

Influence de l'usage préventif des pesticides sur les acariens *Tetranychus urticae* et *Phytoseiulus persimilis* (Acari : Tetranychidae, Phytoseiidae) présents en cultures de fraisières du Nord du Maroc

Mariam Lagziri ⁽¹⁾, Mohamed Benicha ⁽²⁾, Rachid M'rabet ⁽³⁾, Amal El Amrani ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université Abdel Malek Essaadi. Faculté des Sciences et Techniques de Tanger. Département des Sciences de la Vie. Équipe Agro-Écologie et Protection des Végétaux. BP. 416. MA-Tanger (Maroc). E-mail : amalelamrani@yahoo.fr

⁽²⁾ Institut National de la Recherche Agronomique. Centre Régional de la Recherche Agronomique de Tanger. Avenue Mohamed Ben Abdellah. MA-Tanger (Maroc).

⁽³⁾ Institut National de la Recherche Agronomique. Division scientifique. Avenue Hassan II. MA-Rabat (Maroc).

Reçu le 4 septembre 2014, accepté le 3 juin 2015.

Description du sujet. Les effets des doses recommandées de cinq produits à usage fréquent dans les fraisières de la région du Loukkos (Maroc) ont été étudiés chez l'acarien tisserand *Tetranychus urticae* et sur son acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis*. Des études de laboratoire ont permis de tester la toxicité de contact d'un acaricide appartenant à la famille des avermectines (abamectine), de deux insecticides-acaricides de la famille des pyréthrinoides (bifenthrine et lambda-cyhalothrine) et deux fongicides : le mancozèbe appartenant à la famille chimique des dithiocarbamates et l'hexaconazole de la famille des triazoles.

Objectifs. L'objectif de la présente étude est de tester, dans les conditions de laboratoire, l'effet de cinq pesticides sur l'acarien à deux points *T. urticae* et son acarien prédateur *P. persimilis*. Ces cinq pesticides ont été les plus utilisés durant les deux dernières années dans le site expérimental choisi.

Méthode. Les tests biologiques sont réalisés avec des populations originaires de trois groupes de parcelles ayant des passés phytopharmaceutiques différents. Le premier groupe a été fréquemment traité avec les cinq pesticides testés et ce, durant une période de deux ans. Le second groupe a reçu le même traitement mais avec une fréquence moyenne. Le troisième groupe a été traité une seule fois avec les pesticides testés.

Résultats. Nos résultats indiquent que les pesticides testés permettent un contrôle efficace de *T. urticae* mais sont, pour la plupart, peu compatibles avec son acarien prédateur *P. persimilis*, si ce dernier n'est pas habituellement en contact avec ces produits. En revanche, dans les parcelles où les pesticides ont fréquemment été utilisés, la sensibilité de *P. persimilis* à ces produits est significativement réduite.

Conclusions. Si les pesticides testés peuvent être introduits dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs dans les parcelles où ils ont été utilisés depuis longtemps et où *P. persimilis* est présent, leur utilisation doit être minimisée dans les parcelles où ils ont été rarement ou jamais appliqués.

Mots-clés. *Tetranychus urticae*, *Phytoseiulus persimilis*, *Fragaria*, acaricide, insecticide, fongicide, efficacité.

Influence of previous pesticide use on *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) from strawberry crops in the north of Morocco

Description of the subject. Effects of recommended doses of five common pesticides in the strawberries of Loukkos area (Morocco) were tested on the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and its predatory mite *Phytoseiulus persimilis*. Laboratory study assessed the contact toxicity of one avermectin miticide (abamectin), two pyrethrinoid insecticide-acaricides (bifenthrin and lambda-cyhalothrin), and two fungicides: firstly, mancozeb, which belongs to the dithiocarbamates family of chemicals and secondly, hexaconazole, of the triazole family.

Objectives. The aim of the present study was to test in laboratory conditions the effect of five pesticides on the two-spotted spider mite, *T. urticae* and its predatory mite, *P. persimilis*. The five pesticides tested were those most frequently applied for at least two years on strawberries at the experimental site.

Method. Bioassays were performed with populations of mites originating from different plots with various crop protection backgrounds. The first group of plots had been repeatedly treated with the five tested pesticides during a two-year period, the second group had been moderately treated, and the third had been treated once with the tested pesticides.

Results. Our results showed that the tested pesticides provided effective control of *T. urticae* but that they were not compatible with use on the predatory mite *P. persimilis*, as these particular mites did not usually come into contact with these products. On the other hand, in plots where pesticides had been used for a long time, the susceptibility of *P. persimilis* populations to these products was significantly reduced.

Conclusions. If the tested pesticides are to be considered for integrated pest control programs in plots where they have been used for a long time and where *P. persimilis* is present, their use should be minimized in plots where they have never or rarely been applied.

Keywords. *Tetranychus urticae*, *Phytoseiulus persimilis*, *Fragaria*, acaricides, insecticides, fungicides, efficiency.

1. INTRODUCTION

Tetranychus urticae Koch est un acarien phytophage qui appartient à la famille des Tetranychidae. C'est une espèce cosmopolite, très polyphage pouvant affecter de nombreuses plantes hôtes dont des cultures de grande importance économique (Van de Vrie et al., 1985). Des acaricides ont été largement utilisés pour contrôler les populations de *T. urticae* (Van Leeuwen et al., 2008 ; Khajehali et al., 2009). *Tetranychus urticae* se trouve aussi exposé à de nombreux autres produits phytopharmaceutiques utilisés contre les insectes et les maladies des plantes. Bien que ces insecticides et fongicides soient conçus pour des cibles bien définies contre lesquelles ils sont autorisés, ils possèdent d'importants effets secondaires sur les acariens (Raudonis, 2006 ; Gent et al., 2009). L'un de ces effets secondaires est l'élimination des acariens prédateurs naturellement présents dans les agrosystèmes, ce qui peut engendrer des pullulations des acariens ravageurs.

Les acariens prédateurs de la famille des phytoséiides sont des régulateurs importants des populations d'acariens ravageurs (McMurtry et al., 1997). Ces prédateurs sont naturellement présents dans les plantes et doivent être préservés par l'utilisation de traitements sélectifs pour la protection des plantes, par la réduction des intrants et par l'emploi de méthodes de lutte biologique ou de produits alternatifs. L'usage non raisonné des produits phytopharmaceutiques peut engendrer une limitation de cette faune prédatrice et, par conséquent, la pullulation des ravageurs des cultures (Trichilo et al., 1993). Aussi, pour optimiser la gestion des acariens ravageurs, une attention particulière a très vite été portée à l'étude des effets non intentionnels des pesticides sur les Phytoseiidae (Overmeer, 1985).

Dans la région du Loukkos, au Nord du Maroc, plusieurs spécialités phytopharmaceutiques sont introduites dans les programmes de lutte contre les ravageurs et les maladies de nombreuses cultures, comme la fraisculture. Des bilans faunistiques réalisés en 2009-2010 sur des fraisiers de la région du Loukkos avaient révélé que l'acarien ravageur *Tetranychus urticae* (Acari : Tetranychidae) et son ennemi naturel, l'acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis* (Acari : Phytoseiidae) sont régulièrement rencontrés dans les

fraisiers de cette région (ElAmrani et al., communication personnelle). La lutte contre les tétranyques d'un côté et contre les insectes et les maladies du fraisier, de l'autre côté, est devenue une impérieuse nécessité amenant les producteurs marocains à utiliser de façon systématique et généralisée de nombreux produits phytopharmaceutiques. Dans leur grande majorité, les fraisiers du Loukkos sont traités avec l'abamectine, un acaricide spécifique de la famille des avermectines, introduit il y a quelques années dans les programmes de contrôle des acariens dans les cultures de fraises, au Nord du Maroc. Les avermectines agissent sur la jonction neuromusculaire des arthropodes, soit en tant qu'agoniste GABAergique, soit en agissant directement sur le canal couplé au récepteur GABA. Il en résulte une inhibition de la fonction musculaire par hyperpolarisation membranaire, conduisant à une paralysie puis à la mort de l'acarien.

Les fraisiers d'essai sont, de même, assujettis depuis plusieurs années à la lutte obligatoire contre plusieurs insectes ravageurs comme les thrips, les pucerons et les cochenilles. Les insecticides de la famille des pyréthriinoïdes de synthèse (comme la lambda-cyhalothrine) sont parmi les spécialités agrochimiques les plus employées pour lutter contre ces insectes ravageurs du fraisier, au Nord du Maroc. Les pyréthriinoïdes prolongent la durée d'ouverture des canaux sodium indispensables à la transmission de l'influx nerveux, ce qui provoque une activité électrique répétitive. Cette hyperexcitation provoque des paralysies de type « knock-down ».

Les fongicides représentent une autre classe de produits phytopharmaceutiques présentant un grand intérêt, notamment dans la protection incontournable des fraisiers contre les maladies. Le mancozèbe est un fongicide de la famille des dithiocarbamates, couramment utilisé dans la lutte contre l'alternariose et la maladie des taches pourpres. Un autre fongicide d'usage fréquent au Loukkos est l'hexaconazole, de la famille des triazoles, principalement utilisé pour lutter contre l'oïdium. L'usage des fongicides est considéré comme un facteur principal affectant la pullulation des tétranyques dans plusieurs cultures, étant donné leur toxicité sur les phytoséiides (Ivancich Gambaro, 1973). Utilisés essentiellement pour contrôler les pathogènes des cultures, les fongicides se sont montrés

responsables de l'élimination de plusieurs espèces de phytoséiides (Sentenac et al., 2002). Selon Schruft (1971), les fongicides exercent une influence sur les acariens en agissant sur leur développement. Le mécanisme de cette action peut être conditionné par les métabolites de ces composés chimiques ou par une modification physiologique qui se produit dans la plante et entraîne une altération trophique des acariens (Schruft, 1971).

D'un autre côté, certains travaux ont mis en évidence que la toxicité de ces différentes familles chimiques envers certains phytoséiides serait tributaire de l'historique phytopharmaceutique des parcelles où les acariens sont collectés (Auger et al., 2005). Bonafos et al. (2008) ont révélé que les populations de l'acarien prédateur *Typhlodromus pyri* Scheuten sont régulièrement rencontrées dans les vignobles où des pyréthriinoïdes sont fréquemment appliqués. Selon ces auteurs, la tolérance ou résistance de ce prédateur semblerait être déterminée par l'historique insecticide des parcelles. En revanche, aucun travail n'a, jusqu'à présent, été réalisé sur l'impact du passé phytopharmaceutique des parcelles sur la tolérance aux pesticides des acariens prédateurs présents dans les fraisiers marocains.

Le présent travail a consisté à étudier la variabilité de la sensibilité des populations d'acariens ravageurs et prédateurs à cinq pesticides, à usage fréquent dans les fraisiers du Nord du Maroc, en évaluant l'influence du passé phytosanitaire sur ce processus sélectif. Les matières actives considérées sont : l'abamectine, la bifenthrine, la lambda-cyhalothrine, le mancozèbe et l'hexaconazole. Les fraisiers d'essai ont reçu durant les années 2011 et 2012 des programmes de traitement phytopharmaceutiques de fréquences différentes. Trois types de passés phytosanitaires seront comparés. Le premier type est caractérisé par une utilisation courante des pesticides (10 à 13 traitements par année). Les deux autres types de passés phytosanitaires sont respectivement caractérisés par un usage moyen (4 à 5 traitements par année) ou peu fréquent (1 traitement par année) de ces substances actives. Des expérimentations de laboratoire (tests toxicologiques) seront réalisées pour évaluer l'impact de ces pratiques phytosanitaires sur les acariens ravageurs et prédateurs dans différentes situations. L'un des principaux objectifs de ce travail est de savoir si l'exposition régulière des populations d'acariens prédateurs aux substances actives utilisées amoindrirait leur toxicité sur ces prédateurs, ce qui permettrait leur maintien dans la culture et, par conséquent, la régulation de populations de *T. urticae*. La toxicité des substances actives envers les acariens prédateurs est définie selon les critères de toxicité décrits, en conditions de laboratoire, par l'OILB (Organisation Internationale de Lutte Biologique) (Hassan, 1992).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Collecte des populations de tétranyques et phytoséiides

Les exploitations agricoles prospectées se situent dans la région du Loukkos, au Nord du Maroc. Ces exploitations avaient reçu durant deux années consécutives, 2011 et 2012, des traitements chimiques de fréquence variable.

L'étude a été réalisée sur trois populations de l'acarien ravageur *Tetranychus urticae* et trois populations de l'acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis*. Une population de chaque espèce a été échantillonnée dans des parcelles dont l'historique phytosanitaire fait apparaître une dominance des avermectines (abamectine) et pyréthriinoïdes (notamment bifenthrine et lambda-cyhalothrine). Des fongicides, dont notamment l'hexaconazole et le mancozèbe, ont aussi été utilisés dans le programme de traitement auquel sont assujetties ces parcelles d'essai. Ces premières parcelles ont reçu 10 à 13 traitements phytosanitaires par année.

Une deuxième population de chaque espèce est issue de parcelles où sont principalement appliqués ces mêmes produits mais avec des fréquences moyennes (4 à 5 traitements par année). Une troisième population de chaque espèce provient de fraisiers n'ayant reçu qu'un seul traitement avec ces mêmes substances actives.

2.2. Élevage au laboratoire des tétranyques et phytoséiides

Les populations de *T. urticae* et celles de *P. persimilis* sont maintenues en élevage sur des plantes de haricot vert. L'élevage des phytoséiides est effectué sur des plantes de haricot vert (*Phaseolus vulgaris*, var. 'Morgane') infestées par des tétranyques. Les populations de *T. urticae* et celles de *P. persimilis* sont maintenues dans une salle de culture climatisée à 24 ± 1 °C, 65 ± 5 % H.R., photopériode 16:8 (L:D).

2.3. Tests toxicologiques

Des tests de toxicité par contact sont réalisés selon la méthode décrite par Knight et al. (1990). Dix femelles adultes de *T. urticae* sont placées sur un disque de feuille de haricot (4 cm de diamètre), appliqué sur du papier filtre humidifié. L'ensemble est posé dans une boîte de Petri (9 cm de diamètre).

Les tests toxicologiques réalisés sur les phytoséiides consisteront à placer, dans une même boîte de Petri, dix femelles de *P. persimilis* et cinq adultes de *T. urticae*. Les tétranyques serviront de nourriture aux phytoséiides testés.

Des bouillies aqueuses à base de produits phytopharmaceutiques testés sont préparées. Pour chacune des substances actives testées, la concentration de la bouillie correspond à la dose homologuée, prescrite en plein champ (**Tableau 1**). Les préparations obtenues sont pulvérisées sur les disques foliaires. L'application des pesticides est réalisée avec un pulvérisateur manuel (Butt et al., 2000). Le volume de bouillie appliqué a été préalablement mesuré par Butt et al. (2000) et il est de $9,6 \pm 0,83 \mu\text{l}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Les témoins ont reçu un traitement à blanc : ils sont traités de la même façon, mais avec de l'eau distillée seulement. Ces témoins permettront de vérifier qu'aucune surmortalité n'est observée et de corriger la mortalité observée selon Abbott (1925). La limite de mortalité acceptable des témoins est fixée à 10 % (Abbott, 1925).

Après 24 h, les individus morts sont dénombrés sous la loupe binoculaire. Pour chaque dose, chaque population et chaque espèce, cinq répétitions sont réalisées.

La classification des effets secondaires des pesticides est évaluée selon les critères établis par l'OILB pour les tests sur les ennemis naturels, en conditions de laboratoire (Hassan, 1992). Un pesticide qui provoque 0-30 % de mortalité parmi les ennemis naturels est considéré comme étant relativement sélectif. Un pesticide qui engendre 30-79 % de mortalité est classé comme étant à toxicité modérée. Un produit est considéré comme toxique s'il induit plus de 80 % de mortalité parmi les acariens prédateurs traités.

2.4. Matières actives et doses testées

Cinq pesticides à usage fréquent dans la région du Loukkos sont comparés (**Tableau 1**). La concentration utilisée pour chaque pesticide est la concentration recommandée pour les traitements en plein champ. L'eau distillée est utilisée comme témoin.

2.5. Analyses statistiques

Les pourcentages de mortalité sont corrigés par la formule d'Abbott (Abbott, 1925). Les traitements statistiques réalisés sont effectués grâce à des analyses de variance (ANOVA) à un facteur (pesticide), suivies par des tests de Tukey, permettant la comparaison des moyennes deux à deux. Les différents traitements statistiques sont réalisés à l'aide du logiciel SPSS 13.0.

3. RÉSULTATS

3.1. Efficacité des pesticides sur l'acarien ravageur *Tetranychus urticae*

Nos résultats révèlent que les pesticides testés présentent des niveaux d'efficacité différentiels sur les acariens ravageurs ($F = 24,59$, $\text{ddl} = 5$, $p < 0,001$). On montre ainsi que la dose d'abamectine, prescrite pour les traitements en plein champ, se distingue par sa forte efficacité sur les tétranyques, en comparaison avec les autres pesticides testés (**Figure 1**). En moyenne, environ $89 \pm 3,74$ % de ces acariens ravageurs sont éradiqués après traitement avec cet acaricide spécifique de la famille des avermectines.

L'autre acaricide/insecticide utilisé dans ce travail est la bifenthrine, de la famille des pyréthrinoïdes. En comparaison avec l'abamectine, la bifenthrine se révèle moins efficace dans le contrôle des tétranyques (Test de Tukey, $p < 0,05$). En moyenne, la bifenthrine élimine 72 ± 8 % des *T. urticae* traités (**Figure 1**). D'un autre côté, nos résultats montrent que l'efficacité de la bifenthrine n'est pas significativement différente de celle de la lambda-cyhalothrine, insecticide de la famille des pyréthrinoïdes utilisé en fraisculture pour contrôler les populations de thrips, de noctuelles et de pucerons (test de Tukey, NS). Bien qu'elle ne soit pas spécifique aux acariens, la lambda-cyhalothrine est capable d'éliminer en moyenne $63 \pm 4,61$ % des acariens ravageurs des fraisiers.

Table 1. Pesticides employés dans les tests de toxicité sur l'acarien ravageur *Tetranychus urticae* et son prédateur *Phytoseiulus persimilis* — Pesticides employed in toxicity test on phytophagous mite *Tetranychus urticae* and its predator *Phytoseiulus persimilis*.

Nom commercial	Substance active	Concentration recommandée sur la culture de fraisier
Vertimec 1,8 % EC	Abamectine	50 ml·hl ⁻¹
Talstar 10 EC	Bifenthrine	50 ml·hl ⁻¹
Karaté 5 EC	Lambda-cyhalothrine	20 ml·hl ⁻¹
Uthane WP	Mancozèbe	200 g·hl ⁻¹
Hexa 5 SC	Hexaconazole	50 ml·hl ⁻¹

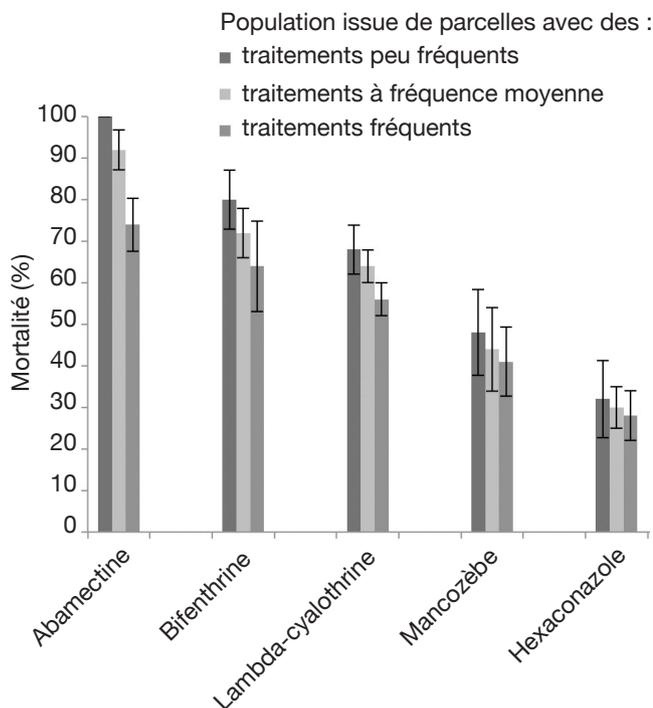


Figure 1. Effet de l'exposition à cinq pesticides différents sur des populations de *Tetranychus urticae*. Les pesticides sont appliqués aux doses recommandées sur fraisier, lors d'une étude de laboratoire tenant compte de l'usage préventif des pesticides ($n = 5$ répétitions par traitement) — *Effect of exposure to five different pesticides on various populations of Tetranychus urticae. Pesticides are applied at recommended doses in the laboratory study depending on pesticides previous use ($n = 5$ replicates per treatment).*

D'autre part, on montre que les fongicides testés, homologués et employés contre les maladies du fraisier (oidium, pourritures, etc.) présentent certains effets négatifs sur l'acarien ravageur *T. urticae*. Ces effets négatifs sont, toutefois, largement moins importants que ceux montrés par les acaricides ou encore par les insecticides non spécifiques (test de Tukey, $p < 0,001$). En moyenne, les taux de mortalité enregistrés 24 h après le traitement au mancozèbe ou avec l'hexaconazole sont respectivement de $44 \pm 9,59\%$ et $30 \pm 6,75\%$ (Figure 1).

Par ailleurs, nos résultats révèlent que l'efficacité des pesticides sur l'acarien ravageur *T. urticae* serait, dans tous les cas, tributaire du passé phytopharmaceutique de la parcelle d'où les acariens sont prélevés ($F = 3,98$, $ddl = 2$, $p < 0,05$). Les parcelles fréquemment traitées avaient reçu des traitements préventifs à l'abamectine et aux pyrèthrinoides (bifenthrine et lambda-cyhalothrine). Les deux fongicides testés avaient aussi été appliqués en plein champ.

D'une façon générale, les acariens ravageurs collectés dans les parcelles peu traitées sont les plus sensibles aux traitements phytopharmaceutiques ; ceux

originaires des parcelles ayant reçu des traitements fréquents sont les moins sensibles envers les pesticides testés (test de Tukey, $p < 0,05$). En effet, l'application de l'abamectine à des tétranyques originaires des fraisiers peu traités engendre un taux de mortalité de 100 % contre seulement $74 \pm 6,42\%$ s'ils sont issus de fraisiers fréquemment traités, soit une réduction du taux de mortalité d'environ 26 % (Figure 1). Des observations similaires ont été réalisées avec les pyrèthrinoides : la bifenthrine et la lambda-cyhalothrine éliminent respectivement $80 \pm 7,14\%$ et $68 \pm 5,95\%$ des tétranyques originaires de fraisiers peu traités contre seulement $64 \pm 10,91\%$ et $56 \pm 3,94\%$ lorsque ces ravageurs proviennent de fraisiers ayant reçu des traitements plus fréquents. De même, des traitements antérieurs au champ par les fongicides hexaconazole et mancozèbe paraissent être capables de réduire la mortalité des acariens ravageurs. Le mancozèbe et l'hexaconazole éliminent respectivement $48 \pm 10,33\%$ et $32 \pm 9,3\%$ des tétranyques collectés dans les fraisiers peu traités contre $41 \pm 8,35\%$ et $28 \pm 5,95\%$ des tétranyques provenant de parcelles fréquemment traitées. Le traitement préventif aux fongicides réduirait la sensibilité des tétranyques d'environ 15 % envers le mancozèbe et de 13 % envers l'hexaconazole.

3.2. Effet des pesticides sur l'acarien prédateur *Phytoseiulus persimilis*

Les différents pesticides testés présentent des toxicités significativement différentes sur les adultes de *P. persimilis* ($F = 16,02$, $ddl = 5$, $p < 0,001$). Parmi les différents acaricides/insecticides considérés, l'abamectine paraît être la substance active la plus sélective sur les acariens prédateurs *P. persimilis* (test de Tukey, $p < 0,001$). En moyenne, l'abamectine élimine $21 \pm 5,66\%$ des acariens phytoséiides testés (Figure 2).

D'un autre côté, les résultats révèlent que les acaricides/insecticides appartenant à la famille des pyrèthrinoides (bifenthrine et lambda-cyhalothrine) éliminent environ la moitié de ces acariens bénéfiques *P. persimilis*. En moyenne, l'application de la bifenthrine élimine $38 \pm 5,28\%$ des phytoséiides ; le traitement avec la lambda-cyhalothrine en tue $47 \pm 6,85\%$. En comparaison avec les insecticides, les deux fongicides testés paraissent être moins nocifs sur les *P. persimilis* adultes. Ces acariens bénéfiques présentent des taux de mortalité respectifs de $21 \pm 4,89\%$ et $28 \pm 5,61\%$ lorsqu'ils sont traités avec l'hexaconazole et le mancozèbe (Figure 2).

L'impact des pesticides sur les acariens prédateurs Phytoseiidae varie, toutefois, avec le passé phytopharmaceutique de la parcelle d'où ils sont collectés ($F = 6,78$, $ddl = 2$, $p < 0,01$). Les acariens prédateurs originaires des parcelles peu traitées sont

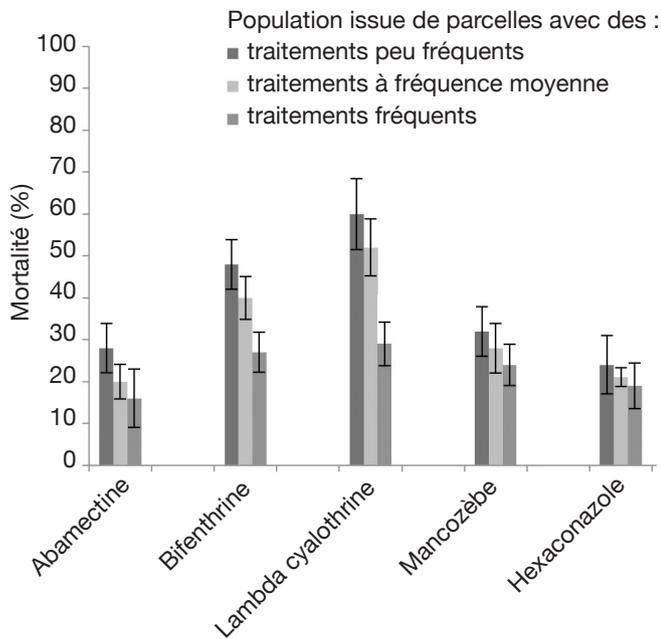


Figure 2. Effet de l'exposition à cinq pesticides différents sur des populations de *Phytoseiulus persimilis*. Les pesticides sont appliqués aux doses recommandées sur fraisier, lors d'une étude de laboratoire tenant compte de l'usage préventif des pesticides ($n = 5$ répétitions par traitement) — *Effect of exposure to five different pesticides on various populations of Phytoseiulus persimilis. Pesticides are applied at recommended doses in the laboratory study depending on pesticides previous use ($n = 5$ replicates per treatment).*

les plus sensibles ; ceux originaires des parcelles ayant reçu des traitements fréquents sont les moins sensibles envers les pesticides testés (test de Tukey, $p < 0.001$). Les parcelles fréquemment traitées avaient reçu des traitements à l'abamectine et aux pyrèthrinoides. Elles avaient aussi reçu les fongicides testés. Le traitement pendant deux ans à l'abamectine paraît être capable de réduire la mortalité de *P. persimilis* d'environ 43 % par rapport aux parcelles peu traitées. De même, le traitement préventif aux pyrèthrinoides serait capable de les rendre moins sensibles d'environ 44 % dans le cas de la bifenthrine et de 52 % dans celui de la lambda-cyhalothrine (**Figure 2**).

On montre, d'un autre côté, que les traitements antérieurs aux fongicides sont aussi capables de rendre les *P. persimilis* plus tolérants à l'égard de ces produits. Des traitements préventifs fréquents au mancozèbe et à l'hexaconazole ont réduit la mortalité des phytoséiides de 25 % et 21 %, respectivement, une fois retraités au laboratoire avec ces deux fongicides.

4. DISCUSSION

Dans la région du Loukkos, au Nord du Maroc, la production de la fraise nécessite, dans les conditions présentes, l'utilisation d'une panoplie d'acaricides, insecticides et fongicides pour gérer les ravageurs et maladies qui peuvent réduire le rendement en fruits. D'une façon générale, la présente étude révèle que la plupart des pesticides testés seraient capables de réprimer les populations d'acariens, même s'ils sont employés contre d'autres cibles. L'impact de ces produits sur les acariens ravageurs tétranyques et sur les acariens prédateurs phytoséiides paraît, toutefois, varier avec l'histoire phytopharmaceutique de la parcelle d'où ils sont prélevés.

L'étude des effets des différents produits phytopharmaceutiques sur l'acarien ravageur *T. urticae* révèle la haute efficacité de l'abamectine, en comparaison avec les autres spécialités testées : l'abamectine provoque un taux de mortalité pouvant atteindre 100 % chez les tétranyques originaires des parcelles peu traitées. L'efficacité de cette substance active sur les tétranyques a aussi été décrite par Duchovskiene (2007) qui a montré que l'abamectine ($18 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) à $1,2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ est très efficace sur les acariens ravageurs *T. urticae* et qu'elle peut entraîner jusqu'à 100 % de mortalité après le premier traitement. L'application courante de l'abamectine durant deux années consécutives entraîne, toutefois, une réduction de son efficacité d'environ 25 %, en comparaison avec son efficacité dans les parcelles peu traitées. Nos résultats concordent avec ceux de Beers et al. (1998) qui montrent qu'après 7-8 ans de large usage commercial de l'abamectine, toutes les populations de *T. urticae* collectées ont montré des niveaux de tolérance modérés à importants à l'égard de ce produit.

Dans les parcelles prospectées, le programme de traitement appliqué incluait deux produits de la famille des pyrèthrinoides, non spécifiques aux acariens : la bifenthrine et la lambda-cyhalothrine. Appliquée en présence des tétranyques issus de parcelles non traitées, la bifenthrine en élimine 80 %, alors que la lambda-cyhalothrine n'en élimine que 68 %. L'importante efficacité de la bifenthrine sur les acariens ravageurs, observée dans ce travail, a aussi été signalée par Alzoubi et al. (2007) qui montrent que la bifenthrine est efficace sur les populations de tétranyques. En comparaison avec la bifenthrine, la lambda-cyhalothrine révèle des niveaux d'efficacité légèrement moins importants sur *T. urticae*. Malgré sa non-spécificité envers les acariens, ce produit s'est avéré capable d'éliminer presque les deux tiers des tétranyques traités. Des observations similaires ont été réalisées dans les fraisiers de la Lituanie par Raudonis (2006). L'auteur montre que la lambda-cyhalothrine est capable de causer environ 75 % de mortalité dans les

populations de *T. urticae* après sept jours de traitement. De tels résultats font ressortir l'importante aptitude de cette substance active à éliminer les acariens ravageurs, bien qu'elle ait comme cible d'autres arthropodes.

L'efficacité des pyréthrinoïdes se trouve néanmoins amoindrie dans le cas des *T. urticae* collectés dans des parcelles ayant fait l'objet pendant deux années consécutives d'un programme de lutte incluant ces spécialités agrochimiques. Nos résultats révèlent que les *T. urticae* originaires des parcelles avec un historique pyréthrinoïde sont plus tolérantes à ces matières actives, en comparaison avec ceux issus de parcelles peu traitées avec ces produits.

Les fongicides paraissent présenter une certaine efficacité contre les acariens ravageurs *T. urticae* testés dans ce travail. Appliqués pour traiter les pathogènes du fraisier, le mancozèbe et l'hexaconazole se sont avérés capables d'induire respectivement 48 et 32 % de mortalité parmi les tétranyques testés. L'effet acaricide du mancozèbe a aussi été mis en évidence par Cuthbertson et al. (2003) sur l'acarien ravageur *Aculus schlechtendali* (Phytopte libre du pommier). Selon Baynon et al. (1987), l'impact du mancozèbe sur les acariens serait attribué à ses produits de dégradation comme Ethylene thiourea.

L'effet acaricide révélé par le mancozèbe et l'hexaconazole serait, d'un autre côté, tributaire du passé phytopharmaceutique de la parcelle où la collecte des acariens ravageurs a été réalisée. Nos résultats montrent, en effet, que l'efficacité des fongicides est beaucoup plus marquée dans les fraisiers où ces produits n'ont jamais ou très peu été appliqués.

Par ailleurs, les effets non intentionnels des produits phytopharmaceutiques appliqués ont été évalués sur la principale espèce d'acariens prédateurs Phytoseiidae des fraisiers marocains, *P. persimilis*. En Europe, les effets secondaires des pesticides ont été évalués, selon les directives de l'OILB sur plusieurs espèces de phytoséiides comme *P. persimilis* (Hassan et al., 1988 ; Hassan, 1992). En revanche, aucun travail n'a jusqu'à présent porté sur les effets secondaires des pesticides sur les phytoséiides indigènes des cultures marocaines.

Parmi les produits phytopharmaceutiques testés, l'abamectine paraît être la spécialité la moins offensive sur les acariens prédateurs *P. persimilis* traités. En moyenne, cette matière active provoque environ 21 % de mortalité parmi les acariens phytoséiides testés (OILB, classe 1).

La toxicité de l'abamectine envers les phytoséiides a toutefois tendance à diminuer dans le cas des *P. persimilis* originaires de fraisiers ayant fait l'objet de traitements réguliers avec cette substance active (seulement 16 % de mortalité). Selon la classification de l'OILB, l'abamectine passe de la légère toxicité, dans le cas des fraisiers peu traités, à l'inoffensivité dans les parcelles régulièrement traitées.

Les spécialités agrochimiques appartenant à la famille des pyréthrinoïdes (bifenthrine et lambda-cyhalothrine) seraient aussi capables de réduire la taille de la population des *P. persimilis* traitée. Toutefois, les traitements réguliers au champ avec les pyréthrinoïdes seraient en mesure d'atténuer la toxicité de ces produits envers ces acariens bénéfiques. Les taux de mortalité provoqués par la bifenthrine et par la lambda-cyhalothrine passent respectivement de 48 et 60 %, chez les phytoséiides issus de parcelles peu traitées, à 27 et 29 %, lorsque les phytoséiides sont originaires de parcelles avec un historique pyréthrinoïde. Le niveau de toxicité provoqué par ces deux matières actives passe donc de la toxicité modérée envers les phytoséiides issus de parcelles peu traitées (OILB, classe 2), à la légère toxicité à l'égard des *P. persimilis* collectés dans les parcelles avec un historique pyréthrinoïde (OILB, classe 1). Tout semble se passer comme si les pyréthrinoïdes deviennent, tous les deux, peu nocifs envers l'acarofaune bénéfique des parcelles avec un historique pyréthrinoïde. Une telle tolérance révélée par les phytoséiides laisse suggérer la réintroduction de ces insecticides dans la lutte contre les insectes du fraisier. Ceci montre l'intérêt de connaître le profil de sensibilité des souches d'auxiliaires que l'on utilise dans le cadre de l'agriculture raisonnée.

Si les insecticides et acaricides, du fait de leurs cibles, sont, pour la très grande majorité, toxiques pour de nombreuses espèces de Phytoseiidae, les fongicides peuvent, eux aussi, réduire fortement les populations d'auxiliaires acariphages. Le présent travail révèle que les deux fongicides testés auraient une toxicité légère à modérée sur les adultes de *P. persimilis*, traités au laboratoire. Collectés dans des parcelles sans historique fongicide, ces acariens bénéfiques présentent un taux de mortalité de 24 % s'ils sont traités au laboratoire avec l'hexaconazole (OILB, classe 1). Ce taux est d'environ 32 % lorsqu'ils sont traités avec le mancozèbe (OILB, classe 2). La toxicité des fongicides serait, toutefois, variable en fonction du passé phytopharmaceutique des parcelles d'où les phytoséiides sont collectés. Le présent travail montre, en effet, que l'hexaconazole reste sans grand effet dépressif sur les phytoséiides et ce, quel que soit l'historique des parcelles. En revanche, le mancozèbe paraît présenter des effets différentiels en fonction du passé phytopharmaceutique des parcelles. Selon le classement de l'OILB, ce fongicide devient légèrement offensif envers les *P. persimilis* prélevés des parcelles régulièrement traitées avec ce fongicide (OILB, classe 1). De tels résultats laissent suggérer que les traitements réguliers préventifs aux fongicides seraient, de leur part aussi, capables de rendre les acariens prédateurs *P. persimilis* plus tolérants à l'égard de ces produits. Nos observations paraissent rejoindre celles effectuées par Auger et al. (2004) sur l'espèce d'acariens prédateurs Phytoseiidae

du vignoble français, *Typhlodromus pyri*. Selon ces auteurs, lorsque le mancozèbe est couramment utilisé depuis de nombreuses années, il est généralement faiblement toxique, parfois modérément toxique et rarement toxique pour *T. pyri*. En revanche, dans les parcelles où ce produit n'a jamais été appliqué, ses effets dépressifs sont beaucoup plus marqués (Auger et al., 2004).

En définitive, les applications répétitives des cinq produits phytopharmaceutiques testés dans ce travail semblent se traduire par une meilleure tolérance des acariens ravageurs et prédateurs envers ces produits. Le niveau de tolérance détecté dans les parcelles régulièrement traitées est plus prononcé dans les populations de l'acarien prédateur que dans celles du ravageur. L'existence de phytoséiides tolérants dans les fraisiers marocains serait d'un grand intérêt pour la lutte intégrée et raisonnée dans ces cultures. Dans ce cadre, l'usage régulier mais rationnel des pesticides pourrait être proposé en vue de réduire leur toxicité sur les prédateurs et permettre, par conséquent, la régulation de populations de *T. urticae*.

À côté des acaricides, les insecticides et les fongicides deviennent assez peu nocifs dans les parcelles fréquemment traitées, ce qui permettra d'améliorer l'alternance de lutte contre les insectes et les maladies du fraisier. Toutefois, si ces produits peuvent être introduits dans les programmes de lutte intégrée dans les parcelles où ils ont été utilisés pendant une longue période et où l'acarien prédateur *P. persimilis* est présent, leur utilisation devrait être minimisée dans les parcelles où ils n'ont jamais ou rarement été utilisés.

Bibliographie

- Abbott W.S., 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, **18**, 265-267.
- Alzoubi S. & Çobanoğlu S., 2007. Effects of sublethal dose of different pesticides on the two-spotted spider mite "*Tetranychus urticae* Koch" and its predatory mites under greenhouse conditions. *World J. Agric. Sci.*, **3**, 764-770.
- Auger P., Kreiter S., Mattioda H. & Duriatti A., 2004. Side effects of mancozeb on *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae) in vineyards: results of multi-year field trials and a laboratory study. *Exp. Appl. Acarology*, **33**, 203-213.
- Auger P., Bonafos R., Kreiter S. & Delorme R., 2005. A genetic analysis of mancozeb resistance in *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarology*, **37**, 83-91.
- Baynon G.T. & Penman D.R., 1987. The effect of mancozeb and metiram on the predatory mite *Typhlodromus pyri*. In: *Proceedings of the 40th New Zealand Weed and Pest Control Conference, New Zealand Weed and Pest Control Society Inc, Palmerston North/New Zealand*, 104-107.
- Beers E.H., Riedl H. & Dunley J.E., 1998. Resistance to abamectin and reversion to susceptibility to fenbutatin oxide in spider mite (Acari: Tetranychidae) populations in the Pacific Northwest. *J. Econ. Entomol.*, **91**, 352-360.
- Bonafos R., Vigues V., Serrano E. & Auger P., 2008. Resistance monitoring to deltamethrin in 13 populations of *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae) from vineyards in the south-west of France. *Crop Prot.*, **27**, 855-858.
- Butt T.M. & Goettel M.S., 2000. Bioassays of entomogenous fungi. In: Navon A. & Ascher K.R.S., eds. *Bioassays of entomopathogenic microbes and nematodes*. Wallingford, UK: CABI Publishing, 141-195.
- Cuthbertson A.G.S. & Murchie A.K., 2003. The impact of fungicides to control apple scab (*Venturia inaequalis*) on the predatory mite *Anystis baccarum* and its prey *Aculus schlechtendali* (apple rust mite) in Northern Ireland Bramley orchards. *Crop Prot.*, **22**, 1125-1130.
- Duchovskiene L., 2007. Effects of abamectin on the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in greenhouse cucumbers. *Sci. Works Lithuanian Inst. Hortic. Lithuanian Univ. Agric.*, **26**, 166-175.
- Gent D.H. et al., 2009. Effects of powdery mildew fungicide programs on twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae), hop aphid (Hemiptera: Aphididae), and their natural enemies in hop yards. *J. Econ. Entomol.*, **102**, 274-286.
- Hassan S.A., 1992. Guidelines for testing the effects of pesticides on beneficial organisms: description of test methods. *Bull. IOBC/WPRS*, **15**, 1-186.
- Hassan S.A. et al., 1988. Results of the fourth joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-Working Group "Pesticides and Beneficial Organisms". *J. Appl. Entomol.*, **105**, 321-329.
- Ivancich Gambaro P., 1973. Il ruolo del *Typhlodromus aberrans* Oud. (Acarina: Phytoseiidae) nel controllo biologico degli acari fitofagi del vigneti del Veronese. *Boll. Zoologia Agraria Bachicoltura*, Ser. II, **11**, 151-165.
- Khajehali J., van Leeuwen T. & Tirry L., 2009. Susceptibility of an organophosphate resistant strain of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) to mixtures of bifenthrin with organophosphate and carbamate insecticides. *Exp. Appl. Acarology*, **49**, 148-192.
- Knight A.L., Beers E.H., Hoy S.C. & Riedl H., 1990. Acaricide bioassay with spider mites (Acari: Tetranychidae) on pome fruits: evaluation of methods and selection of discrimination concentrations for resistance monitoring. *J. Econ. Entomol.*, **83**, 1752-1760.
- McMurtry J.A. & Croft B.A., 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.*, **42**, 291-321.

- Overmeer W.P.J., 1985. Alternative prey and other food sources. In: Helle W. & Sabelis M.W., eds. *Spider mites: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 131-139.
- Raudonis L., 2006. Comparative toxicity of spiroadiclofen and lambda-cyhalothrin to *Tetranychus urticae*, *Tarsonemus pallidus* and predatory mite *Amblyseius andersoni* in a strawberry site under field conditions. *Agron. Res.*, **4**, 317-322.
- Schruff G., 1971. Untersuchungen über einen möglichen cytokininartigen Effekt systemischer Fungizide auf Benzimidazol-Basis. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz*, **78**, 280-285.
- Sentenac G. et al., 2002. Effets non intentionnels de certains produits phytopharmaceutiques sur *Typhlodromus pyri*, *Kampimodromus aberrans* et *Phytoseiulus plumifer*. *Phytoma Défense Végétaux*, **555**, 50-55.
- Trichilo P.J. & Wilson L.T., 1993. An ecosystem analysis of spider mite outbreaks: physiological stimulation or natural enemy suppression. *Exp. Appl. Acarology*, **17**, 291-314.
- Van de Vrie M., McMurtry J.A. & Huffaker C.B., 1985. Control of Tetranychidae in crops: greenhouse, ornamentals. In: Helle W. & Sabelis M.W., eds. *Spider mites: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 261-272.
- Van Leeuwen T. et al., 2008. Mitochondrial heteroplasmy and the evolution of insecticide resistance: non-mendelian inheritance in action. *PNAS*, **105**, 5980-5985.

(24 réf.)