de ponte, la densité d'œufs déposés varie entre les variétés. Des caractères physiques tels que le poids des soies, leur brunissement et la hauteur du plant peuvent expliquer cette variabilité.

Mots-clés : agroécologie, *Zea mays*, interaction plante – insecte, protection des cultures, phénologie.

ABSTRACT

CORN USE AS TRAP CROP TO CONTROL TOMATO FRUITWORM *HELICOVERPA ZEA*

Trap cropping is an agroecological and environmentally friendly method of pest management that attracts and diverts the pest away from the main crop. We studied the use of sweet corn (maize) as a trap crop to control *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in tomato fields. Our results show that sweet corn silks are preferred egg-laying sites for *H. zea* and that synchronization between corn silking and tomato flowering, results in less *H. zea* eggs laid in the tomato plots with corn border than in the plots without corn border. This method also requires taking the varietal effect of corn into consideration. On 10 sweet corn varieties tested, under open field conditions, for their attractiveness to *H. zea* oviposition, the egg density varies between the varieties. Physicochemical traits such as silk weight, brown silk proportion and plant height, can explain corn attractiveness to oviposition by *H. zea*.

Keywords: agroecology, *Zea mays*, plant-insect interaction, crop protection, phenology.

INTRODUCTION

La noctuelle *Helicoverpa zea* est un ravageur majeur de la tomate, *Solanum lycopersicum* L., dans la Caraïbe et sur le continent américain. Les femelles pondent préférentiellement sur les plantes en floraison et les dégâts sont occasionnés par les larves qui se nourrissent des structures florales et des fruits dès la nouaison (Fitt 1989). La lutte chimique avec des produits ovocides et larvicides permet le contrôle des œufs et partiellement celui des larves car celles localisées dans les fruits sont protégées contre les traitements. Cependant ces produits ont aussi des effets létaux sur les ennemis naturels.

Afin de limiter les intrants, l'augmentation de la diversité végétale dans les parcelles de tomate pourrait être une solution. De nombreux travaux ont montré que cette approche permet de réduire la pression de ravageurs et favorise les populations des auxiliaires (Ratnadass et al. 2012). L'une des méthodes d'introduction de diversité végétale est l'utilisation de plantes-pièges associées à la culture principale. Une plante piège est une plante plus attractive pour le ravageur que la culture principale, utilisée afin de le détourner de cette dernière (Hokkanen, 1991). Ainsi, c'est le principe de l'attractivité qui est recherché et celle-ci est basée sur les signaux visuels, olfactifs et physiques émis par la plante et qui sont perçus par l'insecte (Potting et al. 2005). *Helicoverpa* sp. répondrait favorablement aux plantes-pièges puisque, pour sélectionner ses sites de pontes, elle utilise les composés volatils émis par les plantes ainsi que des critères physiques comme la présence de trichomes qui favoriseraient le maintien des œufs sur le site (Renwick et Chew, 1994). Tillman et Mullinix (2004) ont utilisé avec succès le sorgho, *Sorghum bicolor* L., pour réduire les pontes de *H. zea* sur le coton, *Gossypium hirsutum* L.

Nous avons choisi d'étudier le potentiel du maïs, *Zea mays* L., comme plante piège car il est très attractif pour *H. zea* (Johnson et al. 1975). Les femelles pondent préférentiellement sur les soies émergentes ; les larves se nourrissent le long des soies puis pénètrent l'épi par le sommet afin de se nourrir des grains. De plus, le développement de *H. zea* est limité sur le maïs ; par rapport à la tomate, le taux de survie des larves est faible et les femelles qui émergent sont moins fécondes (Jallow et Zalucki 2003). Le maïs est aussi un habitat favorable pour les ennemis naturels de *H. zea* dont la coccinelle *Coleomegilla maculata*, la punaise prédatrice *Orius insidiosus* et la fourmi *Solenopsis invicta* (Lundgren et al. 2015).

Les objectifs de cette étude ont été de : i) valider le potentiel du maïs comme plante-piège pour *H. zea* afin de diminuer les pontes sur la tomate ; ii) optimiser son utilisation en définissant un dispositif temporel permettant la synchronisation des stades attractifs des deux espèces végétales ; iii) évaluer la variabilité intraspécifique de l'attractivité du maïs comme site de ponte et identifier les critères physiques susceptibles de favoriser les pontes.

MATERIELS ET MÉTHODES

CARACTERISTIQUE DU SITE EXPERIMENTAL

Les expérimentations se sont déroulées en Martinique. Les essais en plein champ ont été menés à la station expérimentale du CIRAD à Saint Joseph et les essais en modules insect-proof au CAEC (Campus Agro-Environnemental Caraïbe) situé au Lamentin. La Martinique bénéficie d'un climat tropical humide avec deux saisons marquées : i) la saison sèche communément appelée « carême », de janvier à mi-avril avec des pluies sporadiques de faible intensité et une température moyenne variant de 22 à 30°C ; ii) la saison des pluies, de juillet à novembre, correspondant à la saison cyclonique avec une température moyenne variant de 24 à 31°C et des pluies régulières de forte intensité. Les essais en plein champ se sont déroulés en saison sèche qui est aussi la période de production de la tomate. Les cultures n'ont reçu aucun pesticide et l'infestation de *H. zea* était naturelle.

SYNCHRONISATION DES FLORAISONS DE TOMATE ET DE MAÏS

Pour cette expérimentation, nous avons utilisé la variété de tomate Heatmaster (Petoseed) et les trois variétés de maïs présentes sur le marché local, Challenger (Seminis), Java (Technisem) et Sugar Jean (Agrinova). Le dispositif expérimental mis en place était composé d'une parcelle de tomate et de trois parcelles de maïs, une par variété. Chaque parcelle avait une superficie de 40m² et se composait de 11 lignes de 20 plants de maïs chacune ou 11 lignes de 10 plants de tomates. Le maïs et la tomate ont été semés en même temps, semis direct pour le maïs et semis en pépinière puis plantation 20 jours après pour la tomate. Dans chaque parcelle, 16 plants, échantillonnés au hasard sur l'ensemble des plants localisés hors bordure et identifiés dès le début de l'expérimentation, ont été observés chaque semaine en notant les dates de floraison ; l'échantillonnage a été identique pour les trois parcelles. Pour chaque plant de maïs, nous avons noté la date d'émergence des soies (soies visibles au sommet des spathes de l'épi) et celle de la sénescence des soies (épis avec plus de 75% des soies sèches) puis nous avons calculé la durée de la floraison de l'épi, exprimée en degrés-jours cumulés de l'émergence des soies à la sénescence des soies. Pour chaque plant de tomate, nous avons noté la date de début de la floraison (apparition de la première fleur ouverte) et celle de début de la maturation (apparition du premier fruit rouge). Puis nous avons calculé la durée de floraison exprimée en degrés-jours cumulés depuis le début de la floraison jusqu'au début de la maturation. Les degrés-jours ont été calculés suivant la formule: $[(T_{max} \cdot ^\circ C + T_{min} \cdot ^\circ C)/2] - T_{base}$, T_{base} étant le seuil inférieur de température pour le développement de la culture, T_{min} la température minimale quotidienne, T_{max} la température maximale quotidienne ; lorsque T_{max} dépassait le seuil supérieur de température pour le développement de la culture alors il était remplacé par ce dernier (McMaster et Wilhelm, 1997). Selon Cross et Zuber (1972), les seuils inférieur et supérieur de température pour le développement du maïs sont respectivement de 10 et 30°C. Selon Scholberg et al. (2000), les seuils inférieur et supérieur de température pour le développement de la tomate sont respectivement de 10 et 28°C.

Nous avons comparé le début et la durée de floraison de la tomate et des variétés de maïs en utilisant un modèle linéaire généralisé (GLM) avec une loi Gamma suivi d'une analyse de la déviance du modèle. Les analyses ont été réalisées avec le package « Rcmdr » du logiciel R (version 3.1.1).

EVALUATION DU POTENTIEL DU MAÏS DOUX COMME PLANTE PIEGE

Pour ces expérimentations nous avons utilisé la variété de tomate Heatmaster (Petoseed) et la variété de maïs Java (Technisem).

Test de choix de site de ponte pour *H. zea* entre la tomate et le maïs

Les expérimentations ont été menées dans des modules insect-proof avec des plantes en pot. Le dispositif expérimental était composé de quatre taches (= « patches ») de six plants, à raison de deux taches par espèce, disposées à 3m de distance du lot voisin. Un lâcher de 11 à 16 femelles a été réalisé au centre du dispositif quand les plants de maïs avaient un épi avec des soies totalement fraîches ou moins de 10% de soies brunes [BBCH 63 ; Meier (2001)] et les plants de tomate avaient quatre à cinq bouquets floraux [BBCH 53 504-53 505 ; Meier (2001)]. Ce dispositif a été répété trois fois et le même dispositif avec quatre taches de tomate a aussi été répété trois fois. Deux jours après le lâcher, tous les plants ont été prélevés individuellement et les œufs comptés sur l'intégralité de la plante. Nous avons utilisé un Modèle Linéaire Mixte Généralisé (MLMG) avec une distribution Gamma suivi d'une analyse de la déviance du modèle pour comparer le nombre d'œufs pondus entre les modalités du dispositif ; la date du lâcher et la tache étant considérées comme facteurs aléatoires. Les analyses ont été réalisées avec le module « lme4 » du logiciel R (version 3.1.1).

Impact d'une bordure de maïs sur les pontes de *H. zea* dans la parcelle de tomate

Le dispositif expérimental était composé de trois parcelles de tomates d'une superficie de 70m² chacune dont une avec une bordure de maïs au vent par rapport à la direction du vent prédominant (p1) et les deux autres, sans bordure, situées à 70 m (p2) et 100m de la bordure (p3). Nous avons choisi de mettre le maïs en bordure au vent de la parcelle de tomate car nous avons fait l'hypothèse que les odeurs du maïs couvraient celles de la tomate (Schröder et Hilker, 2008) et que la bordure servait aussi de barrière physique contre les aleurodes (Smith et McSorley, 2000). Les parcelles de tomate se composaient de 10 rangées de 22 plants chacune. La bordure de maïs d'une superficie de 20 m² se composait de quatre lignes de 50 plants chacune. Les deux premières lignes ont été semées un mois avant la plantation de la tomate et les deux autres deux semaines après, afin d'avoir un étalement de la floraison. Dans chaque parcelle de tomate, à partir du début de la floraison et pendant les six semaines suivantes, 50 plants ont été échantillonnés chaque semaine pour le comptage des œufs de *H. zea*. Pour chaque plant échantillonné, la première feuille en dessous du bouquet le plus fleuri (i.e. > 50% des fleurs ouvertes) a été prélevée car les pontes se concentrent autour du bouquet le plus fleuri (Alvarado-Rodriguez et al., 1982; Hoffmann et al., 1991). Nous avons comparé le nombre d'œufs par plant entre les trois parcelles p1, p2 et p3, en utilisant un MLMG avec une distribution de Poisson suivi d'une analyse de la déviance du modèle ; la parcelle étant considérée comme facteur fixe, le plant échantillonné et la date de prélèvement comme facteurs aléatoires. Les analyses ont été réalisées avec le package « lme4 » du logiciel R (version 3.1.1).

EVALUATION DE LA VARIABILITE INTRASPECIFIQUE DU MAÏS COMME SITE DE PONTE

Pour cette expérimentation, nous avons utilisé 11 variétés de maïs doux avec des caractéristiques botaniques différentes, dont les variétés, Golden Bantam et Stowell's Evergreen, sensibles à *H. zea* (Tableau I). Le dispositif expérimental était composé de six blocs complets distants de 5m et dans chaque bloc, les 10 parcelles expérimentales étaient distantes de 1m. Chaque parcelle avait une superficie de 8m² et était composée de 48 plants disposés sur quatre rangées de 12 plants. Au centre de la parcelle, nous avons échantillonné 10 plants sur lesquels nous avons réalisé des observations à l'émergence des soies : nombre de feuilles, hauteur de la plante et hauteur du premier épi. Les premiers épis de ces mêmes plants ont été prélevés trois à quatre jours après l'émergence des soies, nous avons compté le nombre d'œufs de *H. zea*, pesé les soies et noté le pourcentage de soies brunes (i.e. soies sénescents), en utilisant les quatre catégories suivantes : classe 1 (0%) ; classe 2 (> 0 à <= 10%) ; classe 3 (> 10 à <= 50%) ; classe 4 (> 50%). Au stade grain laiteux, lorsque les soies ont été totalement sèches, nous avons échantillonné aléatoirement 15 autres plants parmi les 38 plants restants et nous avons prélevé les premiers épis sur lesquels nous avons mesuré la longueur de l'extension de la gaine (différence de longueur entre les épis avec ou sans spathes), dénombré les chenilles dans l'épi et pesé les grosses chenilles (L5-L6). Pour comparer l'attractivité des différentes variétés de maïs comme sites de ponte pour *H. zea* en prenant en compte des caractères physiques, le nombre d'œufs/épi a été analysé en utilisant un MLMG avec une distribution de Poisson suivi d'une analyse de la déviance ; le bloc et la date de prélèvement étant considérés comme facteurs aléatoires. Les analyses ont été réalisées avec le package « lme4 » du logiciel R (version 3.1.1).

Tableau I : Liste des variétés commerciales de maïs doux utilisées.
(List of commercial sweet corn varieties used in the study.)

VARIETES	FOURNISSEUR	TYPE DE VARIETE	COULEUR DES SOIES
Applause	Ducrettet	hybride tardif	Vert
Challenger	Seminis	hybride précoce	Vert
Garrison	Syngenta	hybride tardif	Vert
Golden Bantam*	Germinance	non hybride précoce	Rouge
Java	Technisem	non hybride tardif	Vert
Jubilee	Syngenta	hybride tardif	Vert
Nova	Agri-semences	hybride précoce	Vert
Shinerock	Syngenta	hybride tardif	Vert
Starshine	Syngenta	hybride précoce	Rouge
Stowell's Evergreen*	Germinance	non hybride tardif	rouge
Sugar Jean	Agri-nova	hybride précoce	rouge

* variétés sensibles à *H. zea* (Wiseman et al. 1983; Wiseman et Isenhour 1994)

RESULTATS

SYNCHRONISATION DES FLORAISONS DE TOMATE ET DE MAÏS

Les sommes de degrés-jours du semis au début de la floraison (apparition des fleurs de tomate et des soies du maïs), ont été significativement différentes entre les espèces végétales et les variétés (GLM : $F = 112,58$; $ddl = 3$; $P < 0,001$). La durée de floraison de la tomate a été deux à trois fois plus étendue que celle du maïs (Tableau II). Ainsi, pour aucune des variétés de maïs, la période durant laquelle les soies fraîches étaient visibles n'a couvert la totalité de la période de la floraison de la tomate. En réalisant une simulation pour une température constante de 25°C, nous avons calculé que la floraison de la tomate se produirait 46 ± 1 jours après le semis alors que l'émergence de soies ne se produirait que 55 ± 1 jours et 72 ± 2 jours après le semis, respectivement pour les variétés précoces Challenger et Sugar Jean, et pour la variété tardive Java. A cette même température, la durée de floraison de la tomate serait de 28 ± 1 jours alors que la période durant laquelle les soies fraîches sont visibles varierait de 9 à 15 jours.

EVALUATION DU POTENTIEL DU MAÏS DOUX COMME PLANTE PIEGE

Test de choix entre la tomate et le maïs comme site de ponte pour *H. zea*

Le nombre moyen d'œufs de *H. zea* pondus par femelle a été six fois plus élevé dans les taches de maïs que dans celles de tomate (Figure 1).

Les taches de tomate se trouvant dans des modules ne contenant que de la tomate ont été en moyenne deux fois plus infestés que ceux se trouvant dans les modules contenant aussi du maïs (Figure 2).

Impact d'une bordure de maïs sur les pontes de *H. zea* dans la parcelle de tomate

Le nombre moyen d'œufs de *H. zea* par plant de tomate a été deux à trois fois plus élevé dans les parcelles sans bordure de maïs que dans celle avec une bordure de maïs (Figure 3).

Tableau II : Début et durée (en sommes de degrés-jours) des floraisons de la tomate (cv. Heatmaster) et de l'inflorescence femelle du maïs (trois variétés)(moyenne \pm ES). Pour chacune des variables, les moyennes ayant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test *post-hoc* de Tukey.

(Starting date and duration (in numbers of degree-days) of silking stage of corn (three varieties) and tomato (cv. Heatmaster) flowering stage for three corn varieties and one tomato (mean \pm SE) Within a column, means followed by the same letters are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$)).

Espèce/Variété	Somme de degrés-jours	
	Début de la floraison	Durée de la floraison
Maïs / Challenger	832,56 \pm 17,68 (b)	191,63 \pm 7,75 (b,c)
Maïs / Java	1077,06 \pm 23,45 (a)	150,70 \pm 11,77 (c)
Maïs / Sugar Jean	840,81 \pm 10,46 (b)	206,08 \pm 21,30 (b)
Tomate / Heatmaster	692,23 \pm 9,95 (c)	427,17 \pm 13,81 (a)
$F_{3,59}$	112,58	32,03
P	< 0,0001	< 0,001

Figure 1 : Nombres moyens d'œufs de *H. zea* pondus par femelle (\pm ES) dans les taches de tomate et de maïs. Test de signification: *** $P < 0,001$.

(Mean numbers of *H. zea* eggs laid per female (\pm SE) in tomato and corn patches.

Significance test : *** $P < 0.001$)

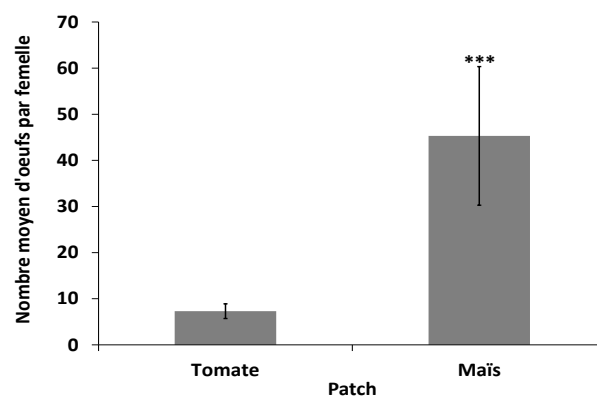


Figure 2 : Nombres moyens d'œufs de *H. zea* pondus par femelle (\pm ES) dans les taches de tomate selon le dispositif (tomate seule ou patches de tomate et de maïs). Test de signification : * $P < 0,05$.

(Mean numbers of *H. zea* eggs laid per female (\pm SE) in patch of tomato alone and patch of tomato near corn. Significance test : * $P < 0.05$)

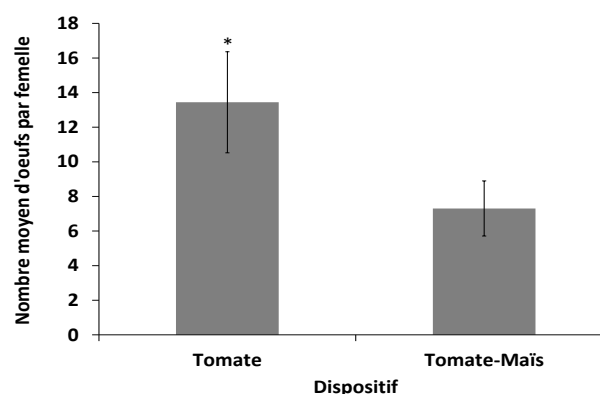
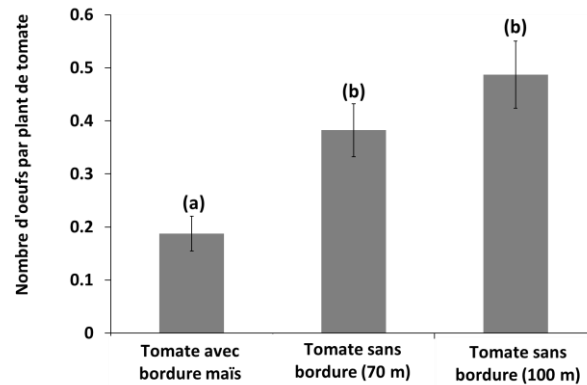


Figure 1 : Nombres moyens d'œufs de *H. zea* collectés par plant (\pm ES) dans les parcelles de tomate. Les moyennes ayant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test *post-hoc* de Tukey.

(Mean numbers of *H. zea* eggs per tomato plant (\pm SE) collected in the tomato plots. Bars with the same letters are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$)).



EVALUATION DE LA VARIABILITE INTRASPECIFIQUE DU MAÏS COMME SITE DE PONTE

Le nombre moyen d'œufs pondus sur la variété Java a été le plus important et deux à cinq fois plus élevé que sur les variétés témoins sensibles Golden Bantam et Stowell's Evergreen (Figure 4). Les pontes de *H. zea* sur les soies ont été fonction principalement des variétés et du poids des soies, et, dans une moindre mesure, de la hauteur de la plante et du pourcentage de soies brunes ; la hauteur du premier épi, le nombre de feuilles et la couleur des soies n'étant pas significatives (Tableau III). Bien qu'il y ait une interaction significative entre les variétés et le poids des soies, celui-ci n'est significativement corrélé au nombre d'œufs pondus que pour les variétés Java ($r = 0,59$, $p < 0,001$), Applause ($r = 0,56$, $p < 0,001$), Shinerock ($r = 0,39$, $p < 0,01$) et Garrison ($r = 0,40$, $p < 0,01$).

Figure 4 : Nombres moyens d'œufs de *H. zea* pondus sur les soies par épi (\pm ES) selon les variétés de maïs doux. Les moyennes ayant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test *post-hoc* de Tukey.

(Mean numbers of *H. zea* eggs laid on silks per ear (\pm SE) according to sweet corn varieties. Bars with the same letters are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$)).

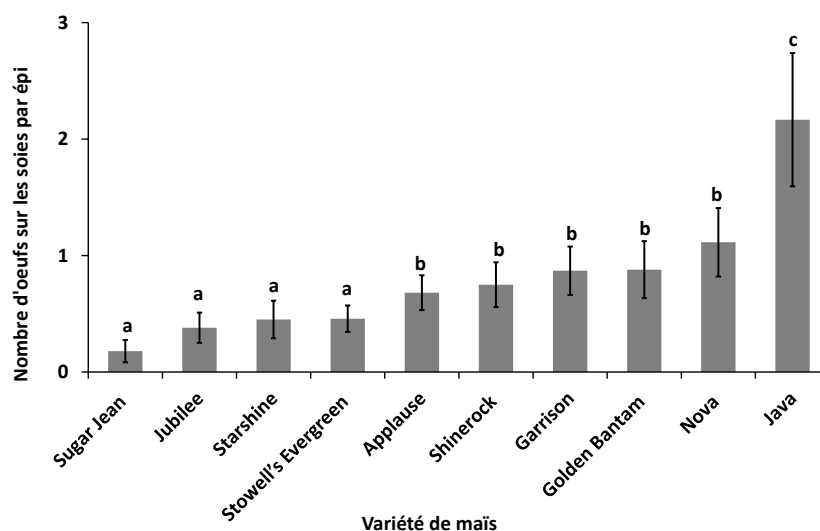


Tableau III : Termes significatifs de l'analyse de la déviance du MLMG réalisé sur le nombre d'œufs de *H. zea* pondus sur les soies.

(Analysis of deviance for GLMM with significant terms for the number of *H. zea* eggs laid on silks)

	χ^2	ddl	P
Variété	89,8325	9	< 0,001
Poids des soies	53,1035	1	< 0,001
Variété x Poids des soies	46,8380	9	< 0,001
Pourcentage de soies brunes	6,6645	2	< 0,05
Hauteur de la plante	5,7336	1	< 0,05

La présence de soies brunes a eu un effet significatif sur les pontes de *H. zea*, les épis n'ayant pas de soies brunes étant deux fois moins infestées (Figure 5). L'interaction entre les variétés et le pourcentage de soies brunes sur les pontes de *H. zea* n'est pas significative cependant, les fréquences d'épis avec des soies brunes ont différencié selon les variétés. La variété Java a été celle ayant la plus forte proportion d'épis avec des soies brunes, 83% dont 48% avec des épis ayant un pourcentage de soies brunes $\leq 10\%$ (Tableau IV). La hauteur du plant a eu un effet significatif sur les pontes de *H. zea*, bien que le nombre d'œufs pondus par *H. zea* n'ait pas été corrélé à la hauteur des plants ($r = 0,09$, $p > 0,05$). La variété Java a été significativement la plus haute avec une hauteur moyenne de $175,4 \pm 5,7$ cm alors que les hauteurs des autres variétés variaient de 1 à 1,5m.

Figure 5 : Nombres moyens d'œufs de *H. zea* sur les soies (\pm ES) en fonction du pourcentage de soies brunes sur l'épi. Les moyennes ayant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test *post-hoc* de Tukey.

(Mean numbers of *H. zea* eggs laid on silks per ear (\pm SE) according to the percentage of brown silks on the ear. Bars with the same letters are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$)).

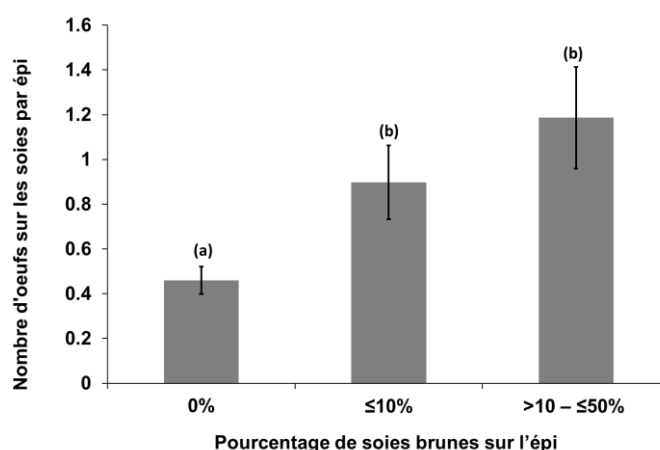


Tableau IV : Fréquence des épis selon leur pourcentage de soies brunes pour les 10 variétés de maïs testées. Pour chacune des variables, les moyennes ayant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test *post-hoc* de Tukey.

(Frequency of ears with brown silks according to the percentage of brown silks for the 10 corn varieties tested. Within a column, means followed by the same letters are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$)).

Variété de maïs	Fréquence des épis avec des soies brunes			
	Pas de soies brunes	≤10% soies brunes	>10 – ≤50% soies brunes	>50% soies brunes
Applause	0,60±0,07 (b,c)	0,34±0,07 (a,b)	0,04±0,03	0,02±0,02
Golden Bantam	0,47±0,09 (b)	0,38±0,08 (a,b)	0,12±0,06	0,03±0,03
Stowell's Evergreen	0,56±0,07 (b)	0,25±0,06 (a,b)	0,16±0,05	0,03±0,02
Sugar Jean	0,78±0,07 (c)	0,02±0,02 (a)	0,15±0,06	0,05±0,03
Java	0,17±0,05 (a)	0,48±0,07 (b)	0,21±0,06	0,14±0,03
Starshine	0,70±0,07 (c)	0,20±0,06 (a,b)	0,10±0,04	0,00±0,00
Jubilee	0,44±0,07 (b)	0,24±0,06 (a,b)	0,30±0,06	0,02±0,02
Garrison	0,50±0,07 (b)	0,35±0,07 (a,b)	0,15±0,06	0,00±0,00
Shinerock	0,29±0,07 (a,b)	0,38±0,07 (a,b)	0,31±0,07	0,02±0,02
Nova	0,71±0,07 (c)	0,11±0,05 (a,b)	0,18±0,06	0,00±0,00
P	<0,001	<0,001	ns	ns

DISCUSSION

Nous avons montré que les stades phénologiques de la tomate et du maïs attractifs pour *H. zea* n'étaient pas synchrones lorsque les deux espèces étaient semées en même temps. Par conséquent, garantir la présence de maïs avec des soies fraîches durant toute la période de floraison de la tomate, implique : i) d'utiliser simultanément une variété précoce et une variété tardive de maïs ; ii) de faire trois semis de maïs dont le premier avant la plantation de la tomate et le second au moment de cette plantation. L'importance de la synchronisation des stades attractifs entre la plante piège et la plante principale a déjà été soulignée dans des études précédentes. Smyth et al. (2003) préconisent aussi une plantation séquentielle de la plante piège afin qu'elle soit présente pendant toute la période de sensibilité de la culture principale.

Nous avons validé le potentiel du maïs avec des soies fraîches comme plante piège pour détourner les pontes de *H. zea* de la tomate. Nos résultats confirment ceux d'études précédentes. Ainsi, Roltsch et Mayse (1984) ont mesuré une moyenne de moins d'un œuf par plant de tomate, alors qu'il y avait jusqu'à 10 œufs par plant de maïs lorsque la parcelle de tomate était près d'un champ de maïs avec des soies fraîches. Campbell et al. (1992) ont observé qu'en présence d'une parcelle de maïs à proximité, les pontes de *H. zea* étaient faibles sur tomate et augmentaient lorsque le maïs n'avait plus de soies fraîches.

Nous avons montré que la densité des œufs pondus par *H. zea* variait entre les variétés. La variété Java est la variété la plus attractive pour *H. zea* et nous avons aussi observés que le nombre de larves par épi était cinq fois moins élevé que le celui des œufs par épi. Bien que moins attractives que la variété Java, les variétés Garrison et Nova montrent aussi un potentiel intéressant puisqu'elles étaient aussi attractives que les variétés sensibles tout en ayant deux fois moins de larves par épi que d'œufs par

épi. Plusieurs caractères physiques tels que le poids des soies, leur brunissement et la hauteur du plant pourraient expliquer cette variabilité. L'impact positif du poids des soies serait dû à la capacité des soies de conserver les œufs, grâce aux nombreux poils dont elles sont recouvertes ; la surface disponible pour les œufs de *H. zea* augmente lorsque le poids des soies augmente. L'impact du poids des soies pourrait aussi être dû aux composés volatils émis par les soies. Des études ont montré que les soies de maïs émettaient des composés volatils qui attiraient *Helicoverpa* spp. (Chen et al. 1997 ; Raina et al. 1992). L'effet positif des soies brunes sur les pontes pourrait être dû à la production d'éthylène au début de la sénescence des soies et qui, selon Raina et al. (1992), stimule la production de phéromone chez la femelle de *H. zea* et par conséquent favorise les accouplements, donc les pontes. Bien que la hauteur des plants explique aussi, dans une moindre mesure, l'abondance des pontes nous n'avons pas pu trouver de corrélation entre ces deux paramètres. Sequeira et Moore (2003) suggèrent que la hauteur d'une plante hôte augmente son attractivité pour *Helicoverpa* sp. Selon Firempong et Zalucki (1991), *H. armigera* utilise d'abord la silhouette des plantes, dont la hauteur est un élément, pour localiser ses plantes hôtes puis les signaux olfactifs émis par ces dernières. Selon Agee (1973), *H. zea* est attiré par des couleurs ayant des longueurs d'onde entre 480-575 nm (bleu, vert, jaune) cependant nos résultats ne montrent pas de différences de densité de pontes entre les soies vertes et les soies rouges. Une étude évaluant l'influence de la couleur des soies sur les pontes de *H. zea* pourrait être envisagée, avec un échantillonnage plus important et en discriminant les couleurs par leurs longueurs d'onde.

Notre étude s'est limitée à l'identification de critères physiques pouvant être définis comme traits fonctionnels expliquant l'attractivité du maïs pour *H. zea* en qualité de site de ponte. Toutefois des caractères chimiques pourraient aussi expliquer cette attractivité. Par conséquent, il serait intéressant de faire une étude pour identifier les composés volatils des soies des variétés Java, Garrison et Nova cultivées en plein champ et évaluer l'attractivité de ces composés sur le comportement de ponte de *H. zea*.

L'étude a été réalisée sur plusieurs années et bien que les expérimentations n'aient pas été répétées chaque année, nous validons le potentiel plante-piège de la variété Java car cette variété a été mise en place dans toutes les expérimentations en plein champ et les résultats obtenus en conditions contrôlées ont permis de confirmer ce potentiel.

CONCLUSION

En conclusion, le maïs avec des soies est une plante-piège pour *H. zea* et détourne les pontes de la tomate. La stratégie d'utilisation doit être basée sur un dispositif temporel permettant la synchronisation de l'apparition des soies de maïs avec la floraison de la tomate. Le choix variétal est également important en privilégiant des variétés avec des critères spécifiques : plante haute avec des épis produisant beaucoup de soies avec un brunissement précoce de ces dernières. La variété Java présente tous ces critères et est donc parmi les variétés testées celle qui présente le meilleur potentiel comme plante-piège. Pour optimiser l'utilisation du maïs comme plante piège et prévenir l'apparition de la première génération de *H. zea* adultes, nous préconisons que les épis soient récoltés au stade laitieux, les soies étant totalement sèches, et que les plants de maïs soient arrachés et détruits.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le projet OMEGA 3 (Optimisation des mécanismes écologiques de gestion des bio-agresseurs pour une amélioration durable de la productivité des agrosystèmes) et par les fonds européens FEDER de la Région Martinique.

BIBLIOGRAPHIE

- Agee H.R., 1973 - Spectral Sensitivity of the Compound Eyes of Field-Collected Adult Bollworms and Tobacco Budworms. *Annals of the Entomological Society of America* **66**, 613-615.
- Campbell C.D., Walgenbach J.F., Kennedy G. G., 1992 - Comparison of black light and pheromone traps for monitoring *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in tomato. *Journal Of Agricultural Entomology* **9**, 17-24.
- Chen X., Hou Z., Zhang Y., Yan F., Zhang G., 1997 - Olfactory responses of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* to sex pheromone and plant volatile components. *Insect Science* **4**, 159-172.
- Cross, H. Z., Zuber, M. S. (1972) - Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal* **64**, 351-355.
- Firempong, S., Zalucki, M. P. (1991) - Host plant selection by *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae) - Role of some herbivore attributes. *Australian Journal of Zoology* **39**, 343-350.
- Fitt G.P., 1989 - The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. *Annual Review of Entomology* **34**, 17-53.
- Hokkanen H.M.T., 1991 - Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*. **36**, 119-138.
- Jallow M.F., Zalucki M.P., 2003 - Relationship between oviposition preference and offspring performance in Australian *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera : Noctuidae). *Australian Journal of Entomology* **42**, 343-348.
- Johnson M.W., Stinner R.E., Rabb R.L., 1975 - Ovipositional response of *Heliothis zea* (Boddie) to its major hosts in North Carolina. *Environmental Entomology* **4**, 291-297.
- Lundgren J., McDonald, T., Rand, T., Fausti S., 2015 - Spatial and numerical relationships of arthropod communities associated with key pests of maize. *Journal of Applied Entomology*, **139**(6), 446-456.
- McMaster, G. S., Wilhelm, W. W., 1997 - Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* **87**, 291-300.
- Meier, U. 2001. Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées - BBCH Monographie, 2ème édition. *Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts*. 166p.
- Potting R.P.J., Perry J.N., Powell W., 2005 - Insect behavioural ecology and other factors affecting the control efficacy of agro-ecosystem diversification strategies. *Ecological Modelling* **182**, 199-216.
- Raina, A. K., Kingan, T. G., Mattoo, A. K., 1992 - Chemical signals from host plant and sexual behavior in a moth. *Science* **255**, 592-594.
- Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., Habib R., 2012 - Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **32**, 273-303.
- Renwick, J.A.A., Chew F.S., 1994 - Oviposition Behavior in Lepidoptera. *Annual review of entomology*, **39**, 377-400.
- Roltsch W.J., Mayse M.A., 1984 - Population studies of *Heliothis* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) on tomato and corn in southeast Arkansas. *Environmental Entomology* **13**, 292-299.
- Sequeira R.V., Moore A.D., 2003 - Aggregative oviposition behaviour of *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in contaminated chickpea crops. *Australian Journal of Entomology* **42**, 29-34.
- Scholberg, J., McNeal, B. L., Jones, J. W., Boote, K. J., Stanley, C. D., Obreza, T. A., 2000 - Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *Agronomy Journal* **92**, 152-159.

Schröder R., Hilker M., 2008 - The relevance of background odor in resource location by insects: a behavioral approach. *BioScience* **58**, 308-316.

Smith H. A., McSorley R., 2000. Potential of field corn as a barrier crop and eggplant as a trap crop for management of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on common bean in North Florida. *Florida Entomologist* 83, 145-158.

Smyth R.R., Hoffmann M.P., Shelton A.M., 2003 - Effects of host plant phenology on oviposition preference of *Crocidolomia pavonana* (Lepidoptera : Pyralidae). *Environmental Entomology* **32**, 756-764.

Tillman P.G., Mullinix B.G., 2004 - Grain sorghum as a trap crop for corn earworm (Lepidoptera : Noctuidae) in cotton. *Environmental Entomology* **33**, 1371-1380.

Wiseman BR, Widstrom NW, McMillian WW. 1983. Influence of resistant and susceptible corn silks on selected developmental parameters of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *J Econ Entomol.* 76:1288 1290.

Wiseman BR, Isenhour DJ. 1994. Resistance in sweet corn to corn earworm larvae. *J Agric Entomol.* 11:157 163.