

**AFPP – 11^e CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES RAVAGEURS ET AUXILIAIRES EN AGRICULTURE
MONTPELLIER – 25 ET 26 OCTOBRE 2017**

**PERENNISER L'EFFICACITE DES INSECTICIDES :
EXEMPLE DES DIAMIDES SUR *TUTA ABSOLUTA* EN PRODUCTION SOUS SERRE**

G. CHAMPROUX ⁽¹⁾, J. L. RISON ⁽²⁾ et D. PINSON⁽³⁾

⁽¹⁾ DuPont Solutions (France) S.A.S., 22 rue Brunel, 75017 PARIS, France

gwenael.champroux@dupont.com

⁽²⁾ DuPont ERDC DuPont de Nemours, 24 rue du moulin, 68740 Nambenheim, France

jean-luc.rison@dupont.com

⁽³⁾ DuPont Solutions (France) S.A.S., 22 rue Brunel, 75017 PARIS, France

david.pinson@dupont.com

RÉSUMÉ

La lutte contre les fortes pressions de *Tuta absoluta*, observées dans le bassin méditerranéen depuis son apparition en 2006-2007, via des utilisations répétées des mêmes familles chimiques a rapidement entraîné l'apparition d'individus résistants à plusieurs insecticides. Le chlorantraniliprole (famille chimique : anthranilic diamides) commercialisé au sein de l'Union Européenne depuis 2009 ne fait pas exception. Avant le lancement du produit, DuPont a constitué une ligne de base de sensibilité au chlorantraniliprole de diverses populations, collectées au champ. La comparaison de la sensibilité de ces populations, avec des populations collectées en Sicile en 2014, met en évidence les premiers cas de résistance au chlorantraniliprole suite à de mauvaises pratiques. Cette expérience conduit à rappeler les règles des bonnes pratiques de lutte intégrée et de prévention de la résistance, lors d'utilisations d'insecticides, notamment le principe d'intervention par fenêtre de traitement, visant une génération, avec un ou deux modes d'action alternée avec deux autres fenêtres de traitements intégrant des modes d'action différents. La durée d'une fenêtre de traitement est au maximum de 30 jours, correspondant à la durée moyenne d'une génération du ravageur.

Mots-clés : Diamide – résistance – Tuta absoluta – protection intégrée.

ABSTRACT

SUSTAINABILITY OF INSECTICIDES : EXAMPLE OF DIAMIDES ON *TUTA ABSOLUTA* IN GREENHOUSE PRODUCTION

The fight against high pressure of *Tuta absoluta* observed in the Mediterranean area, since its appearance in 2006-2007 after repeated uses of the same chemical family has quickly lead to new resistant insects to various insecticides. Chlorantranilipole, sold since 2009 in European Union, is one of them. Before its launch, DuPont has created a sensitivity baseline to chlorantraniliprole from various populations collected in the field. The comparison between the sensitivity of these populations with others insects collected in Sicily in 2014 confirmed the first cases of resistance to chlorantraniliprole following misuses of the product.

This experience leads to remind some good practices in integrated pest management (IPM) and insecticides resistance management (IRM) for insecticide's use, in particular the approach of application window targeting one generation using one or two modes of action alternated with two others application windows covered with different modes of action. The maximum duration of one application window is 30 days, corresponding to one pest's generation.

Keywords: Diamide – resistance – Tuta absoluta – IPM – IRM.

INTRODUCTION

Tuta absoluta (Meyrick) est un ravageur majeur en culture de tomate sous serre dans le bassin méditerranéen depuis son apparition en 2006-2007. Dès le début, les pressions importantes de *T. absoluta* ont été contrôlées par l'utilisation répétée des insecticides disponibles, et en particulier ceux qui se montraient les plus efficaces. Cependant, *T. absoluta* est connu pour développer rapidement de la résistance aux insecticides utilisés pour la combattre, l'une des principales raisons étant le nombre élevé de générations qui peuvent se développer au cours d'un cycle cultural.

Des résistances aux organophosphorés, aux pyréthrinoïdes et aux avermectines sont ainsi apparues (Siqueira *et al.* 2000a, 2000b; Siqueira *et al.* 2001; Lietti *et al.* 2005; Silva *et al.* 2011; Haddi *et al.* 2012; Roditakis *et al.* 2013a). Une étude récente conduite au Brésil a confirmé une résistance aux champ au Spinosad (Campos *et al.* 2014a) et Roditakis *et al.* (2015) a récemment identifié une résistance au chlorantraniliprole en Italie et en Grèce.

Le chlorantraniliprole (RynaxypyrTM) a été le premier diamide (groupe 28 dans la classification des Modes d'Action de l'IRAC [Insecticide Resistance Action Committee] <http://www.irac-online.org>) autorisé dans de nombreux pays de la zone méditerranéenne pour lutter contre *T. absoluta*. Son efficacité contre les lépidoptères nuisibles dont *T. absoluta*, couplée à une faible toxicité sur de nombreux auxiliaires, permet d'assurer aux producteurs sous serre une très bonne protection de leurs cultures contre des ravageurs qui peuvent être très dommageables.

Afin de conserver l'efficacité des diamides, une gestion responsable et rigoureuse de l'utilisation de ces insecticides est indispensable. C'est pourquoi DuPont a défini des règles d'utilisation de cette famille dans des programmes de lutte contre *T. absoluta*. Dans un premier temps, une ligne de base de sensibilité de *T. absoluta* au chlorantraniliprole (données de laboratoires exprimées sous forme de CL₅₀ – Concentration Létale initiant 50% de mortalité des larves exposées – pour des populations d'insectes collectées dans différents pays) a été établie avant la commercialisation des produits contenant cette matière active. Après la mise sur le marché des produits contenant du chlorantraniliprole, certains cas de perte d'efficacité au champ ont pu être identifiés puis analysés et des recommandations spécifiques préalablement testées ont été largement diffusées pour faire adopter de bonnes pratiques d'utilisation.

MATERIEL ET MÉTHODE

L'étude faisant l'objet de cet article est appréhendée sous deux angles en terme de matériel et méthode. Dans un premier temps la sensibilité au laboratoire des larves de *Tuta absoluta* au chlorantraniliprole a été évaluée avant (ligne de base) et après commercialisation du produit (étude des populations ayant démontré au champ une baisse significative de sensibilité). Dans un second temps des essais au champ visant à valider une stratégie de lutte ont été mis en place.

DETERMINATION DE LA LIGNE DE BASE

Dès 2009, DuPont a coordonné en Europe un travail de mise au point et validation d'un test biologique de laboratoire permettant d'évaluer de façon fiable la sensibilité de larves de *T. absoluta* au chlorantraniliprole. Ce test a ensuite été proposé au groupe « Méthodologie » de l'IRAC qui après validation l'a enregistré comme « méthode IRAC # 22 » (IRAC, <http://www.irac-online.org>). La méthode consiste à traiter par trempage des feuilles de tomates dans des solutions contenant une concentration croissante de chlorantraniliprole + un agent mouillant (adjuvant non-ionique), ainsi qu'un témoin traité seulement avec eau + agent mouillant. Après séchage chaque foliole de la feuille de tomate est placée dans la cellule d'un plateau avec une larve (stade L2) de *T. absoluta* (32 larves par concentration). L'évaluation de la mortalité est réalisée 72 heures après infestation, en comptant le nombre de larves vivantes, moribondes ou mortes. Une notation des dégats est faite également en évaluant le % de surface foliaire minée par la larve.

Durant la période 2009-2011, 23 populations collectées en zone de production intensive de tomates en Espagne, Italie et Grèce ont été testées grâce à cette méthode (Roditakis *et al.*, 2013a). Les tests biologiques ont été réalisés par le NAGREF (Grèce), l'université de Cartagène (Espagne), et l'université de Catania (Italie).

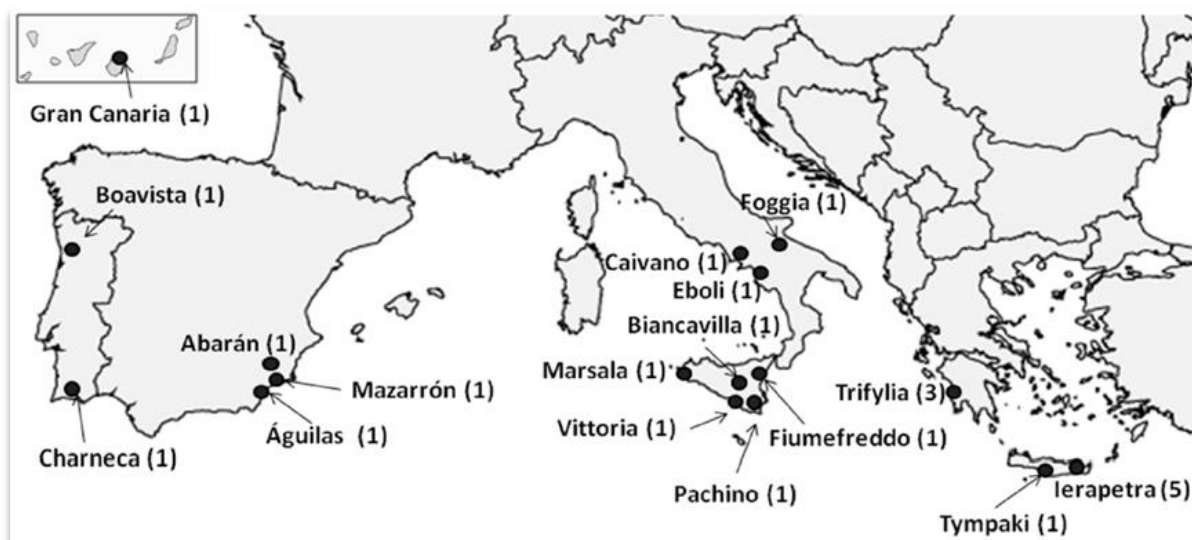


Figure 1 : Localisation des sites de collecte des populations de *T. absoluta* testées pour la détermination de la ligne de base de sensibilité au chlorantraniliprole.

Collection sites of *T. absoluta* populations tested to set chlorantraniliprole's susceptibility baseline.

ETUDE DES CAS DE BAISSÉ D'EFFICACITÉ

En 2014, suite à des baisses d'efficacité reportées par des producteurs dans des parcelles commerciales en Sicile (IT), 4 populations de larves de *T. absoluta* ont été prélevées et analysées par le NAGREF (GR) selon la méthode IRAC N°22 afin de déterminer leur sensibilité au chlorantraniliprole et au flubendiamide (famille chimique : diamide).

Dans un même temps, les pratiques agricoles mises en œuvre dans ces situations ont été analysées afin d'identifier les pratiques à risque.

RECOMMANDATIONS DE PREVENTION DE LA RESISTANCE

Un travail important a également été réalisé au sein de l'IRAC (IRAC, <http://www.ircac-online.org>) et des membres de la communauté scientifique, afin de proposer des stratégies visant à prévenir l'apparition de résistance aux diamides et de définir des recommandations strictes d'utilisation de cette famille, ainsi que les moyens pour faire adopter ces pratiques par les professionnels (Teixera *et al.*, 2013). Ces recommandations ont été testées dans des essais au champ afin de valider leur capacité à maintenir les populations de *T. absoluta* en dessous d'un seuil acceptable de nuisibilité en comparaison directe avec des programmes de producteurs.

EXPERIMENTATION AU CHAMP

Une expérimentation au champ a été conduite afin de permettre une comparaison directe entre divers programmes « Producteurs » et un programme respectant les bonnes pratiques de gestion de la résistance. Dans un premier temps : conduite d'essais en petite parcelles, puis mise en place d'essais en parcelle plus grande.

Dispositif au champ :

- Essais en petite parcelle : Dispositif classique à 4 répétitions.
- Essais en grande parcelle : Pas de répétition (Figure 2).

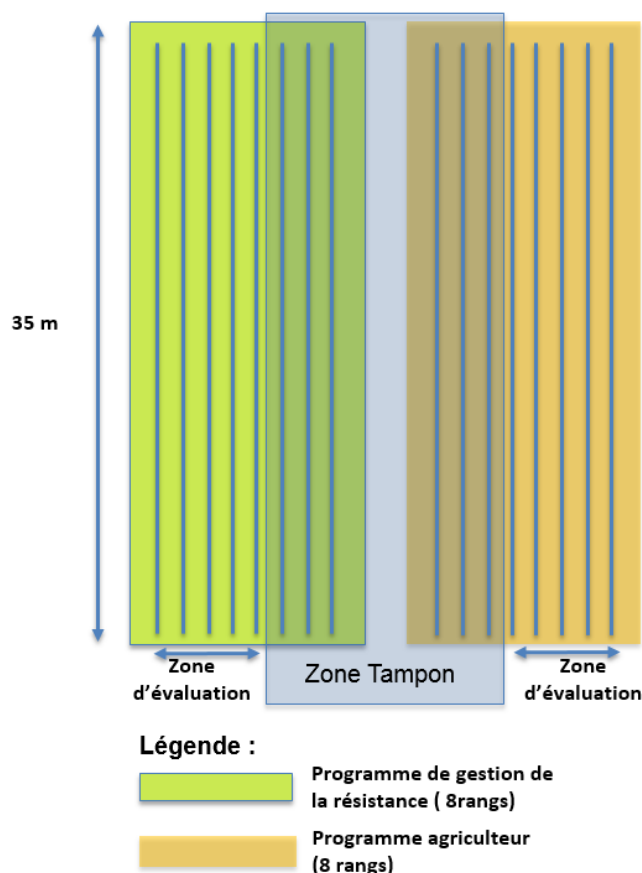


Figure 2 : Dispositif des essais « grande parcelle » en serre
Greenhouse “large plot” design

RESULTATS

Tests de Laboratoire

Les tests biologiques de laboratoire réalisés lors de la création de la ligne de base indiquent d’une manière générale une forte sensibilité au chlorantraniliprole de toutes les populations de *T. absoluta* testées (Roditakis *et al.*, 2013a). La CL_{50} mesurée pour les 5 populations collectées en Sicile varie de 0.58 à 1.34 ppm, soit un facteur de variation de 2.3 entre la population la plus sensible et celle qui est la moins sensible (Tableau I).

Les variations de sensibilité, relativement faibles, observées alors entre les populations testées peuvent être attribuées à une variabilité génétique naturelle. Une légère variabilité entre laboratoires est également observée, et peut être expliquée par de légères différences dans la mise en oeuvre de la méthode IRAC 22. La CL_{50} mesurée pour les 5 populations collectées en Sicile varie de 0.58 à 1.34 ppm, soit un facteur de variation de 2.3 entre la population la plus sensible et celle qui est la moins sensible (Tableau I).

Les tests biologiques au laboratoire conduits en 2014 sur les populations prélevées dans les serres siciliennes ayant montré des baisses d’efficacité, indiquent un niveau de résistance élevé (RR) pour les deux diamides testés allant d’un facteur de résistance de 265 à 2414 (Tableau I). Ces populations ont par ailleurs été testées avec d’autres insecticides et aucune résistance croisée n’a été identifiée avec les insecticides du groupe 5 (*e.g.* spinosad), du groupe 6 (*e.g.* emamectine) et du groupe 22 (indoxacarbe) [résultats non publiés à ce jour].

Une étude biomoléculaire récente a permis de détecter les mutations G4903E et I4746M, correspondant à celles décrites pour un autre ravageur (*Plutella xylostella*) résistant aux diamides, *i.e.* G4946E et I4790M,

ainsi que 2 nouvelles mutations G4903V et I4746T (Ryanodine receptor point mutations confer diamide insecticide resistance in tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) (Roditakis *et al.*, ...).

Tableau I : Comparaison de la sensibilité aux diamides de populations de *T. absoluta* collectées en Sicile lors de l'établissement de la Ligne de base du chlorantraniliprole (2009-2011) avec les résultats d'autres populations Siciliennes collectées en 2014 (CL₅₀ du chlorantraniliprole et du flubendiamide).

Comparison of chlorantraniliprole susceptibility baseline data (2009-2011) from Sicilian populations of *Tuta absoluta* vs. susceptibility results obtained on field populations collected in Sicily in 2014.

Baseline (Sicily 2009-2011)				Field populations (Sicily 2014)								
Chlorantraniliprole				Chlorantraniliprole					Flubendiamide			
Population	N.	CL ₅₀	IC 95%	Population	N.	CL ₅₀	IC 95%	RR	N.	CL ₅₀	IC 95%	RR
Pachino	384	0.58	0.21-1.21	NAGREF *	187	0.18	0.13-0.30	1	186	0.79	0.31-1.5	1
Vittoria F ₁	192	0.74	0.29-1.34	Pachino 1	189	47.6	31-77	265	127	993	384-1649	1257
Vittoria F ₂	224	0.78	0.44-1.28	Pachino 2	126	63.7	42-128	354	128	1376	792-2772	1742
Marsala	384	0.93	0.48-1.58	Acate (t2)	192	435	165-1193	2414	-	-	-	-
Fiumefreddo	384	1.34	0.49-2.86	Gela	191	225	135-343	1250	190	1019	500-2131	1289

N. : Nombre de larves testées

CL₅₀ : concentration létale entraînant la mort de 50 % de la population (ppm)

IC 95% : Intervalles de confiance à 95%

RR : Ratio de Résistance

* Population sensible de laboratoire servant de référence pour le calcul du ratio de résistance (RR).

Essais en serre

Les pratiques agricoles observées chez les producteurs ayant signalé des problèmes de contrôle des populations de *T. absoluta*, démontrent l'utilisation excessive et répétitive des mêmes produits. Dans un exemple de programme de lutte chimique appliqué chez un de ces producteurs (Tableau II), 7 applications de produits contenant du chlorantraniliprole ont été faites sur la culture alors que seulement 2 sont autorisées par an et par culture sur l'étiquette. Il semble même que certaines de ces applications ont été faites via le système d'irrigation goutte à goutte alors que cet usage n'est pas autorisé en Europe, les produits contenant du chlorantraniliprole n'étant autorisés que pour des applications foliaires.

Tableau II : Exemple de programme de traitements chez un producteur de tomates sous serre en Sicile, ayant conduit à l'apparition de populations de *T. absoluta* résistantes.

Example of crop protection program from a tomato producer in Sicily leading to the development of *T. absoluta* resistant populations.

Date d'application	Produits appliqués
17-03-2014	Chlorantraniliprole
28-03-2014	Chlorantraniliprole
8-04-2014	Chlorantraniliprole
15-04-2014	Chlorantraniliprole + Codacide
24-04-2014	Chlorantraniliprole
5-05-2014	Chlorantraniliprole + Codacide + abamectin
15-05-2014	Spinosad + Codacide
22-05-2014	Chlorantraniliprole
24-05-2014	Indoxacarbe + Codacide + abamectin

Une fois la présence de populations résistantes confirmée, DuPont a mis en place des essais au champ en Sicile, Espagne et Grèce afin de tester des programmes de traitements respectant les principes de lutte intégrée (IPM - integrated pest management), et d'évaluer leur bénéfice pour les producteurs.

Les essais en petites parcelles ont permis de démontrer la différence de protection de la culture entre un programme incluant une rotation des modes d'action (programme « IRM ») par rapport à un programme n'utilisant qu'un seul mode d'action. Le gain d'efficacité obtenu avec le programme « IRM » était de l'ordre de 24% sur le feuillage et 38% sur fruits lors de la dernière notation effectuée 7 jours après la sixième application (Figure 3). Le programme « IRM » consistait en 2 applications d'indoxacarbe, suivi de 2 applications de spinosad et 2 applications de chlorantraniliprole.

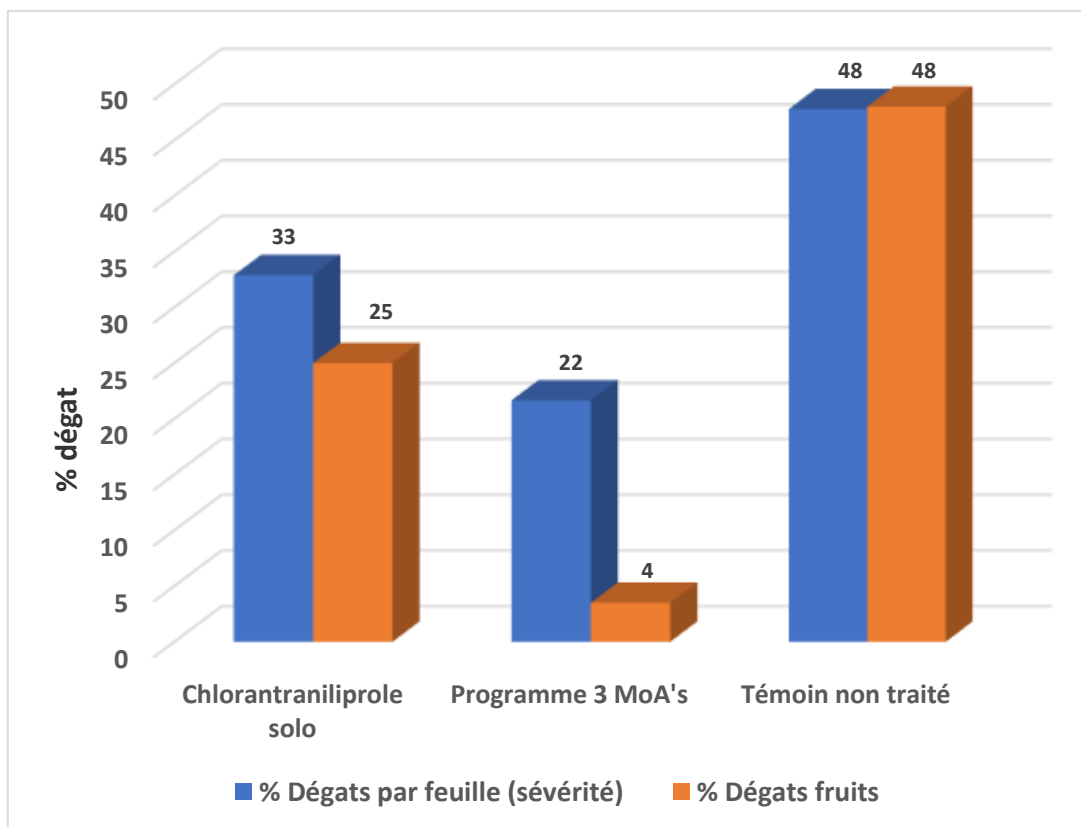


Figure 3 : Efficacité de 2 programmes de traitements sur *Tuta absoluta* en Sicile (2 essais 2015)
Performance of 2 application's programmes against *Tuta absoluta* in Sicily (2 trials 2015)

Les essais en grandes parcelles ont été conduits avec un programme de traitement alternant un plus grand nombre de modes d'action, car conduits sur une période plus longue (Tableau III).

Tableau III : Exemple de programme de lutte chimique alternant les modes d'action insecticides.
 Example of chemical program including the alternation of insecticides mode of action

Description du stade	Post-implantation (première feuille développée)	Initiation de la floraison	Phase de floraison	Apparition des premiers fruits	Coloration des premiers fruits	Fin floraison-proche de la récolte	Récolte
Période indicative d'application	1-20 sept	20 sept-10 oct	10-31 oct	1-30 nov	1 dec-28 fev	1-31 mars	1-30 avril
Stade BBCH	11-19	51-59	61-69	71-79	81-83	84-86	87-89
Caractéristiques de la période	Pression Tuta élevée	Pression Tuta élevée	Introduction de bourdons	Baisse pression Tuta	Baisse température et pression Tuta	Remontée pression Tuta	Remontée pression Tuta
Produit et intervalle d'application	2 traitements à base d'indoxacarbe (10-12 jours)	2 traitements à base de spinosad (10 jours)	2 traitements à base de chlorantraniliprole (7-10 jours)	2 traitements à base d'emamectine benzoate (7-10 jours)	2 traitements à base de Bt (8-10 jours)	2 traitements à base d'indoxacarbe (10-12 jours)	2 traitements à base de Bt (8-10 jours)
Groupe IRAC (Mode d'Action)	Groupe 22A Oxadiazine	Groupe 5 Spinosine	Groupe 28 Diamide	Groupe 6 Avermectine	Groupe 11 Bacillus	Groupe 22A Oxadiazine	Groupe 11 Bacillus

L'efficacité du programme « IRM » conduit en situation de résistance a montré son intérêt en conditions plus proches de la réalité. Le gain d'efficacité était de 19% par rapport au programme agriculteur qui a également utilisé des produits ayant des modes d'action différents, mais en ne respectant pas les recommandations « IRM ».

Les produits appliqués dans le programme Agriculteur lors de l'évaluation étaient les suivants : 1 spinosad, 1 chlorantraniliprole, 1 *Bacillus thuringiensis* + spinosad, 1 spinosad, 2 emmamectin benzoate, 1 *Bacillus thuringiensis* + 1 spinosad, 1 emmamectin benzoate + 1 chlorantraniliprole, 1 detlaméthrine + 1 *Bacillus thuringiensis*, 1 indoxacarbe + 1 *Bacillus thuringiensis*, 1 indoxacarbe.

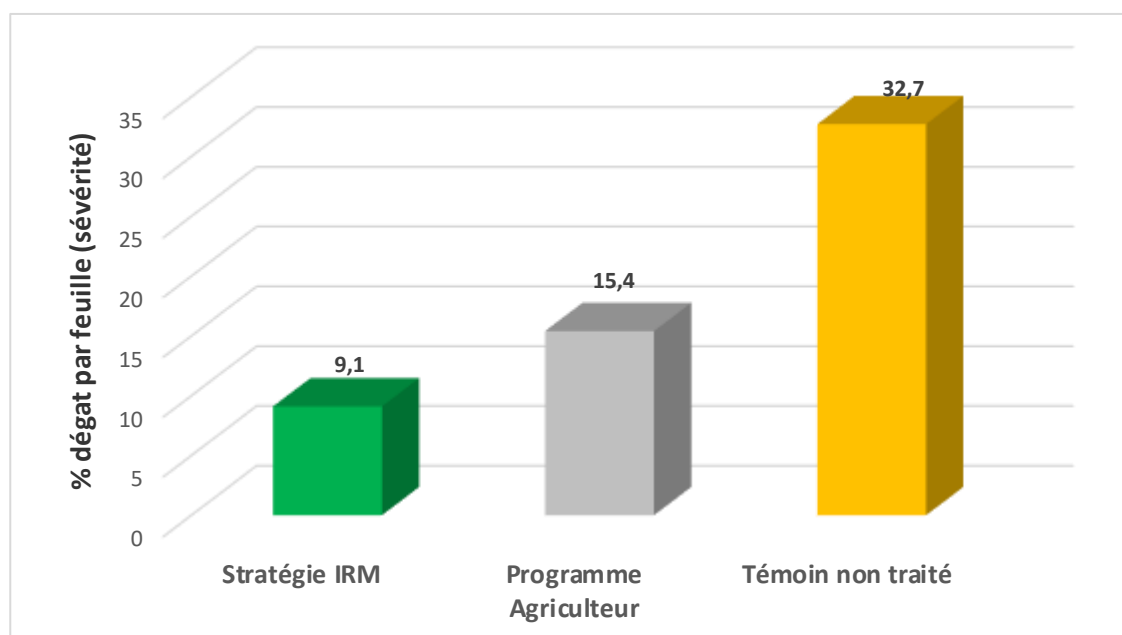


Figure 4 : Efficacité de 2 programmes de traitements sur *Tuta absoluta* en grande parcelle en Sicile (1 essai 2015)

Performance of 2 application's programmes against *Tuta absoluta* in large plot in Sicily (1 trial 2015)

DISCUSSION

Afin de pouvoir pérenniser l'efficacité des diamides qui, du fait de leur excellente efficacité contre les mineuses et de leur compatibilité avec l'utilisation d'auxiliaires, constituent un moyen de lutte efficace contre *T. absoluta*, il apparaît capital de les inclure dans des stratégies de lutte intégrée (IPM) en respectant les principes de prévention de la résistance (IRM).

La pression des ravageurs, particulièrement dans le cas de *T. absoluta*, doit d'abord être réduite par tous les moyens mis à disposition en lutte intégrée : confinement des serres (sas d'entrée et filets « insect proof » aux ouvrants), effeuillage et brûlage des organes parasités, piégeage massif et utilisation d'auxiliaires prédateurs (e.g. *Macrolophus* sp., *Nesidiocoris tenuis*) ou parasitoïdes.

Cette réduction de la pression des ravageurs doit permettre une moindre utilisation des solutions insecticides, notamment des diamides, et donc de permettre plus facilement l'alternance de modes d'action différents et de réduire ainsi les risques de sélection d'individus résistants.

Lors de l'utilisation d'insecticides, il est nécessaire de respecter les bonnes pratiques suivantes, reprenant pour partie les recommandations de l'IRAC (www.ircac-online.org) :

1/ Suivre les recommandations de dose, intervalles de traitement, volume de pulvérisation et le nombre d'application par culture et par an (étiquette produit).

2/ Connaître le nombre de modes d'action différents à disposition, pour pouvoir les alterner. L'idéal étant d'appliquer la même rotation sur la plus grande surface possible afin de minimiser le transfert des individus résistants vers d'autres zones traitées différemment et maximiser les avantages de l'alternance des modes d'action.

3/ Tenir compte des seuils de traitement et de l'impact des produits sur les auxiliaires.

4/ Intégrer le principe de « fenêtre de traitement » dans la prévention de la résistance. Une « fenêtre de traitement » se définit comme la période d'activité résiduelle d'une ou plusieurs applications de produits avec le même mode d'action. Une « fenêtre de traitement » correspond à une période d'environ 30 jours (une génération durant de 15 à 40 jours selon la durée du cycle allant de l'oeuf à l'adulte). Ne pas faire plus de 2 applications (à 14 jours d'intervalle) d'insecticides appartenant à la famille des diamides, par «fenêtre de traitement». Pour les applications présentant une longue persistance (cas des traitements de semences ou application locale sur minimotte avant plantation) alors, il est recommandé de respecter un délai minimum de 90 jours avant une seconde application de produit appartenant à la famille des diamides.

5/ Après une « fenêtre de traitement » avec application de diamides, utiliser des produits efficaces ayant un mode d'action différent au cours des fenêtres de traitement consécutives. Cet intervalle de 60 jours minimum à partir de la dernière application de diamide permet alors d'éviter de traiter deux générations successives avec ce mode d'action (figure 3).

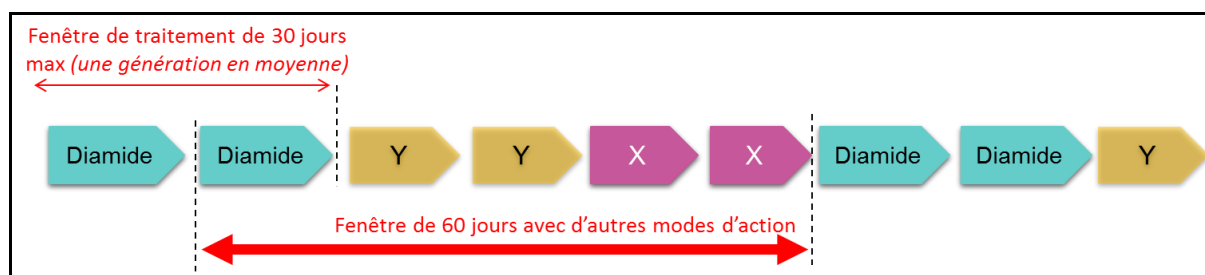


Figure 5 : Principe général de l'approche insecticide par fenêtre de traitement (adaptation du principe d'alternance des modes d'actions de l'IRAC, appliqué aux diamides) – General alternation scheme of window treatment

6/ La durée totale d'exposition à des insecticides d'un même mode d'action ne doit pas dépasser 50 % du cycle de la culture ou 50 % du nombre total des applications insecticides sur l'insecte visé.

7/ Pour les cultures à cycle court (moins de 50 jours), la durée de la culture doit être considérée comme une seule fenêtre afin d'alterner ainsi les modes d'action sur les cultures suivantes dans le même secteur.

CONCLUSION

Depuis 2009 les producteurs Européens de tomates disposent, pour lutter contre *T. absoluta*, de produits à base de chlorantraniliprole qui s'intègrent aisément dans leurs programmes de lutte intégrée et leur apportent une efficacité de haut niveau. Cependant, l'usage trop fréquent et ne respectant pas les recommandations des étiquettes de ce seul mode d'action peut conduire à l'apparition de résistance, comme ce fut le cas en Sicile seulement 5 ans après sa commercialisation. La pression du ravageur apparaît comme un des principaux facteurs agissant sur le risque d'apparition de résistance. Tous les moyens à disposition doivent donc être mis en œuvre pour réduire cette pression (mesures prophylactiques). L'autre facteur important est l'utilisation excessive des mêmes modes d'action et en particulier l'absence de rotation entre ces modes d'action. L'alternance d'insecticides ayant des modes d'action différents est donc capitale afin de prévenir la sélection de populations résistantes aux diamides ou à toute autre famille chimique efficace. Ceci est d'autant plus important que le nombre de modes d'action efficaces disponibles est faible. A ce jour, peu d'autres nouveaux modes d'action sont attendus sur le marché. La mise en œuvre, par les producteurs, des bonnes pratiques de lutte intégrée et de prévention de la résistance est donc primordiale. L'approche de programmes de traitements par fenêtre d'applications de 30 jours ciblant une seule génération pour un mode d'action donné, suivie par deux autres fenêtres de traitements (soit 60 jours au total) intégrant d'autres modes d'action est notamment une des pratiques permettant de pérenniser l'efficacité des diamides ou tout autre famille chimique.

REMERCIEMENTS

Ségolène Labelle – DuPont communication pour sa relecture attentive.

Valérie Granata – DuPont pour les traductions italiennes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bassi A, Roditakis E, G. Flier W - The first cases of diamide-resistant *Tuta absoluta* (Meyrick) and the alternation of the insecticidal modes of action as a key IPM practice for sustainable control.
- Campos MR, Rodrigues ARS, Silva WM, Silva TBM, Silva VRF, Guedes RNC, Siqueira HAA (2014a) Spinosad and the tomato borer *Tuta absoluta*: A bioinsecticide, an invasive pest threat, and high insecticide resistance. PLoS ONE 9: e103235.
- Haddi K., Berger M, Bielza P., Cifuentes D., Field L.M., Gorman K., Rapisarda C., Williamson M.S., Bass C, (2012) Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*). Insect Biochem Mol Biol 42: 506-513.
- IRAC (2011) *Tuta absoluta*-The Tomato Leafminer or Tomato Borer: Recommendations for sustainable and effective resistance management. <http://www.irac-online.org/documents/tuta-absoluta-irm-booklet/>; (accessed, Oct. 2014).
- IRAC (2012) *Tuta absoluta* IRAC susceptibility test method No. 022 : version 3 October 2012. <http://www.irac-online.org/methods/tuta-absoluta-larvae/>
- IRAC (2014) IRAC MoA Classification Scheme (Version 7.3.1). <http://www.irac-online.org>; (accessed, Oct. 2014).
- Lietti MMM, Botto E, Alzogaray RA (2005) Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Neotrop Entomol 34: 113-119.
- Roditakis E, Skarmoutsou C, Staurakaki M (2013a) Toxicity of insecticides to populations of tomato borer *Tuta absoluta* (Meyrick) from Greece. Pest Manage Sci 69: 834-840.
- Roditakis E, Vasakis E, Grispuou M, Stavrakaki M, Nauen R, Gravouil M, Bassi A (2015) First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. J Pest Sci: DOI 10.1007/s10340-015-0643-5.
- Silva GA, Picanço MC, Bacci L, Crespo ALB, Rosado JF, Guedes RNC (2011) Control failure likelihood and spatial dependence of insecticide resistance in the tomato pinworm, *Tuta absoluta*. Pest Manage Sci 67: 913-920.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanco MC (2000a) Cartap resistance and synergism in populations of *Tuta absoluta* (Lep., Gelechiidae). J Appl Entomol 124: 233-238.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Picanco MC (2000b) Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). Agricultural and Forest Entomology 2: 147-153.
- Siqueira HAA, Guedes RNC, Fragozo DB, Magalhaes LC (2001) Abamectin resistance and synergism in Brazilian populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Int J Pest Manage 47: 247-251.
- Teixeira LA, Andalaro JT (2013) Diamide insecticides: Global efforts to address insect resistance stewardship challenges. Pestic Biochem Physiol 106: 76-78.