



Montpellier Supagro
Unité Mixte de Recherche. Centre de Biologie pour la
Gestion des Populations.



Institut National Agronomique de Tunisie
Département de Protection des Plantes et Maladies
Post-Récolte

THÈSE

Présentée à Montpellier SupAgro pour obtenir le diplôme de Doctorat

Formation doctorale : Évolution, Écologie, Ressources génétiques, Paléontologie
École doctorale : Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosiences,
Environnement

Influence des pratiques agro-écologiques et de la protection phytosanitaire sur les communautés d'acariens Phytoseiidae (Acari : mesostigmata) dans les vergers agrumicoles tunisiens

Présentée et soutenue publiquement par

SAHRAOUI HAJER

Le 11 décembre 2012

JURY

Lebdi-Grissa Kaouthar	Professeur	Co-directrice de thèse
Kreiter Serge	Professeur	Co-directeur de thèse, représentant de l'ED
Chermiti Brahim	Professeur	Rapporteur
Hemptinne Jean-Louis	Professeur	Rapporteur
Ksantini Mohieddine	Directeur de Recherche	Examineur, président de jury
Tixier Marie-Stéphane	Professeur	Examinatrice, invitée

RESUMÉ

Les acariens de la famille des Phytoseiidae (Mesostigmata) ont été largement étudiés du fait de la capacité de plusieurs espèces à contrôler biologiquement des acariens phytophages et des petits insectes ravageurs des cultures. La diversité et l'abondance des espèces de cette famille sont déterminées principalement par le climat, la stabilité des habitats, les ressources alimentaires et les pratiques agricoles. Cette étude conduite dans des vergers d'agrumes tunisiens a pour objectifs (i) de caractériser la diversité des Phytoseiidae dans ces agrosystèmes, (ii) d'étudier l'effet de pratiques agricoles sur la diversité et l'abondance de ces espèces et (iii) d'étudier l'effet de stratégies de gestion de l'enherbement sur ces acariens prédateurs. Les résultats obtenus ont permis de répondre à ces objectifs. Tout d'abord, nous possédons désormais davantage de connaissances sur les espèces de Phytoseiidae présentes sur agrumes ainsi que dans la végétation naturelle de ces vergers. Onze nouvelles espèces pour la faune tunisienne ont été rencontrées. *Euseius stipulatus* était l'espèce dominante dans les vergers d'agrumes tunisiens étudiés. La diversité des Phytoseiidae sur les citrus est différente selon l'espèce d'agrumes et leur abondance plus faible dans les vergers où des herbicides étaient utilisés. Dans les plantes adventices associées, la diversité de Phytoseiidae était directement affectée par la diversité des espèces végétales. De plus, leur densité était influencée par les pesticides utilisés et les techniques de gestion de l'enherbement. Il a également été montré l'existence d'une corrélation positive entre les densités des Phytoseiidae dans les adventices et sur les arbres. De plus, l'existence d'une dispersion ambulatoire des Phytoseiidae de l'inter-rang vers les arbres a été observée; les effectifs migrant depuis l'inter-rang vers les arbres étaient plus importants que dans le sens opposé. Cette migration semble être favorisée par certaines pratiques de désherbage, particulièrement le labour. Enfin, la comparaison des parcelles aux stratégies de production différentes a montré une diversité de Phytoseiidae plus importante dans le système conduit en Agriculture Biologique. Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre les interactions entre les Phytoseiidae et leurs habitats et ont permis de formuler des propositions pour améliorer les pratiques culturales (élimination du désherbage chimique et promotion du labour ou du fauchage) afin de promouvoir un meilleur contrôle biologique des acariens ravageurs. Néanmoins, d'autres études sont encore nécessaires pour tester davantage de stratégies d'enherbement, en proposer de nouvelles et afin de mieux caractériser les interactions entre les Phytoseiidae et la gestion des agrosystèmes.

Mots clés : Agrumes, Phytoseiidae, diversité, abondance, adventices, dispersion, pesticides

ABSTRACT

Mites of the family Phytoseiidae (Mesostigmata) have been extensively studied because of the potential of several species as biological control agents of phytophagous mites and small insect crop pests. Phytoseiidae diversity and abundance are known to be mainly affected by climate, stability of habitats, food resources and agricultural practices. This study conducted in Tunisian citrus orchards aimed to (i) characterize the diversity of Phytoseiidae in these agrosystems, (ii) study the effect of agricultural practices on the diversity and abundance of these species and (iii) study the effect of weed management strategies on these predatory mites. The results obtained allow giving some responses. First, more data are now available on species of Phytoseiidae present on citrus trees and associated weeds. Eleven new species for the Tunisian fauna have been found. Species of Phytoseiidae were different according to the species of citrus considered and their abundance seemed to be affected by herbicide sprayings. On weeds, Phytoseiidae diversity was directly affected by weed diversity. Furthermore, their density was influenced by pesticide sprayings and the weed management type. A positive correlation between Phytoseiidae densities on trees and weeds was emphasized. Ambulatory dispersal between weeds and trees was observed and migrations were higher from weeds to trees than in the opposite way. This dispersal seemed to be favored by some weeding practices, especially by ploughing. At last, the comparison of plots conducted with different farming strategies showed that Phytoseiidae diversity was the highest in the organic farming plot. The results presently obtained allow a better understanding of relationships between Phytoseiidae and their habitat. They also allow some proposals to improve agricultural practices and promote a better biological control of mite pests (eliminate herbicide use, promote ploughing and mowing). However, additional studies are still required in order to test more weeding strategies, propose new ones and to better characterize the interactions between Phytoseiidae and agrosystems management.

Key words: Citrus, Phytoseiidae, diversity, abundance, weeds, dispersal, pesticides

REMERCIEMENTS

Après trois années, mon travail arrive à son terme par la réalisation de ce mémoire de thèse dans le cadre d'une cotutelle entre l'**INAT** (Tunisie) et Montpellier **SupAgro**, financée par une bourse du programme **Averroès**. Je commence par un agréable devoir, celui de remercier tous ceux qui m'ont aidée d'une façon ou d'une autre, ou encouragée au cours de cette thèse. Je remercie par la même occasion tous ceux qui ne sont peut-être pas cités mais qui se reconnaîtront, et dont la présence ou intervention à un moment donné de la thèse a été bénéfique.

Les premières lignes de mes remerciements se doivent d'être dédiées à mes trois directeurs, **Marie-Stéphane TIXIER**, **Kaouthar GRISSA LEBDI** et **Serge KREITER** que je ne remerciais jamais assez pour m'avoir acceptée en thèse. Outre leurs qualités humaines, je salue la qualité de leur encadrement, leur disponibilité sans pareil, leur vigilance scientifique, ainsi que leur patience dans les corrections de mes écrits. Je leur remercie également pour avoir élargi les champs de mes compétences, et pour m'avoir laissée libre court pour participer aux formations et aux congrès.

Je tiens particulièrement à remercier **Martial DOUIN** et **Sabine GUICHOU** pour leur gentillesse et leur aide, qui m'ont permis de travailler dans une ambiance chaleureuse et conviviale. Je tiens à remercier également, **Philippe AUGER**, **Alain MIGEON** ainsi que tous les personnels, chercheurs et doctorants du **CBGP** qui m'ont apporté de l'aide ou simplement avec qui j'ai partagé de bons moments.

Je remercie vivement la direction de l'**INAT** représentée par Mr. **Elyes HAMZA**, et également toute personne du laboratoire d'Entomologie – Acarologie et particulièrement **Nesrine** et **Sonia**, qui m'ont aidé à réaliser ce travail et tous les étudiants que j'ai rencontrés au laboratoire avec lesquels j'ai passé des moments agréables.

J'adresse également mes remerciements au directeur général du **CTA** (Centre technique des agrumes) Mr. **Mohamed CHERIF** ainsi qu'à tous les ingénieurs et personnels de son équipe qui m'ont apporté leur aide au cours des déplacements, échantillonnages et collectes des données, particulièrement **Salma BEN ROMDHANE** et **Ali AYARI**.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers les membres du jury, Messieurs **CHERMITI Ibrahim**, **HEMPTINNE Jean-Louis**, **KSANTINI Mohieddine**, d'avoir accepté de juger ce travail.

Je dédie ce travail à mes parents, sans qui je n'aurais jamais été là où j'en suis aujourd'hui.

PUBLICATIONS

1- PUBLICATIONS INCLUSES DANS LA THÈSE

- 1 – **Sahraoui H.**, Lebdi Grissa K., Kreiter S., Douin M., Tixier M.-S. (2012) Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of Tunisian citrus orchards: Catalogue, biogeography and key for identification, *Acarologia* 53(4). A paraître en décembre 2012
- 2 – **Sahraoui H.**, Tixier M.-S., Lebdi Grissa K., Kreiter S. (2012) Agricultural practices influencing the diversity and abundance of phytoseiid and phytophagous mites (Acari: Mesostigmata) in Tunisian citrus orchards. *Experimental Applied Acarology* (Soumis).
- 3 – **Sahraoui H.**, Tixier M.-S., Lebdi Grissa K., Kreiter S. (2012) Diversity and population dynamics of Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) in three Tunisian citrus orchards, *Acarologia* (Soumis).
- 4 – **Sahraoui H.**, Kreiter S., Lebdi Grissa K., Tixier M.-S. (2012) Abundance and diversity of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Tunisian citrus orchard: effect of weed management for three citrus species. *Environmental Entomology* (Soumis).
- 5 – **Sahraoui H.**, Tixier M.-S., Lebdi Grissa K., Tersim N., Kreiter S. (2012) Effect of weed management on the density, diversity and dispersal of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in Tunisian citrus orchards. *Experimental Applied Acarology* (Accepté).

2- PUBLICATIONS NON INCLUSES DANS LA THÈSE

- 6 – Grissa Lebdi K., **Sahraoui H.** (2006) Demographic traits of two phytophagous mites (*Tetranychus cinnabarinus* and *Aculops lycopersici*) and biological control on tomato. Proceedings of the Xth International symposium on the processing tomato in Tunisia. *Acta Horticulturae* 758: 81-87.
- 7 – Kreiter S., Tixier M.-S., **Sahraoui H.**, Lebdi Grissa K., Ben Chabaan S., Chatti A., Chermiti B., Khoualdia O., and Ksantini M. (2010) Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) from Tunisia: Catalogue, biogeography, and key for identification. *Tunisian Journal of Plant Protection* 5: 151-178.

3- COMMUNICATIONS ORALES DANS DES CONGRÈS INTERNATIONAUX

8 – Grissa Lebdi K., Sahraoui H. Demographic traits of two phytophagous mites (*Tetranychus cinnabarinus* and *Aculops lycopersici*) and biological control on tomato. Proceedings of the Xth International symposium on the processing tomato. Tunisie, Juin 2006.

9 – Sahraoui H., Lebdi Grissa K., Kreiter S., Tixier M.-S. 2012. Biodiversité des Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) dans les vergers d'agrumes tunisiens: Effet des pratiques agricoles. Colloque national des Entomophagistes. Montpellier, Mai 2012.

Premier prix du jury récompensant des travaux d'étudiants innovants en lutte biologique.

10 – Sahraoui H., Lebdi Grissa K., Kreiter S., Tixier M.-S. 2012. Diversity of Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) in Tunisian citrus orchards: influence of agricultural practices. 7th Symposium of the European Association of Acarologists. Vienne, Autriche, Juillet 2012.

4- COMMUNICATIONS AFFICHÉES LORS DE CONGRÈS

11 – Sahraoui H., Tixier M.-S., Lebdi-Grissa K., Tersim N., Kreiter S. 2012. Influence de la gestion de l'enherbement sur les effectifs d'acariens prédateurs (Acari: Phytoseiidae) dans une parcelle de citrus en Tunisie. 9^{ème} Conférence Internationale sur les ravageurs en Agriculture. Montpellier, Octobre 2011.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Position taxonomique de la famille des Phytoseiidae (Lindquist <i>et al.</i> 2009).	10
Figure 1. Modèle combinant la richesse spécifique et le type d'espèces trouvées le long des gradients de facteurs du milieu (Grime 1979).	1
Figure 2. Principales régions agrumicoles en Tunisie (ONAGRI 2012).	7
Figure 3. Schéma général d'un Phytoseiidae (Schicha 1987).	11
Figure 4. Chaetotaxie du bouclier dorsal des trois sous-familles : a - Amblyseiinae Muma, b - Typhlodrominae Scheuten, c - Phytoseiinae Berlese (Kreiter 1991).	13
Figure 5. Détails des caractères morphologiques utilisés pour la description et l'identification des espèces de Phytoseiidae : (A), Face dorsale théorique d'une femelle de Phytoseiidae montrant la chaetotaxie dorsale et les différentes paires de solénostomes (gd) (Schicha 1987, Swirski <i>et al.</i> 1998)	15
Figure 6. Cycle de développement des phytoséiides (Kreiter 1991).	19
Figure 7. Schéma des pièges utilisés : A - Les deux pièges utilisés, B - détails du piège Velcro® (Koike <i>et al.</i> 2000).	28
Figure 8. Photos de la parcelle (1) conduite en agriculture biologique (Takesla, Cap Bon)	86
Figure 9. Photos de la parcelle (2) conduite avec traitements chimiques limités (Manzel Bouzelfa, Cap Bon)	86
Figure 10. Photos de la parcelle (3) conduite avec traitements chimiques intensifs utilisation de l'herbicide, avec des lignes d'haricot plantées en avril (Azib, Bizerte).	86

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1.** Résumé de la communication orale présentée au Colloque National des Entomophagistes, May 2012, Montpellier, France. **183**
- Annexe 2.** Résumé de la communication orale du : 7th Symposium of the European Association of Acarologists, July 2012, Vienne, Autriche. **184**
- Annexe 3.** Poster présenté lors de la 9^{ème} Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, octobre 2011, Montpellier, France. **185**

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	I
ABSTRACT	II
REMERCIEMENTS	III
PUBLICATIONS	IV
Liste des tableaux et figures	VI
Liste des annexes	VII
TABLE DES MATIÈRES	VIII

Introduction	1
Objectifs de la thèse	4
Chapitre I. Analyse bibliographique	6
1. LA CULTURE DES AGRUMES EN TUNISIE	6
1.1. Importance économique	6
1.2. Les principaux ravageurs ennemis des agrumes en Tunisie	8
2. PRESENTATION GENERALE DE LA FAMILLE DES PHYTOSEIIDAE	10
2.1. Position systématique	11
2.2. Morphologie générale et taxonomie	11
2.2.1 Morphologie générale des Phytoseiidae	11
2.2.2 Systématique des Phytoseiidae	12
2.2.2.1 La taxonomie morphologique	12
2.2.2.2 La taxonomie moléculaire	17
2.3. Cycle de développement et reproduction	18
2.4. Le régime alimentaire des Phytoseiidae	19
2.5. Relation entre les Phytoseiidae et leur plante support	21
2.6. La dispersion des Phytoseiidae	22
2.7. Utilisation en lutte biologique	23

2.7.1 Lutte biologique par lâchers	23
2.7.1.1 Lutte par acclimatation	23
2.7.1.2 Lutte par augmentation	23
2.7.2 Lutte biologique par la gestion et la conservation des habitats non cultivés au sein des agrosystèmes	25
Chapitre II. Matériel et méthodes	27
1. MONTAGE ET IDENTIFICATION DES ACARIENS COLLECTES	27
2. DISPOSITIFS DE PIEGEAGE	27
3. ANALYSE DES DONNEES ET INDICES DE BIODIVERSITE EMPLOYES	29
Chapitre III. Diversité des Phytoseiidae dans les systèmes agrumicoles Tunisiens	31
1. INTRODUCTION	31
2. DIVERSITE DES PHYTOSEIIDAE DANS LES VERGERS AGRUMICOLES TUNISIENS	32
3. ARTICLE 1: Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of Tunisian citrus orchards: catalogue, biogeography and key for identification (<i>Acarologia</i>).	33
4. CONCLUSION	67
Chapitre IV. Etude de l'effet des pratiques agricoles sur les Phytoseiidae dans les vergers agrumicoles Tunisiens	68
1. LES COMMUNAUTES D'ACARIENS ET LES PRATIQUES CULTURALES DANS 41 VERGERS D'AGRUMES TUNISIENS	68
1.1. Introduction	68
1.2. Article 2: Agricultural practices influencing the diversity and abundance of phytoseiid and phytophagous mites (Acari: Mesostigmata) in Tunisian citrus orchards (Submitted in <i>Experimental and Applied Acarology</i>)	69
1.3. Conclusion	85
2. LES COMMUNAUTES DE PHYTOSEIIDAE ET LES MODES DE GESTION BIOLOGIQUE, RAISONNEE ET CONVENTIONNELLE DES PARCELLES DE CITRUS	85

2.1. Introduction	85
2.2. Article 3: Diversity and population dynamics of Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) in three Tunisian citrus orchards. (Submitted in <i>Acarologia</i>).	86
2.3. Conclusion	108
Chapitre V. Etude de l'effet du mode de gestion de l'enherbement sur l'abondance et la diversité des Phytoseiidae	109
1. ETUDE DE L'EFFET DU LA GESTION DE L'ENHERBEMENT SUR LA DIVERSITE ET L'ABONDANCE DES PHYTOSEIIDAE DANS TROIS VARIETES DE CITRUS	109
1.1. Introduction	109
1.2. Article 4: Abundance and diversity of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Tunisian citrus orchard: effect of weed management on three citrus species (Submitted in <i>Environmental Entomology</i>).	110
1.3. Conclusion	134
2. ETUDE DE L'EFFET DE QUATRE MODES DE GESTION DE L'ENHERBEMENT SUR LA DIVERSITE ET L'ABONDANCE DES PHYTOSEIIDAE	135
2.1. Introduction	135
2.2. Article 5: Effect of weed management on the density, diversity and dispersal of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in Tunisian citrus orchards (accepted in <i>Experimental and Applied Acarology</i>).	136
2.3. Conclusion	160
Discussion générale, conclusions et perspectives	161
REFERENCES	169
ANNEXES	183

INTRODUCTION

Les pratiques culturales mises en œuvre au sein d'une parcelle (labour, fertilisation, désherbage, intrants phytosanitaires...) affectent les organismes vivants dans les agrosystèmes (Weiher et Keddy 1999). Ces facteurs sont considérés comme des filtres qui déterminent la composition des communautés locales à partir du pool d'espèces disponibles à un niveau régional (Woodward et Diament 1991, Keddy 1992).

La diversité des arthropodes est généralement corrélée négativement aux pratiques agricoles qui perturbent les systèmes naturels; chaque espèce présente cependant des capacités propres de tolérance à ces perturbations. Plusieurs travaux ont été conduits afin de modéliser les variations de la richesse spécifique en réponse aux variables de productivité et du régime de perturbation (Fig. 1) (Grime 1979).

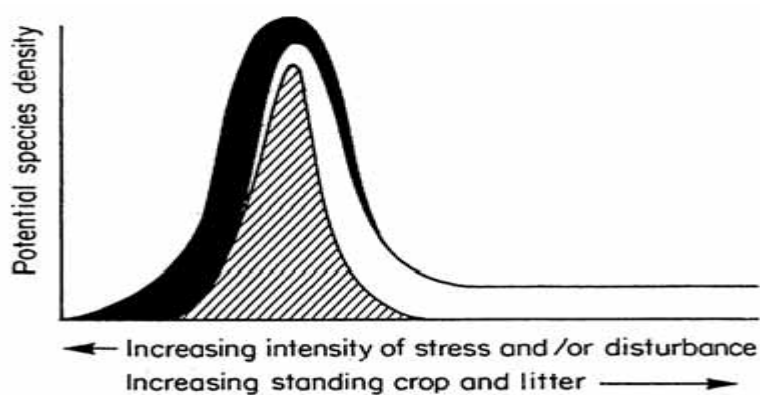


Figure 1. Modèle combinant la richesse spécifique et le type d'espèces trouvées le long des gradients de facteurs du milieu (Grime 1979). En blanc: espèces à fort potentiel compétiteur; en noir: espèces tolérantes au stress ou à la perturbation; en hachuré, espèces qui ne présentent aucune des caractéristiques précédentes.

Les facteurs qui ont suscité le plus de recherches sur les effets des pratiques agricoles sur la biodiversité sont: (i) l'usage des pesticides, qui est bien documenté depuis les années 1960, et (ii) certaines pratiques agricoles comme le travail du sol et la fertilisation. D'autres facteurs comme la diversification des cultures au sein d'une même parcelle sont étudiés de façon plus restreinte et leur étude ciblée sur un ou plusieurs groupes taxonomiques.

Ainsi, Croft *et al.* (1990) ont conduit pour la famille des Phytoseiidae (acarien prédateur, modèle d'étude de cette thèse) l'analyse de neuf facteurs susceptibles d'influencer l'abondance de deux espèces *Galendromus* (*Galendromus*) *occidentalis* (Nesbitt) et *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *pyri* Scheuten dans des vergers de pommiers de l'Oregon en USA. Ils ont constaté que la végétation entourant les vergers et l'utilisation de pesticides étaient les facteurs les plus importants.

En règle générale, les produits phytosanitaires ont un impact négatif sur les arthropodes dont les auxiliaires (Zoebelein 1988). De nombreux travaux montrent les effets non intentionnels des insecticides plus ou moins marqués sur l'arthropodofaune auxiliaire (coccinelles, chrysopes, syrphes, acariens phytoséiides...) selon les molécules, mais aussi selon les phases du cycle biologique des organismes. Ces effets non intentionnels peuvent être à l'origine de pullulations de ravageurs jusqu'alors peu problématiques (Conway and Pretty 1991). A l'instar des insecticides, les acaricides peuvent eux aussi provoquer des pullulations d'acariens phytophages Tetranychidae, suite à l'élimination du cortège des auxiliaires prédateurs, essentiellement de la famille des Phytoseiidae (Kreiter et Brian 1987).

L'impact des herbicides sur les réseaux trophiques du sol peut être indirect (réduction du nombre d'espèces de plantes et de la matière organique) (Marshall 2001) ou direct (toxicité sur les auxiliaires présents dans les plantes adventices) (Kreiter *et al.* 2003a).

Il a été montré dans de nombreuses études que la végétation dans les agrosystèmes (adventices, cultures intercalaires, haies, ...) avait un effet considérable sur la diversité des arthropodes et pouvait affecter le contrôle biologique de plusieurs ravageurs. En effet, cette végétation peut être une source de nourriture importante pour les ennemis naturels, prédateurs et parasitoïdes (Johnson et Croft 1981). Une étude réalisée dans le Massachusetts a par exemple décelé que 20 espèces de la famille des Ichneumonidae (Hymenoptera) se nourrissant du nectar des fleurs de *Vicia faba* L. étaient capables de parasiter des espèces de Lépidoptères s'attaquant aux forêts et aux cultures, suggérant ainsi que la gestion de l'enherbement incluant cette plante pourrait être utile dans le contrôle de ces ravageurs (Bugg et Ellis 1989, 1990). Parallèlement, Flaherty (1969) a constaté que les effectifs d'*Eotetranychus willamettei* (McGregor) ont été limités par le prédateur *G. (G.) occidentalis* qui se maintenait en absence de la proie grâce à d'autres ressources alimentaires dans les adventices. Les plantes adventices influencent également les populations de parasitoïdes et prédateurs en leur fournissant des sites de refuge et/ou d'hivernation (Altieri *et al.* 1979).

Ainsi, Muma (1961) a observé un nombre plus important de Phytoseiidae sur des agrumes lorsque les inter-rangs étaient enherbés que lorsque le sol était nu. De plus, les densités de *Tetranychus pacificus* (McGregor) ont été réduites quand les adventices étaient maintenues dans des vignobles aux Etats-Unis (Flaherty *et al.* 1972).

L'augmentation de la diversité végétale au sein d'une parcelle, en plus de l'augmentation et la diversification des ressources alimentaires et de refuge vis-à-vis des arthropodes qu'elle engendre, peut aussi réduire l'invasion des espèces phytophages. En effet, la juxtaposition de plantes aux diverses caractéristiques peut freiner les déplacements des ravageurs et entraîner une moindre colonisation des parcelles (Risch *et al.* 1983).

La connaissance des interactions entre les ravageurs, leurs ennemis naturels et le milieu (sous-entendu les pratiques culturales qui affectent ce milieu de vie) peut permettre de développer à terme des stratégies innovantes de gestion des agrosystèmes et faciliter le contrôle biologique. Dans ce contexte, l'évaluation des échanges entre les plantes de la couverture et les arbres semble nécessaire. Le système étudié dans cette thèse est l'agrosystème agrumicole dans lequel nous avons analysé comment différentes pratiques culturales, en particulier la gestion des adventices, pouvaient affecter la diversité et la densité des Phytoseiidae. Cette famille comprend des prédateurs utiles en protection des plantes pour lutter contre plusieurs espèces d'acariens et de petits insectes phytophages, ravageurs importants de plusieurs cultures dans le monde.

OBJECTIFS DE LA THESE

Ce travail de thèse s'intéresse à la famille de prédateurs Phytoseiidae. Cette famille appartient à la sous-classe des Acari et à l'ordre des Mesostigmata. Elle est représentée par environ 2300 espèces réparties dans le monde entier (Moraes *et al.* 2004, Chant et McMurtry 2007, Tixier *et al.* 2012). De nombreuses études ont montré le rôle de plusieurs espèces comme agents de lutte biologique. Plus d'une cinquantaine d'espèces sont actuellement largement utilisées dans la lutte contre des espèces d'acariens phytophages ainsi que plusieurs insectes phytophages, tous ravageurs de différentes plantes cultivées dans le monde (McMurtry et Croft 1997).

Cependant, la présence et la pérennité de ces prédateurs dans les agrosystèmes peuvent varier en fonction de différents facteurs, dont quelques pratiques culturales. L'objectif de ce travail de thèse est donc de déterminer l'impact de ces pratiques culturales et plus particulièrement l'effet de la gestion de l'enherbement dans les vergers d'agrumes tunisiens.

Ce document s'articulera en six chapitres. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique générale sur la culture des agrumes en Tunisie et sur le modèle de l'ennemi naturel étudié ici, la famille des Phytoseiidae. Le deuxième chapitre présente les méthodologies générales utilisées dans l'ensemble des études conduites. Les trois autres chapitres exposent les travaux ayant fait l'objet d'articles publiés ou soumis dans des journaux scientifiques. Enfin, dans le dernier chapitre, une discussion générale incluant des conclusions et perspectives sera proposée. Les travaux effectués durant cette thèse peuvent être divisés en trois parties (trois chapitres de résultats) selon les objectifs visés :

- Dans le chapitre 3, tout d'abord les résultats des échantillonnages (sur les citrus, dans les haies brise-vents et dans les inter-rangs des vergers) réalisés dans quarante-six vergers d'agrumes dans les plus grandes régions productrices tunisiennes seront présentés. L'objectif de ce travail était de déterminer les espèces de Phytoseiidae associés aux vergers agrumicoles tunisiens. Ce travail fait l'objet de **l'article 1**.

- Dans le chapitre 4, les analyses des données relatives aux pratiques culturales appliquées dans 41 vergers seront présentées. L'objectif était de déterminer l'effet des pratiques culturales sur la densité des Phytoseiidae et Tetranychidae, ainsi que la diversité des Phytoseiidae sur les arbres et les plantes présentes dans les inter-rangs. Ce travail a fait l'objet de **l'article 2**.

Une autre étude présentée dans ce même chapitre a consisté à réaliser un suivi dans le temps des densités et de la diversité des Phytoseiidae dans trois vergers agrumicoles aux pratiques culturales différentes : 1) un verger conduit en agriculture biologique, 2) un verger conduit en agriculture raisonnée, avec peu d'interventions à l'aide de pesticides et 3) un verger conventionnel, avec un nombre important de traitements phytopharmaceutiques. Ce travail avait pour objectif de déterminer comment les densités et la diversité des Phytoseiidae évoluent dans le temps, ceci en relation avec les stratégies de gestion de ces trois parcelles. Ce travail a fait l'objet de **l'article 3**.

- A partir des résultats des études précédentes, il est apparu que la gestion de l'enherbement était un facteur essentiel affectant la densité et la diversité des Phytoseiidae. Ainsi, l'objectif global des expérimentations rapportées dans le chapitre 5 était d'étudier l'effet du mode d'enherbement des parcelles de citrus sur les communautés de Phytoseiidae, afin de répondre aux questions suivantes :

- Existe-t-il un échange de Phytoseiidae entre les citrus et la couverture du sol ? S'il existe, quel est son ampleur et est-il influencé par les pratiques de gestion de l'enherbement?
- Le mode de gestion du couvert végétal affecte-t-il la diversité et la densité des phytoséiides sur les arbres et dans l'inter-rang?

Cette partie est constituée de deux essais expérimentaux réalisés dans deux parcelles différentes d'agrumes. Le premier essai avait pour objectif d'étudier l'effet du travail du sol sur la diversité et l'abondance des Phytoseiidae dans des vergers plantés avec des espèces différentes d'agrumes (**article 4**). Le deuxième essai avait pour objectif d'évaluer l'impact de quatre techniques de gestion de l'enherbement (reportées comme les plus utilisées après l'enquête présentée dans le chapitre 4) sur la diversité et la densité des Phytoseiidae (**article 5**).

Un des objectifs finalisés de ce travail de thèse est de pouvoir orienter à terme le choix des agriculteurs vers un moyen de gestion de l'enherbement qui permettrait de favoriser la diversité des Phytoseiidae, dans le but d'optimiser la protection biologique des vergers d'agrumes.

CHAPITRE I

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. LA CULTURE DES AGRUMES EN TUNISIE

Originaire d'Asie du Sud Est, le genre *Citrus*, qui comprend les espèces d'agrumes cultivées est particulièrement adapté aux régions côtières et semi-continentales de la Tunisie. L'agrumiculture s'est développée surtout dans la péninsule du **Cap Bon** où les conditions environnementales subtropicales sont tout à fait appropriées. La partie méridionale du Cap Bon regroupe les principaux centres de production des agrumes : Nabeul, Menzel Bouzelfa, El Gobba, Niannou, Beni Khaled et Hammamet. Cette région se caractérise par un climat semi-aride à tempéré où la pluviométrie varie de 300 à 500 mm par an. L'irrigation est utilisée dans la plupart des vergers.

D'autres zones de production se trouvent dans les environs du Grand Tunis (Ben Arous, La Manouba, Mornag, La Soukra...), Bizerte (Ras Djebel, Elalia..), dans différents points le long de la côte au sud de Bir Bou Regba (Sousse, Mahdia, Monastir), dans la plaine de Sidi Bouzid et Kairouan, dans quelques localités abritées de la région intermédiaire du Nord (Béja, Bou Salem, etc.) et dans des petites plantations dans les oasis (ONAGRI 2012) (Fig. 2).

1.1. Importance économique

En Tunisie, le secteur de l'agrumiculture est un des secteurs-clefs de l'agriculture (classé en deuxième position derrière l'olivier du point de vue surfaces cultivées). La région du Cap-Bon représente 70 % de la production nationale. La production tunisienne des agrumes est très variée et s'échelonne d'octobre à mai. La répartition variétale montre que la variété dominante est l'orange Maltaise (32 %), suivie par le clémentinier (17 %), l'orange Navel (17 %), le groupe des citrons (16 %) et les oranges douces (9 %). Le reste, soit 14 %, est constitué de variétés d'importance mineure (CTA 2012). D'après le dernier recensement effectué par le ministère de l'agriculture pour l'année 2011 (ONAGRI 2012), la production agrumicole tunisienne tient la 9^{ème} position en Méditerranée avec une production en 2010-2011 évaluée à 220 000 tonnes. Vingt-deux mille tonnes sont exportées vers les pays européens, dont la France qui est le principal importateur. Cependant, la seule espèce agrumicole à pouvoir

bénéficier des avantages de l'exportation est l'orange, et plus particulièrement le cultivar «Maltaise Demi-Sanguine», qui représente 90 % des exportations agrumicoles (20 156 tonnes en 2010). En 2010 le revenu de l'exportation d'agrumes était autour de 11 millions d'euros.

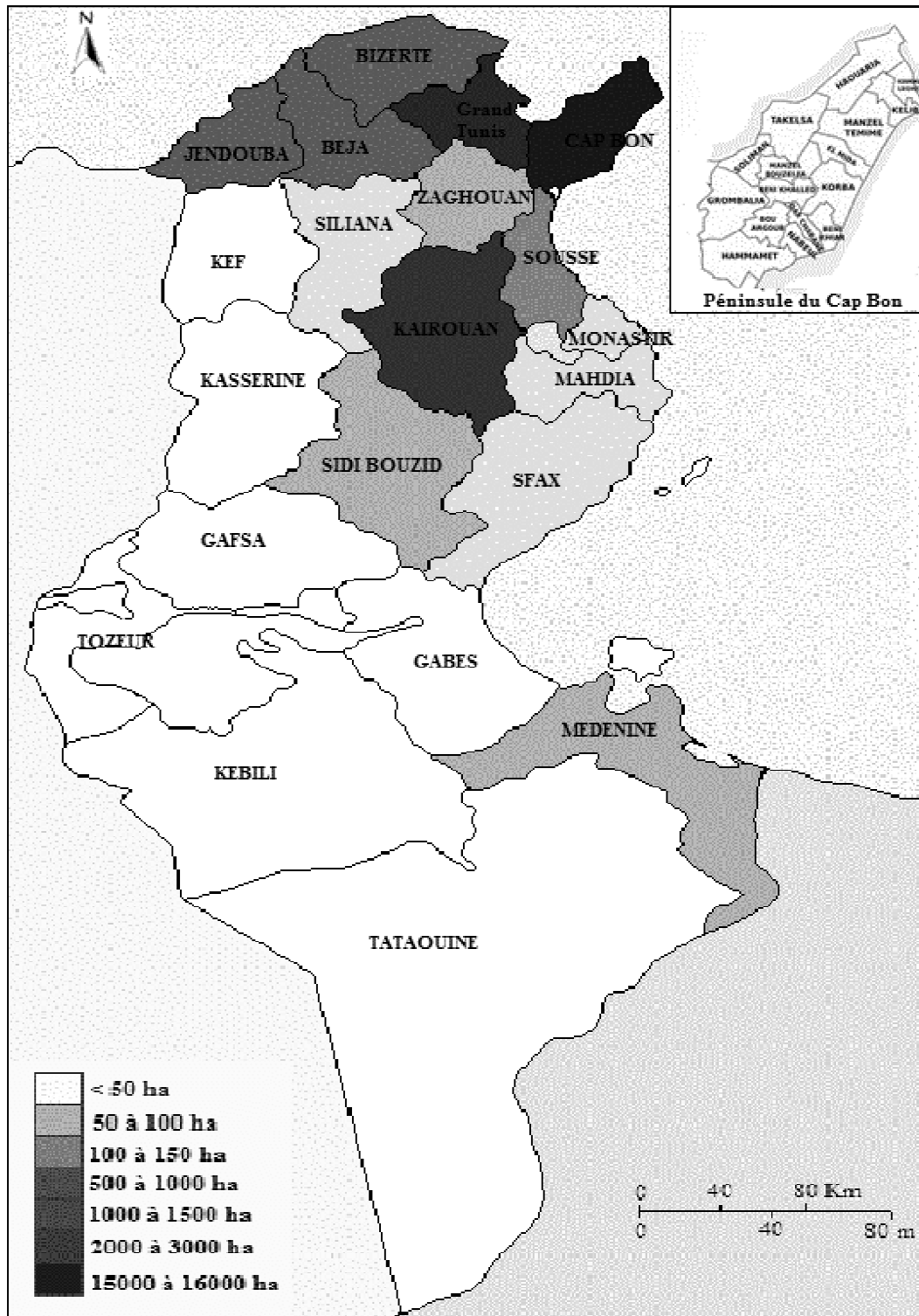


Figure 2. Principales régions agrumicoles en Tunisie (ONAGRI 2012)

Le secteur des agrumes fait face en ce moment à des difficultés certaines avec une baisse de la productivité (autour de 19 tonnes/ ha) et une irrégularité assez marquée de la production, que l'on peut attribuer à plusieurs facteurs: l'inadaptation des opérations culturales (fertilisation, irrigation, taille, protection contre les bio-agresseurs, etc.), le vieillissement inéluctable des vergers à un rythme qui est nettement supérieur à celui de la plantation des jeunes vergers et l'accentuation des problèmes sanitaires causés par les maladies et les ravageurs.

1.2. Les principaux ravageurs ennemis des agrumes en Tunisie

Les agrumes en Tunisie abritent une entomofaune assez diversifiée (Grissa 2010). Parmi les ravageurs qui peuvent causer des dégâts on trouve la mouche méditerranéenne des fruits [*Ceratitis capitata* (Wiedemann)], les pucerons des agrumes [*Aphis* sp., *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe), *Myzus persicae* (Sulzer)], les aleurodes [*Aleurothrixus floccosus* Maskell, *Parabemisia myricae* (Kuwana)], les cochenilles [*Parlatoria ziziphi* Lucas, *Chrysomphalus dictyospermi* Morgan, *Lepidosaphes beckii* (Newman), *Coccus hesperidum* (Linnaeus), *Icerya purchasi* Maskell, *Planococcus citri* Risso)], les thrips [*Limothrips cerealium* (Haliday), *Frankliniella occidentalis* (Pergande), *Haplothrips* sp., *Thrips tabaci* (Lindeman), *Thrips flavus* Schrank, *Pezothrips kellyanus* (Bagnall)] et la mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella* Stainton) (Grissa 2010). L'utilisation non raisonnée des traitements phytosanitaires a commencé à prendre de l'ampleur dans les vergers d'agrumes depuis l'arrivée de la mineuse des agrumes en 1994 (Dhouibi et Gahbiche 1995). Depuis, ont commencé à resurgir les problèmes dus aux acariens phytophages appartenant essentiellement à quatre familles : Tetranychidae, Tenuipalpidae, Tarsonemidae et Eriophyidae (Grissa et Khoufi 2012).

En Tunisie, sur les 17 espèces d'acariens phytophages identifiées dans plusieurs cultures de plusieurs régions, 8 espèces ont été identifiées sur *Citrus* sp. (Kreiter *et al.* 2002a). Ce recensement a révélé la présence de quatre espèces de Tetranychidae (*Tetranychus urticae* Koch, *Panonychus citri* (McGregor), *Tetranychus turkestanii* Ugarov et Nicholski et *Eutetranychus orientalis* Klein), une espèce de Tenuipalpidae (*Brevipalpus lewisi* McGregor), deux espèces d'Eriophyidae (*Aceria sheldoni* [Ewing] et *Phyllocoptruta oleivora* [Ashmead]), et une espèce de Tarsonemidae (*Hemitarsonemus latus* [Banks]).

En Tunisie, *T. urticae* est actif dans les vergers d'agrumes essentiellement en été et en automne, de mi-juin à mi-novembre. Les variétés du groupe Clémentine sont les plus sensibles aux attaques d'acariens causant une défoliation soudaine et significative. Sur citronnier cependant, l'attaque peut s'observer durant toute l'année si l'hiver est doux. *Panonychus citri* pullule sur les agrumes de décembre à mai et des dégâts sont généralement causés sur les variétés d'oranges Maltaise, qui représentent la plus grande production d'agrumes en Tunisie. *Eutetranychus orientalis* cause des dégâts principalement en été et en automne. Comme pour *T. urticae*, l'attaque s'observe sur feuilles en été de juin à septembre et passe sur fruits de septembre à décembre. *Hemitarsonemus latus* est nuisible aux agrumes au printemps, sur boutons floraux et jeunes fruits en début de nouaison causant la desquamation des fruits. Enfin, *A. sheldoni* attaque presque exclusivement les citronniers et est actif au printemps, en été et en automne, ces trois périodes correspondant aux trois périodes de floraison de l'arbre. Les attaques se traduisent par la déformation des boutons floraux et par la suite des fruits (Gharbi 2006, Grissa et Khoufi 2012).

L'aggravation des problèmes causés par ces acariens phytophages est le résultat de différents facteurs liés plus au moins directement à l'intensification des cultures, la généralisation de l'emploi des pesticides et l'augmentation des échanges de matériel végétal avec d'autres continents (Kreiter 2000).

Dans le but de produire des fruits qui répondent aux normes de qualité, tout en respectant l'environnement, plusieurs études ont été réalisées pour développer des stratégies de lutte alternative, dont des moyens de lutte biologique contre les ravageurs des agrumes. Cet objectif a été traduit par la création du premier insectarium au sein du Centre Technique des Agrumes (CTA) dans la région du Cap Bon (Grombalia) en 2008. Ce centre, en plus de son rôle dans le développement d'une expertise en matière de production et de vulgarisation de nouvelles techniques auprès des agrumiculteurs, a comme mission la production et les lâchers d'insectes utiles et le développement de techniques de lutte biologique contre les principaux ravageurs des agrumes.

Parmi les ennemis naturels considérés comme ayant un grand intérêt dans les programmes de lutte biologique de par le monde, les espèces appartenant à la famille des Phytoseiidae occupent une place particulière. L'importance de l'action des Phytoseiidae a été maintes fois discutée et l'expérience montre qu'il y a fréquemment une relation entre leur présence et le

contrôle des densités de divers ravageurs, notamment des acariens phytophages (Kreiter 2003a). Il s'avère donc important d'étudier la diversité de ces espèces en Tunisie et les facteurs, notamment les pratiques agricoles, qui affectent l'abondance et la diversité de ces acariens dans les agrosystèmes.

2. PRESENTATION GENERALE DE LA FAMILLE DES PHYTOSEIIDAE

2.1 Position systématique

La famille des Phytoseiidae est composée aujourd'hui d'environ 2 300 espèces, réparties dans trois sous-familles (Moraes *et al.* 2004, Chant et McMurtry 2007). Ci-dessous la position systématique actuelle de la famille des Phytoseiidae d'après Lindquist *et al.* (2009).

Tableau 1. Position taxonomique de la famille des Phytoseiidae (Lindquist *et al.* 2009)

Embranchement	Arthropoda
Sous-embranchement	Chelicerata
Classe	Arachnida
Sous-classe	Acari
Super-Ordre	Anactinotrichida
Ordre	Mesostigmata
Super-famille	Ascoidea
Famille	Phytoseiidae

2.2 Morphologie générale et taxonomie

2.2.1 Morphologie générale des Phytoseiidae

Les Phytoseiidae sont des arthropodes de taille microscopique (200-600 μ m de long) (Chant et McMurtry 2007). Ils ont une longueur moyenne de 300 μ m, les mâles étant légèrement plus petits que les femelles (Helle et Sabelis 1985, Chant et McMurtry 2007). Ils se caractérisent, par rapport aux autres arthropodes mais en revanche comme tous les autres acariens, par l'absence d'antennes, de mandibules et d'ailes et par leurs corps non métamérisé portant quatre paires de pattes (excepté au stade larvaire) (Chant et McMurtry 1994, Kreiter *et al.* 1994, Chant et McMurtry 2007). Les espèces de la famille des Phytoseiidae possèdent un corps sclérotinisé et globuleux (ou piriforme), leur couleur varie de blanc-jaunâtre à marron ou rougeâtre, selon les espèces ou selon leur nourriture (Krantz 1978, Kreiter 1991).

Leurs corps est divisé en deux principales parties (Chant 1985, Kreiter 1991) (Fig. 3).

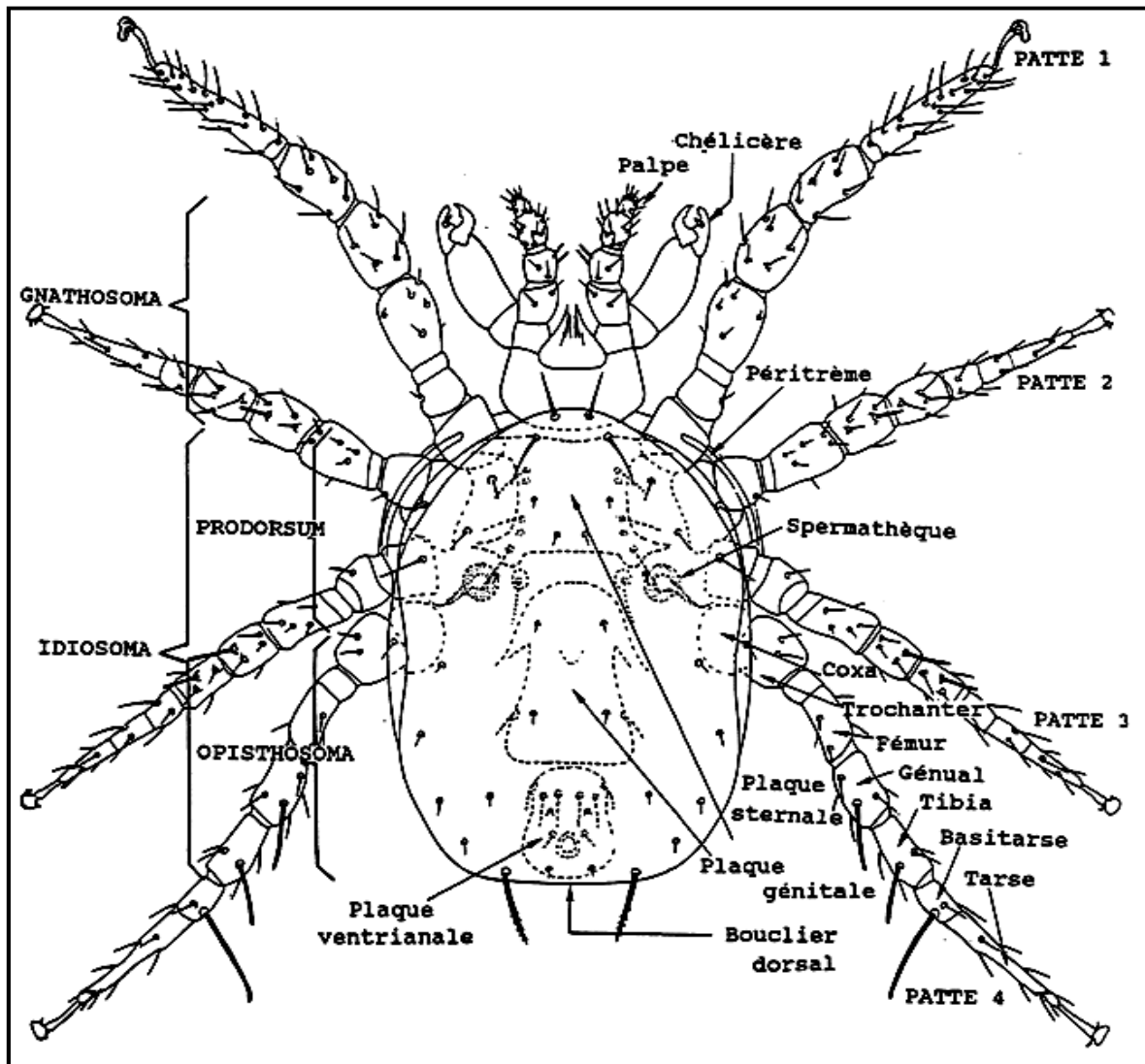


Figure 3. Schéma général d'un Phytoseiidae (Schicha 1987, modifié par Kreiter 1991)

- **le gnathosoma.** C'est la partie antérieure du corps qui porte les pièces buccales et les organes sensoriels associés à la bouche. Le gnathosoma a une double fonction (i) sensorielle grâce aux palpes qui permettent la détection de la nourriture et du partenaire et (ii) de capture et d'ingestion de proies (Kreiter *et al.* 1991, 1994, Swirski *et al.* 1998). Les chélicères permettent de percer les téguments des proies ainsi que les parois des grains de pollen (Kreiter et De La Bourdonnaye 1993). Chez le mâle, chaque chélicère porte un spermatodactyle (sur le mors mobile) permettant le transfert du spermatozoaire du tractus génital mâle vers les voies génitales femelles. La forme et la taille du spermatodactyle sont utilisées dans la systématique (Fig. 5J) (Kreiter *et al.* 1991, 1994, Swirski *et al.* 1998).

- **L'idiosoma.** C'est la partie postérieure du corps qui porte 4 paires de pattes. La patte I est dirigée vers l'avant et a un rôle sensoriel. Le tégument est protégé par des plaques épaisses ou boucliers de taille, de forme et d'ornementations différentes, sur lesquelles sont insérées des soies et des pores (solénostomes ou poroïdes) en nombre, taille, forme et disposition différents (Kreiter *et al.* 2003a). Le nombre et la forme de l'ensemble de ces organes sont variables entre les genres et parfois même entre les espèces (Athias-Henriot 1975).

Chez la femelle, on trouve trois boucliers sur la face ventrale : sternal, génital et ventrianal. Une paire de spermathèques ou appareil d'insémination femelle située au niveau de la partie antérieure des coxae IV (Swirski *et al.* 1998), est composée de plusieurs parties (Figure 5F). La respiration se fait par l'intermédiaire de la trachée qui débouche à la surface du corps au niveau d'une paire de stigmates respiratoires (Swirsky *et al.* 1998, Kreiter *et al.* 2003a). Chez le mâle, on trouve deux plaques sclérotinisées sur la face ventrale de l'idiosoma: la plaque sternogénitale qui résulte de la fusion des boucliers sternal et génital (Fig. 5L), et la plaque ventrianale. Une paire de plaques métapodales se situe sur le bord latéral au centre de la face ventrale (Chant 1985, Swirski *et al.* 1998, Kreiter *et al.* 2003a).

2.2.2 Systématique des Phytoseiidae

2.2.2.1 La taxonomie morphologique

L'identification d'une espèce de Phytoseiidae commence par la détermination de la sous-famille à laquelle elle appartient. La famille des Phytoseiidae est divisée en trois sous-familles : Amblyseiinae Muma, Typhlodrominae Scheuten et Phytoseiinae Berlese.

- Les espèces de la sous-famille des Amblyseiinae sont caractérisées par la présence de quatre paires de soies latérales (j3, z2, z4 et s4) sur le prodorsum (la partie antérieure du bouclier dorsal), les soies z3 et s6 sont manquantes (Fig. 4a). (Chant et McMurtry 2007).

- Les espèces de la sous-famille des Typhlodrominae sont caractérisées par la présence en plus des quatre soies signalées chez les Amblyseiinae, de z3 et / ou s6 et par la présence d'au moins une des soies latérales sur l'opisthosoma (Z1, S2, S4 et S5) (Fig. 4b) (Chant et McMurtry 2007).

- Les espèces de la sous-famille des Phytoseiinae sont caractérisées par la présence de z3 et / ou s6 et l'absence de toutes les soies latérales de l'opisthosoma (Z1, S2, S4 et S5) (Fig. 4c) (Chant et McMurtry 2007).

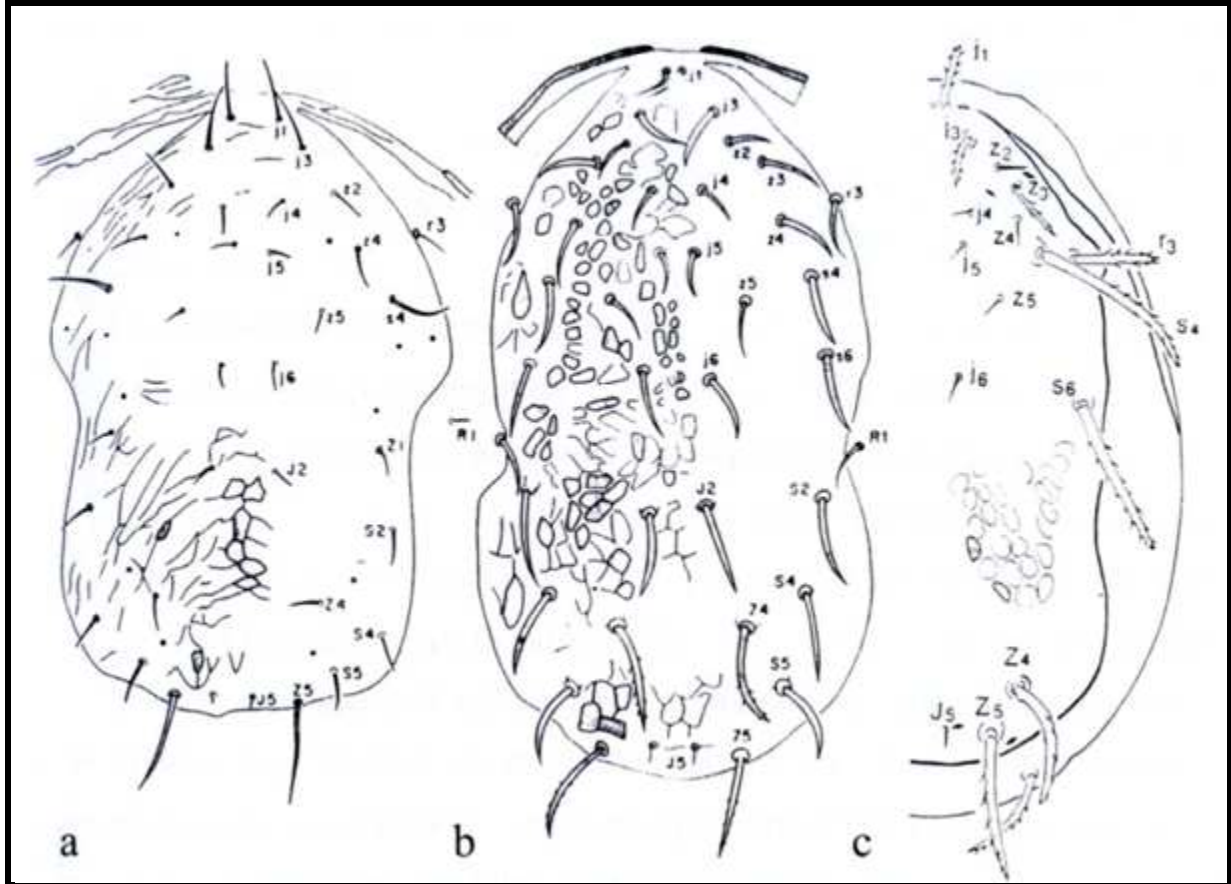


Figure 4. Chaetotaxie du bouclier dorsal des trois sous-familles : **a** - Amblyseiinae Muma, **b** - Typhlodrominae Scheuten, **c** - Phytoseiinae Berlese (Kreiter 1991).

Actuellement, une identification spécifique fiable est uniquement basée sur l'observation des caractères morphologiques des spécimens femelles, la définition des genres des espèces de Phytoseiidae se basant sur plusieurs critères. Ci-dessous sont listés les critères taxonomiques les plus importants:

1) La chaetotaxie des soies du bouclier dorsal : La présence de soies sur le bouclier dorsal, leur position et caractéristiques (lisse ou dentelée, simple ou épaisse, longue ou courte) représentent l'un des éléments essentiels pris en compte dans la taxonomie de la famille des Phytoseiidae (Chant et McMurtry 2007). Le système de nomenclature des soies le plus utilisé

est celui attribué aux Gamasides par Lindquist et Evans (1965) et adapté à la famille des Phytoseiidae par Rowell *et al.* (1978).

Ces soies dorsales sont rangées en quatre séries longitudinales, numérotées chacune en fonction de la métamérisation des arthropodes et chacune d'entre elles est divisée par convention et commodité en deux sous-séries: celle du prodorsum est notée en lettres minuscules et celle de l'opisthosoma en lettres majuscules.

Le bouclier dorsal peut porter de 12 à 23 paires de soies maximum (Chant et McMurtry 1994, 2007) (Fig. 5A):

- Une paire de soies verticales: j1 toujours présente
- Dix paires de soies dorso-latérales: j3, z2, z4, s4 et Z5 sont toujours présentes et z3, s6, S2, S4 et S5 peuvent être présentes ou absentes,
- Six paires de soies médianes: z5 et Z4 toujours présentes et z6, Z1, Z2 et Z3 peuvent être présentes ou absentes,
- Sept paires de soies dorso-centrales: j4 et j6 toujours présentes et j5, J1, J2, J3 et J4 qui peuvent être présentes ou absentes,
- Une paire de soies clunales: J5 toujours présente,
- Trois paires de soies sub-latérales: r3 toujours présente; r5 et R1 sont présentes ou absentes. Ces dernières soies sub-latérales se situent généralement sur la « membrane » inter-boucliers, mais elles sont parfois insérées sur le bouclier dorsal (Chant et McMurtry 1994, Swirski *et al.* 1998, Chant et McMurtry 2007, Ferragut *et al.* 2009).

2) Les solénostomes : Le bouclier dorsal porte également plusieurs paires de solénostomes (ouvertures de glandes cuticulaires) (figure 5A) : gd1 (postéro-latéral à j3), gd2 (postéro-médian à z4), gd3 (inséré sur la plaque périrémale), gd4 (postéro-latéral à s4), gd5 (postéro-médian à z5), gd6 (antéro-médian à Z1), gd8 (antérieur à Z4), gd9 (antérieur à S5). La paire de solénostomes gd7 est absente chez les Phytoseiidae. La présence ou l'absence de ces solénostomes, leur taille et forme (circulaire, semi-circulaire ou punctiforme) présentent également un intérêt taxonomique pour la différenciation des espèces (Athias-Henriot 1975, Ragusa et Athias-Henriot 1983, Edland et Evans 1998, Papadoulis *et al.* 2009).

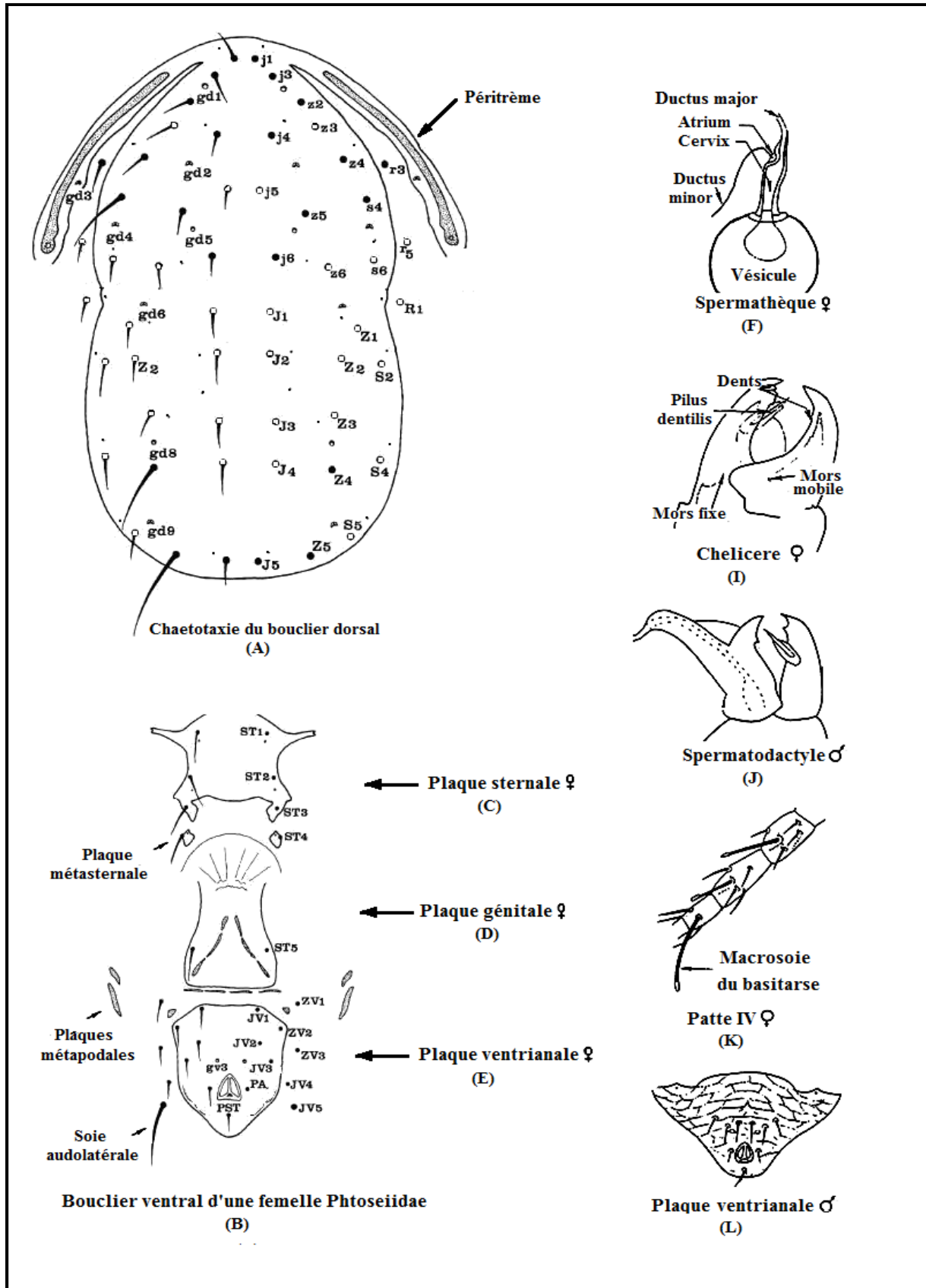


Figure 5. Détails des caractères morphologiques utilisés pour la description et l'identification des espèces de Phytoseiidae : (A), Face dorsale théorique d'une femelle de Phytoseiidae montrant la chaetotaxie dorsale (● soies stables; ○ soies variables) et les différentes paires de solénostomes (gd) (Schicha 1987, modifié par Kreiter 1991, Swirski *et al.* 1998)

3) la plaque péritrémale : (stigmates respiratoires et péritrème) qui s'étend sur les bords latéraux de l'idiosoma, depuis la patte IV jusqu'à la limite antérieure de la plaque ventrianale (fig. 5A) (Swirski *et al.* 1998; Kreiter *et al.* 2003a) peut être ou non fusionnée antérieurement avec le bouclier dorsal. La longueur du péritrème (niveau d'extension) peut être grande (s'étendant jusqu'à j1) ou courte (s'étendant jusqu'à z4). Ces caractéristiques du péritrème présentent une valeur taxonomique pour la différenciation des espèces (Athias-Henriot 1977, Chant et McMurtry 1994, 2007, Swirski *et al.* 1998, Papadoulis *et al.* 2009).

4) Le bouclier sternal, peut être fragmenté ou entier, lisse ou ornementé, il porte deux ou trois paires de soies (ST1, ST2 et ST3) et deux paires de solénostomes (Fig. 5C). ST3 peut également être insérée sur la plaque sternale ou sur une petite plaque métasternale (hors de la plaque sternale). Une quatrième paire de soies (ST4) est présente sur une plaque métasternale, accompagnée par une paire de solénostomes (Chant 1985, Swirski *et al.* 1998, Kreiter *et al.* 2003a). La position de ST3 (sur ou hors de la plaque sternale) est considérée comme un critère pour différencier les espèces (Denmark et Welbourn 2002, Chant et McMurtry 2003).

5) Le bouclier ventrianal, qui peut être entier ou fragmenté, lisse ou réticulé. Il porte une paire de soies para-anales, une seule soie post-anales et plusieurs paires de soies préanales en nombre et distribution variables (ZV2, JV1, JV2, JV3). Des soies caudo-ventrales (ZV1, ZV3, JV4, JV5), en nombre variable, sont situées sur la membrane tégumentaire autour du bouclier ventrianal. Une paire de solénostomes, de forme, taille et position variable, peut ou non être présente sur le bouclier ventrianal. Les caractéristiques du bouclier ventrianal (chaetotaxie, forme, adénotaxie) sont utilisées pour différencier les espèces et les genres de la famille des Phytoseiidae (Schicha 1987, Chant et McMurtry 1994, Swirski *et al.* 1998, Kreiter et Tixier 2006, Chant et McMurtry 2007).

6) Les pattes : Les Phytoseiidae adultes ont quatre paires de pattes qui comptent chacune six segments : coxa, trochanter, fémur, genou, tibia et tarse. La chaetotaxie des genoux II et III et la présence ou absence des macrosoies essentiellement sur la quatrième paire de patte sont utilisés pour la différenciation des espèces (Evans 1953, Chant et McMurtry 1994, Swirski *et al.* 1998, Kreiter *et al.* 2003a, Chant et McMurtry 2007, Papadoulis *et al.* 2009) (Fig. 5K).

7) Les spermathèques : Les femelles présentent une paire de spermathèques ou appareil d'insémination qui ont des formes différentes (fig. 5F). Ces formes sont utilisées pour la

différenciation des espèces (Athias-Henriot 1968, Chant et McMurtry 1994, Swirski *et al.* 1998, Tixier *et al.* 2006a, Chant et McMurtry 2007).

8) Les chélicères de la femelle varient en taille et en forme, surtout le mors mobile qui porte des dents en nombre variable (Fig. 5I). La dentition des chélicères a une valeur taxonomique importante pour la différenciation des espèces (Chant et McMurtry 1994, 2007, Papadoulis *et al.* 2009). Le mors fixe peut ou non porter un *pilus dentilis* et les dents qu'il porte sont quasiment toujours postérieures au *pilus dentilis* (Swirski *et al.* 1998). Le mors mobile peut être dépourvu de dents pour certaines espèces.

2.2.2.2 La taxonomie moléculaire

L'identification et la description des espèces de Phytoseiidae sont essentiellement basées sur des caractères morphologiques. Cependant, plusieurs problèmes d'identification sont rencontrés: de nombreuses espèces ont été décrites plus d'une fois, car mal identifiées et environ 224 espèces sont considérées comme des synonymes (Moraes *et al.* 2004, Chant et McMurtry 2007; Tixier *et al.* 2012). Les problèmes de synonymie sont dus au faible nombre de caractères discriminants visibles et à l'absence de clefs d'identification actualisées pour la majorité des genres. De plus, il a été montré que les longueurs des soies portées par le bouclier dorsal, utilisées pour différencier les espèces, pouvaient parfois varier considérablement au sein d'une même espèce (Tixier *et al.* 2003, 2008). D'autre part, l'observation de certains caractères considérés parfois comme discriminants pour certains genres, comme la forme de la spermathèque, le nombre de solénostomes sur le bouclier dorsal ou le nombre de dents sur les chélicères, dépendent de la qualité du montage des spécimens. Des avis divergents sur la valeur discriminante de certains caractères se retrouvent de plus dans la littérature (Chant et McMurtry 1994). Face à ces difficultés, et compte tenu de l'importance économique de plusieurs espèces de cette famille utilisées dans des programmes de lutte, des approches basées sur l'utilisation des marqueurs moléculaires ont été récemment développées afin de lever quelques ambiguïtés concernant l'identité de certaines espèces de Phytoseiidae (Tixier *et al.* 2003, 2006a, Okassa *et al.* 2012). Ces travaux ont permis l'identification spécifique de tous les stades de développement grâce à deux marqueurs mitochondriaux (12S ARNr et Cytb mtDNA). De plus, des approches de « barcoding of life » ont été développées.

2.3 Cycle de développement et reproduction

Les Phytoseiidae présentent cinq stades de développement (Kreiter 1991) (Fig. 6). L'œuf ovale est collé par une substance adhésive à son support. Quelques jours après la ponte, l'œuf éclot. La larve hexapode peut selon l'espèce avoir une activité prédatrice pour s'alimenter ou pas (Takahashi et Chant 1992, Croft and Zhang 1994, Badii *et al.* 1999). Deux stades immatures octopodes appelés nymphes (protonymphes et deutonymphes) précèdent le stade adulte que l'on peut distinguer par la taille et la coloration du tégument. Les larves et les nymphes changent de stade après une mue qui dure en moyenne 30 minutes précédée dans certains cas par un stade inactif immobile de dix heures (Sabelis 1985).

La durée de développement varie en fonction de la température et de l'hygrométrie. Le développement optimal de la plupart des espèces de Phytoseiidae se fait à des températures de 25°C et des humidités relativement élevées comprises entre 70 et 85 % (Kreiter 2000). En conditions favorables, le développement est généralement d'une semaine mais peut durer un peu plus de 3 jours pour les espèces présentant un cycle rapide. En revanche, la durée de développement peut atteindre plus de 4 semaines en conditions nettement défavorables (Kreiter 2003a).

Chez les espèces de la famille des Phytoseiidae, la sex-ratio est dans la plupart des cas approximativement de 1/3 de mâles et 2/3 de femelles. Cependant, ce ratio peut varier en fonction des espèces, des conditions environnementales et des saisons (Chant 1959, Helle et Sabelis 1985).

La reproduction des Phytoseiidae se fait selon une pseudo-arrhénotoquie (Helle et Pijnacker 1985, Schulten 1985). L'accouplement obligatoire, est réalisé entre des femelles diploïdes et des mâles haploïdes. Tous les œufs sont fécondés chez les Phytoseiidae et, chez une partie d'entre eux, les chromosomes paternels seraient inactivés (selon un processus mal connu), donnant des mâles haploïdes (Schulten 1985). Le mâle utilise son spermatodactyle pour transférer les spermatozoaires dans les spermathèques de sa partenaire (Chant 1955). Le taux quotidien de ponte d'une femelle varie, selon les espèces et les conditions climatiques et trophiques, de 0,1 à 4,5 œufs. La fécondité totale est comprise entre 50 et 90 œufs par femelle (Kreiter *et al.* 1991).

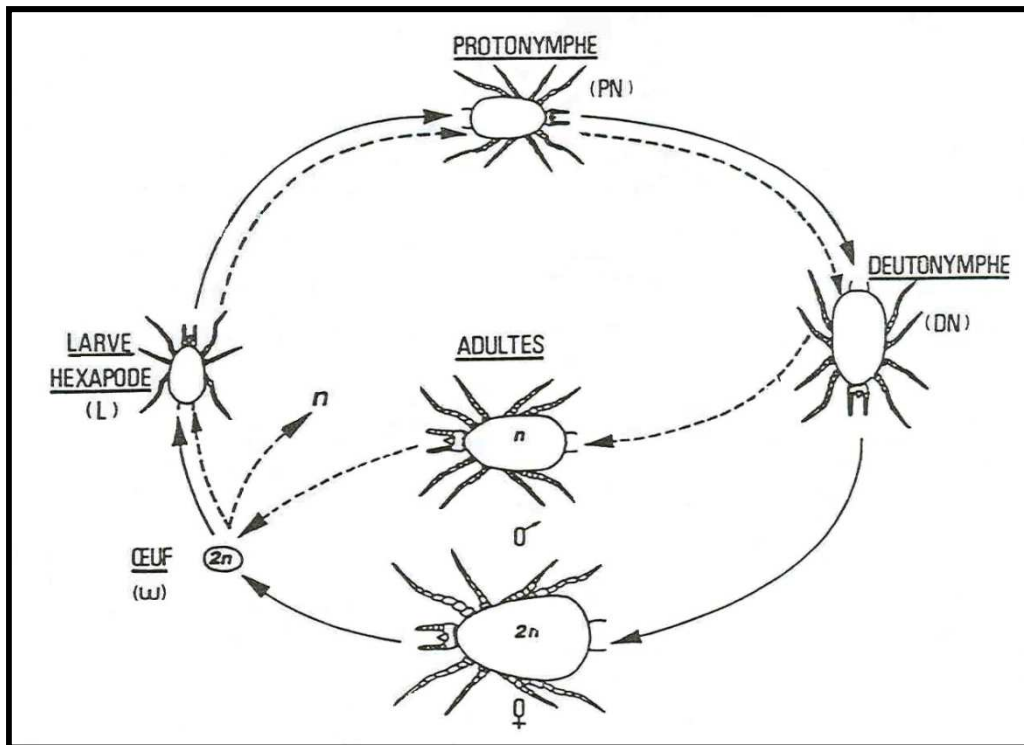


Figure 6. Cycle de développement des phytoseiides (Kreiter 1991).

2.4 Le régime alimentaire des Phytoseiidae

Les Phytoseiidae vivent sur les plantes et dans les couches supérieures de la litière du sol. La majorité des espèces de cette famille peut se nourrir d'acariens phytophages (familles des Tetranychidae, Tenuipalpidae, Eriophyidae), mais également de petits insectes (thrips, larves d'Hemiptera), de nématodes, de champignons, de pollen, d'exsudats floraux et même de tissus végétaux (Castagnoli et Simoni 1990, McMurtry 1992, Chant et McMurtry 1997, Duso *et al.* 1997, Addison *et al.* 2000, Broufas et Koveos 2000, Madinelli *et al.* 2002, Duso *et al.* 2003, Villanueva et Childers 2004, Bouras et Papadoulis 2005, Bermudez *et al.* 2010). Chant et McMurtry (1997) ont classé ces prédateurs en quatre catégories fonctionnelles selon leur préférence alimentaire, leur relation vis-à-vis des proies, leur relation à la plante support et le développement en relation avec la proie (réponses fonctionnelle et numérique).

Les prédateurs spécifiques des espèces du genre *Tetranychus* sp. (Type I)

Ces espèces se développent en consommant les différents stades des espèces du genre *Tetranychus*. Elles sont caractérisées par un développement rapide et une fécondité très élevée. Elles appartiennent toutes au genre *Phytoseiulus* Evans qui comprend quatre espèces

(Chant et McMurtry 1997), notamment l'espèce la plus utilisée en contrôle biologique *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. Ces espèces se caractérisent par la capacité de se déplacer dans les toiles tissées par les espèces du genre *Tetranychus* (Sabelis et Bakker 1992).

Les prédateurs spécialistes des espèces de la famille des Tetranychidae (Type II)

Le développement de ces espèces est optimal lorsqu'elles consomment des proies appartenant à la famille des Tetranychidae. Leur taille est plus réduite que celle des prédateurs de type I, et ils sont moins spécifiques. Leur fécondité est élevée mais reste plus faible que les prédateurs de type I. Il s'agit généralement d'espèces (une vingtaine) appartenant principalement aux genres *Galendromus* Muma et *Neoseiulus* Hughes avec quelques espèces du genre *Typhlodromus* (*Anthoseius*) De Leon. Parmi les espèces connues appartenant à ce groupe on trouve *Galendromus* (*G.*) *occidentalis* (Nesbitt) et *Neoseiulus californicus* (Mc Gregor).

Les prédateurs généralistes polyphages (Type III)

Ces espèces peuvent se développer en consommant différents types de proies (tétranyques, ériophydes, tydéides...) ainsi que du pollen, des insectes, du mycélium et des exsudats végétaux (McMurtry et Croft 1997). Le taux d'accroissement de ces prédateurs est de faible à moyen. La très grande majorité des espèces de Phytoseiidae appartient à cette catégorie. Parmi les espèces connues appartenant à ce groupe, on trouve *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) et *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *pyri* Scheuten.

Les prédateurs généralistes polliniphages (Type IV)

Le taux d'accroissement de ces espèces est souvent plus élevé quand elles consomment du pollen que des proies. La plupart, sinon toutes les espèces du genre *Euseius*, appartiennent à cette catégorie comme *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) et *Euseius scutalis* (Athias-Henriot). Ceci ne signifie pas pour autant que certaines de ces espèces ne puissent pas contrôler efficacement les pullulations de certains ravageurs.

Les Phytoseiidae généralistes ont un faible potentiel reproducteur, comparativement à des espèces spécialistes. Ces dernières sont susceptibles de se reproduire lorsque les proies sont abondantes et de se disperser efficacement lorsqu'elles sont rares. Les généralistes ont des populations plus stables dans les agrosystèmes et se dispersent moins, étant peu liés à la nécessité de rechercher des proies car consommant d'autres aliments et en moindre quantité (McMurtry et Croft 1997, Kreiter 2000).

2.5 Relations entre les Phytoseiidae et leur plante support

Les Phytoseiidae sont des acariens planticoles. De nombreuses études ont montré des relations étroites entre certaines espèces de Phytoseiidae et la plante support (Barret et Kreiter 1992, McMurtry 1992, Walter 1992, Barret et Kreiter 1995, Karban *et al.* 1995, Sabelis 1999, Kreiter *et al.* 2002b, Villanueva and Childers 2006, Tixier *et al.* 2007, Ferreira *et al.* 2008). Ainsi par exemple, une corrélation entre la structure des feuilles (nombre de trichomes, densité de pollen, nombre et structure des domaties, surface des feuilles) et les densités de *K. aberrans* a été montrée (Kreiter *et al.* 2002a, 2003). De plus, il a été démontré que cette espèce d'acarien pouvait absorber des liquides végétaux directement (Kreiter *et al.* 2002b, Tixier *et al.* 2007).

La structure des feuilles constitue en effet un des facteurs affectant le développement des Phytoseiidae (conditions microclimatiques favorables). Certaines espèces se rencontrent sur des végétaux aux feuilles pileuses alors que d'autres se retrouvent préférentiellement sur des feuilles glabres (Kreiter *et al.* 2002b).

La disponibilité du pollen au niveau des plantes dans les inter-rangs au printemps a été considérée d'une grande influence sur les augmentations de densités des Phytoseiidae dans les vergers de pommiers au Canada (Addison *et al.* 2000). Duso *et al.* (2004) ont également démontré une relation entre la disponibilité du pollen et l'abondance des Phytoseiidae dans les vignobles italiens.

Les plantes influencent la densité et la diversité des Phytoseiidae en leur servant de refuge ou des sites d'hivernation. Tanigoshi *et al.* (1983) ont constaté que la végétation sous les pommiers favorisait la survie de *Neoseiulus fallacis* (Garman) pendant l'hiver. Nyrop *et al.* (1994) ont constaté, à leur tour, que dans des vergers de pommiers du Massachusetts, un nombre important de *N. fallacis* hivernait aussi sur les arbres.

Des études effectuées en Chine ont montré que la présence d'*Ageratum conyzoides*, herbe envahissante présente dans la région du sud de l'Asie, peut favoriser le développement des acariens prédateurs ennemis de l'acarien phytophage *P. citri* (Liang *et al.* 1994). En effet, la présence de cette plante dans les vergers d'agrumes a permis d'augmenter les densités de l'acarien prédateur : *Amblyseius newsami* (Evans), ce qui a permis de maintenir le ravageur à des effectifs assez faibles (Kong *et al.* 2005).

2.6 La dispersion des Phytoseiidae

La dispersion des Phytoseiidae se fait par voies aérienne et ambulatoire ou, alors, par phorésie (transport par les animaux) (Sabelis et Dicke 1985). La dispersion dépend des caractéristiques propres à chaque espèce, des conditions abiotiques (température, hygrométrie, luminosité) ou biotiques du milieu (rapport entre les ressources alimentaires disponibles et les exigences du prédateur) (Schausberger 1998).

Certaines études ont montré, grâce à l'utilisation des pièges et des analyses moléculaires, que la dispersion se fait par voie aérienne (Tixier *et al.* 1998, 2000, 2006b) et ceci d'une manière aléatoire, le vent en étant le vecteur principal. Il semblerait que ce soit la principale voie de colonisation des agrosystèmes pérennes comme les parcelles de vigne ou d'arbres fruitiers, à partir des habitats les plus proches (Tixier *et al.* 2000, Jung et Croft 2001). D'autres études ont montré que le déplacement aérien de *Galendromus (G.) occidentalis* (Nesbitt) se fait sous des conditions climatiques bien déterminées (humidité relative et vitesse du vent élevées et températures basses) (Hoy *et al.* 1984, 1985). Dunley et Croft (1990) ont conclu que de nombreux facteurs influencent la colonisation de nouveaux habitats par les Phytoseiidae. Ceci pourrait être impliqué dans la réussite du contrôle biologique des acariens phytophages.

La dispersion par voie ambulatoire permet aux acariens prédateurs de se déplacer sur de faibles distances principalement au sein des parcelles cultivées. Plusieurs études ont été réalisées pour caractériser les mouvements des Phytoseiidae à l'intérieur et autour des arbres. Johnson et Croft (1981) ont étudié la dispersion ambulatoire de l'acarien prédateur *N. fallacis* dans les vergers de pommier du Michigan. Ils ont constaté que les femelles adultes hivernent sur adventices, et se nourrissent des acariens phytophages s'y trouvant pour migrer ensuite de la couverture herbacée vers les arbres. Plusieurs facteurs peuvent influencer la dispersion ambulatoire des Phytoseiidae, comme la densité de proies sur les arbres (Johnson et Croft 1981), la couverture du sol (Nyrop *et al.* 1994, Stanyard *et al.* 1997) et certaines conditions climatiques (Dunley et Croft 1990). De même, il a été démontré que la disponibilité de la nourriture et les températures élevées sont deux facteurs importants qui peuvent agir sur la vitesse de dispersion ambulatoire de l'espèce *N. californicus* (Auger *et al.* 1999).

2.7 . Utilisation en lutte biologique

La lutte biologique peut s'effectuer sous différentes formes: celle impliquant de nouvelles introductions par des lâchers (inondatifs ou inoculatifs) d'ennemis naturels directement dans les parcelles ou encore celle basée sur la valorisation des habitats afin de conserver et d'augmenter les populations des ennemis naturels déjà présentes dans l'écosystème agricole (Hodek et Honek 1996).

2.7.1 Lutte biologique par lâchers

Plusieurs synthèses ont fait le point sur les perspectives d'emploi des acariens Phytoseiidae en lutte biologique (Huffaker *et al.* 1970, McMurtry 1982). La lutte biologique classique peut avoir lieu soit par l'utilisation de prédateurs importés de la zone d'origine du ravageur (lutte biologique par acclimatation) ou alors par l'augmentation de la densité des espèces déjà présentes (lutte par augmentation).

2.7.1.1 Lutte par acclimatation

La première stratégie « lutte par acclimatation » est souvent très longue et coûteuse. De plus, l'acclimatation de ces ennemis naturels dans un nouvel écosystème n'est pas garantie, bien qu'elle s'avère indispensable dans le cas de la lutte contre un nouveau ravageur introduit sans son cortège d'ennemis naturels. L'exemple le plus connu est celui de l'acarien vert du manioc *Mononychellus tanajoa* (Boundar), introduit accidentellement à partir de l'Amérique du sud sur le continent africain et décelé dans les années 1970 (Yaninek *et al.* 1989). Pour limiter les dégâts causés par cette espèce nuisible, une importation d'ennemis naturels du ravageur a été effectuée à partir de son aire d'origine. Parmi le cortège des espèces importées, une espèce *Typhlodromalus aripo* De Leon s'est très bien installée et a permis d'éradiquer le problème de l'acarien vert du Manioc (Yaninek et Hanna 2003).

2.7.1.2 Lutte par augmentation inondative ou inoculative

Dans les lâchers inondatifs, une grande quantité de prédateurs est introduite pour réguler des densités de proies importantes, alors que dans les lâchers inoculatifs, une petite quantité de prédateurs est introduite pour permettre une régulation à long terme et préventive des ravageurs (Kreiter *et al.* 2000a). Parmi les prédateurs largement utilisés en lutte biologique, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (prédateur de Type I) est connu pour ces capacités

prédatrices et sa grande spécificité alimentaire vis-à-vis des espèces du genre *Tetranychus* (McMurtry et Croft 1997). Les caractéristiques de développement et de prédation de *P. persimilis* en font un auxiliaire de choix pour lutter contre *T. urticae* en serres (Escudero et Ferragut 2005). En effet, son taux de croissance est plus élevé que celui de sa proie ce qui le rend théoriquement capable de la contrôler (Nihoul *et al.* 1992).

D'autres espèces, de type II (McMurtry et Croft 1997) sont aussi utilisées dans des stratégies de lutte biologique par augmentation inondative à travers le monde notamment dans les cultures sous serre (Zhang 2003). C'est par exemple le cas de certaines espèces du genre *Amblyseius* (Berlese), qui font preuve de capacités prédatrices plus modérées et d'un plus grand éclectisme alimentaire que *P. persimilis* (Amano et Chant 1977). Ainsi, *Amblyseius andersoni* (Chant) présente l'avantage sur *P. persimilis* de pouvoir subsister dans une culture après la quasi-disparition des tétranyques. Dès lors, des introductions préventives peuvent être envisagées dans l'optique d'établir un contrôle du ravageur dès son apparition (Nihoul *et al.* 1992). Des espèces comme *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) et *Iphiseius degenerans* (Berlese) ont été également utilisées dans des stratégies de lutte biologique par augmentation inondative pour lutter contre les thrips sous serre (Zhang 2003).

Les espèces plus généralistes de types III et IV, bien que plus abondantes dans la nature, restent les moins étudiées du fait des difficultés rencontrées, soit durant les élevages, soit durant les lâchers. Leur rôle reste pour autant essentiel et préventif contre les pullulations d'acariens ravageurs (McMurtry 1992). L'utilisation de ces espèces peut être pratiquée par augmentation inoculative (McMurtry et Croft 1997). Ils ont une action significative pour de faibles densités de proies et peuvent se maintenir durablement après les introductions, même en absence de proies (Kreiter *et al.* 2000). Des études ont montré l'efficacité de quelques espèces comme *K. aberrans*, *T. pyri* et *Euseius finlandicus* (Oudemans) pour contrôler diverses espèces d'acariens phytophages dans les vergers et les vignobles (Schausberger 1998).

2.7.2 Lutte biologique par la gestion et la conservation des habitats non cultivés au sein des agrosystèmes

Le contrôle naturel des ravageurs des cultures peut impliquer une gestion de l'environnement permettant d'augmenter la fertilité et la viabilité des ennemis naturels en mettant à leur disposition des refuges en cas de perturbations de leur habitat d'origine (Landis *et al.* 2000).

Les habitats non cultivés telles que les zones boisées adjacentes aux cultures, les haies, les bordures de champs sont des habitats relativement permanents et peu perturbés servant de ressources à plusieurs ennemis naturels (Tschardt *et al.* 2005). Plusieurs auteurs ont montré la présence des Phytoseiidae dans les zones boisées adjacentes aux cultures et des zones non cultivées ainsi que l'influence positive de la végétation spontanée sur l'abondance et la diversité des Phytoseiidae dans les parcelles de vigne voisines (Duso *et al.* 1993, Tixier *et al.* 2000, Barbar *et al.* 2005). Tuovinen et Rokx (1991) et Tuovinen (1994) ont noté que la végétation adjacente aux vergers de pommiers en Finlande avait un effet sur la densité et la composition spécifique des phytoséiides. Il est donc possible d'aménager ou de préserver des habitats naturels, comme des bordures de champs, pour maintenir l'abondance et la diversité des acariens phytoséiides (Tixier *et al.* 1998).

Récemment, des recherches se sont intéressées à la lutte biologique par gestion des habitats à l'intérieur même des vergers arboricoles, en étudiant les effets de différentes techniques de gestion que ce soit sur les acariens phytophages que sur les espèces de Phytoseiidae associées. Plusieurs travaux ont ainsi été réalisés pour étudier l'effet de la gestion de l'enherbement sur la dispersion des acariens phytophages vers les arbres; ils ont montré que cette migration est favorisée par la présence de quelques plantes dans les vergers favorables à ces phytophages (Meagher and Meyer 1990, Flexner *et al.* 1991, Kreiter *et al.* 1991, Alston 1994 Aucejo *et al.* 2003). De plus l'utilisation d'herbicides a favorisé la migration des Tetranychidae du sol vers les arbres (Flexner *et al.* 1991, Alston 1994, Hardman *et al.* 2005, 2011).

Concernant les Phytoseiidae, des études ont montré que la gestion de l'enherbement agit sur la diversité et l'abondance des Phytoseiidae dans les vergers d'agrumes que ce soit par l'utilisation de plantes de couverture ou bien par le désherbage (Pereira *et al.* 2006, Aguilar-Fenollosa *et al.* 2008, 2011, Mailloux *et al.* 2010). Quelques auteurs ont montré un effet positif de l'utilisation de quelques plantes de couverture dans les vergers d'agrumes pour améliorer la diversité des Phytoseiidae comme *Neonotonia wightii* (Wight & Arn.) Verdc. (Mailloux 2010) et *Festuca arundinacea* Schreb. (Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011). D'autres ont

montré un effet positif de la diversification des plantes dans les inter-rangs par l'augmentation de la diversité des Phytoseiidae (Alston 1994, Coli *et al.* 1994, Nyrop *et al.* 1994, Tuovinen 1994, Stanyard *et al.* 1997). L'effet négatif de l'utilisation des herbicides sur les phytoséiides dans les vergers a été démontré dans plusieurs travaux (Rock and Yeargan 1973, Hilsop and Prokopy 1981, Kreiter *et al.* 1993, Pereira *et al.* 2006, Mailloux *et al.* 2010). Cependant, ces recherches restent insuffisantes et très peu de données sont disponibles sur les effets de la gestion de l'enherbement à l'intérieur de la parcelle sur la diversité des Phytoseiidae et notamment sur les échanges qui s'effectuent entre la strate herbacée au niveau du sol et les arbres.

Conclusion

Les éléments de bibliographie présentés dans ce chapitre conduisent au constat que, si on considère l'importance du secteur agrumicole en Tunisie, et l'importance prouvée des espèces de Phytoseiidae dans la lutte biologique contre plusieurs ravageurs de cette culture, il est nécessaire de connaître l'effet des pratiques agricoles sur les espèces de cette famille. De plus, vu le lien particulièrement étroit entre ces prédateurs et leurs plantes supports, il est intéressant d'étudier en particulier les effets des techniques de gestion de l'enherbements les plus pratiquées par les agrumiculteurs tunisiens sur la diversité et l'abondance de cette famille.

Cependant avant de commencer à travailler sur la caractérisation des effets des pratiques agricoles, il est apparu tout d'abord nécessaire de déterminer les espèces de Phytoseiidae présentes dans les vergers d'agrumes tunisiens, ceci afin de caractériser quelles étaient les espèces les plus importantes, pouvant avoir un intérêt dans le contrôle biologique des acariens phytophages. Ceci est l'objet d'une étude présentée dans le Chapitre 3 ci-après.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. MONTAGE ET IDENTIFICATION DES ACARIENS COLLECTES

Pour répondre aux objectifs mentionnés, des échantillonnages sur le terrain et des expérimentations ont été réalisés. Les mêmes techniques d'extraction des acariens ont été utilisées pour tous les travaux effectués. C'est pourquoi nous décrivons ici cette méthodologie générique suivie au cours de la thèse.

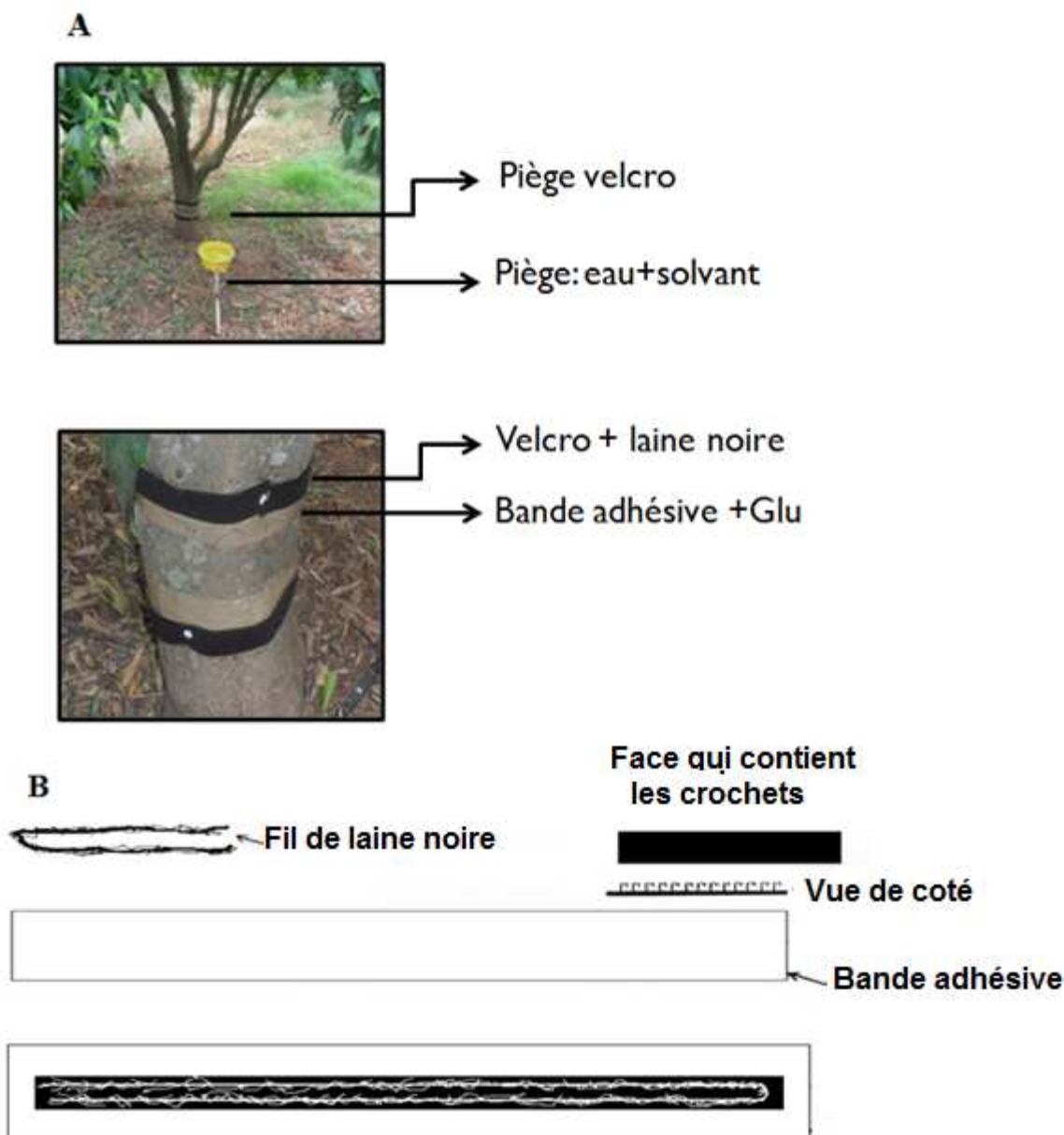
Tout le matériel végétal collecté durant les échantillonnages (30 feuilles de citrus et 2 litres de plantes adventices collectés au hasard) a été transporté séparément dans des glacières au laboratoire pour l'extraction des acariens. L'extraction des acariens à partir des feuilles de citrus a été réalisée à l'aide d'un pinceau fin et à partir des adventices par la méthode de frappage suivie par 'trempage-rinçage-agitation-filtration'. Tous les acariens Phytoseiidae et Tetranychidae ont été comptés mais seulement les acariens phytoséiides ont été montés entre lame et lamelle dans le milieu d'Hoyer et identifiés. Environ 5 000 individus ont été extraits durant cette thèse et identifiés grâce aux concepts génériques de Chant et McMurtry (2007) et aux clés spécifiques de Ferragut *et al.* (2009) et de Papadoulis *et al.* (2009).

2. DISPOSITIFS DE PIEGEAGE

Deux types de pièges ont été utilisés au cours de deux expérimentations réalisées dans cette thèse :

- **Des pièges aériens** étaient constitués de bassines remplies d'eau avec une goutte de mouillant et placées sous les arbres. Ces pièges ont été utilisés dans les articles 4 et 5. Le but de ces pièges était de déterminer si des Phytoseiidae se dispersaient par voie aérienne des arbres vers la strate herbacée. L'eau dans ces bassines a été filtrée hebdomadairement afin de récupérer les acariens (Fig. 7A).

- *Des pièges ambulatoires* étaient constitués de deux bandes velcro® séparées par deux bandes de glu et placées sur les troncs des arbres (Koike *et al.* 2000). La bande de velcro® située le plus en hauteur visait à capturer les Phytoseiidae descendant des arbres, tandis que la bande de velcros située le plus en bas (50 cm du sol) visait à capturer les Phytoseiidae montant dans l'arbre (Fig. 7B). Chaque semaine ces bandes sont récupérées et les acariens comptés et prélevés à l'aide d'un pinceau. Ce même dispositif a été utilisé pour les deux articles 4 et 5.



Figures 7. Schéma des pièges velcro® utilisés : **A** - systèmes de piégeages utilisés, aérien et ambulatoire, **B** - détails du piège ambulatoire (Koike *et al.* 2000)

3. ANALYSE DES DONNEES ET INDICES DE BIODIVERSITE EMPLOYES

Les Indices d'évaluation de la diversité

La diversité d'une communauté est fonction aussi bien du nombre de taxa (richesse spécifique) que de la régularité avec laquelle les individus sont distribués parmi ces taxa (équitabilité) (Peet 1974). Nombreuses fonctions mathématiques ont été proposées pour mesurer la diversité mais aucun indice de diversité à lui seul n'est complètement efficace pour décrire exhaustivement la structure des communautés. Afin de mesurer la diversité dans les vergers étudiés, nous avons choisi d'utiliser les indices décrits dans les paragraphes suivants.

- **La richesse spécifique**

La mesure de l'indice de richesse spécifique consiste à recenser le nombre d'espèces contenues dans chaque échantillon. Cet indice décrit la diversité des espèces au sein d'un échantillon mais ne tient pas compte de l'importance des espèces les unes par rapport aux autres.

- **L'indice de diversité de Simpson**

L'indice de Simpson est un indice qui tient compte de la richesse spécifique et de la distribution de ces espèces dans l'échantillon. Il mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce (Simpson 1949). Cet indice peut en revanche sous-estimer la diversité dans un échantillon en cas de dominance d'une espèce par rapport aux autres. C'est donc la raison pour laquelle nous avons basé nos interprétations sur la combinaison de l'analyse de richesse spécifique et de l'indice de Simpson de formule

$$D = \sum Ni(Ni-1)/N(N-1)$$

N_i : nombre d'individus de l'espèce donnée

N : nombre total d'individus

Lorsque cet indice est égal à 0, la diversité est maximale; lorsqu'il est égal à 1, la diversité est minimale. L'utilisation de la formule 1-D a été choisie pour faciliter les interprétations.

Indice d'équitabilité

L'indice d'équitabilité de Pielou (Pielou 1969) a été utilisé pour mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une espèce) à 1 (équi-répartition des individus dans les espèces). Cet indice est lié à l'indice de Shannon-Weaver et sa formule est la suivante :

$$J' = H'/H'_{max}$$

$H'_{max} = \log S$ (S= nombre total d'espèces)

H' : indice de Shannon-Weaver

$$H' = - \sum ((N_i / N) * \log_2(N_i / N))$$

N_i : nombre d'individus d'une espèce donnée, i allant de 1 à S (nombre total d'espèces).

N : nombre total d'individus.

Indices de comparaison de la diversité

L'indice qui a été choisi pour comparer la diversité de deux milieux différents est l'indice de similarité de Jaccard. Cet indice caractérise le degré de similarité entre deux listes d'espèces. Il se calcule en divisant le nombre d'espèces communes aux deux relevés par le nombre total d'espèces présentes (Jaccard 1912).

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Pour le calcul des indices de diversité, le logiciel *PAST* (Paleontological Statistic, version 2.4) (Hammer *et al.* 2001) a été utilisé.

CHAPITRE III-

DIVERSITE DES PHYTOSEIIDAE DANS LES AGROSYSTEMES AGRUMICOLES TUNISIENS

1. INTRODUCTION

Pendant longtemps, une seule espèce de Phytoseiidae, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, était signalée de Tunisie (région de Gafsa, par Rambier en 1972). Kreiter *et al.* (2011) font état de résultats de collectes conduites entre 1994 et 2008 dans plusieurs régions agricoles de Tunisie (Nord, Centre Ouest, Cap-Bon, Bizerte, Sahel, Sud...), dans plusieurs cultures : légumes sous serres, vergers de pommiers, d'agrumes, vignes, oliviers, palmier dattier, plantes ornementales, etc., et dans les plantes adventices associées à ces cultures.

Vingt-sept espèces de Phytoseiidae ont été identifiées, parmi lesquelles une nouvelle espèce appartenant à un nouveau genre. Sur ces vingt-sept espèces, douze ont été trouvées sur les arbres en vergers d'agrumes : *Graminaseius graminis* (Chant), *E. scutalis*, *E. stipulatus*, *Iphiseius degenerans* (Berlese), *N. californicus*, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, *Phytoseius finitimus* Ribaga, *Typhlodromus (Anthoseius) foenilis* Oudemans, *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides* Athias-Henriot, *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanus* Oudemans, *Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus* Ragusa et *Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus* Athias-Henriot, la majorité de ces espèces ayant été collectées dans la région agrumicole du Cap Bon.

Bien que ces prospections aient considérablement enrichi les connaissances de la faune des Phytoseiidae en Tunisie, elles restent insuffisantes, surtout si on compare avec les pays voisins comme le Maroc (47 espèces connues) et l'Algérie (53 espèces connues) (Kreiter *et al.* 2004). Des efforts d'échantillonnages restent donc à fournir pour mieux caractériser la faune tunisienne, plusieurs régions de Tunisie n'ayant pas fait l'objet d'échantillonnages approfondis.

2. DIVERSITE DES PHYTOSEIIDAE DANS LES VERGERS AGRUMICOLES TUNISIENS

Des prospections ont été réalisées dans des vergers de citrus tunisiens, à la fois sur les arbres mais aussi dans l'environnement végétal qui entoure les agrumes (adventices, brise-vents, haies, cultures intercalaires). Quarante-six parcelles ont été échantillonnées: 23 parcelles situées dans la région du Cap Bon (qui est la région la plus importante si on considère qu'elle couvre environ 75 % de la superficie agrumicole totale), 8 parcelles à Tunis (Mornag, Sidi Thabet et Ariana), 6 parcelles à Bizerte, 7 parcelles dans le nord-ouest (Béja et Jandouba), une parcelle à Sousse et une dernière parcelle à Kairouan.

Ce travail a permis d'établir un catalogue des espèces de Phytoseiidae sur les agrumes en Tunisie. De plus, quelques informations sur leur biogéographie et leur biologie quand elles étaient disponibles, ont été données. Enfin, une clé d'identification de toutes les espèces de Phytoseiidae trouvées en Tunisie jusqu'à présent (38 espèces appartenant à 17 genres) a été élaborée.

Les résultats de ces travaux figurent dans l'article 1 suivant.

3. ARTICLE 1

**Article 1- Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of Tunisian citrus orchards:
Catalogue, biogeography and key for identification** (Acarologia, a paraître en
décembre 2012)

Hajer Sahraoui^{1,2*}, Kaouthar Lebdi Grissa¹, Serge Kreiter², Martial Douin² and Marie-
Stéphane Tixier²

1- Institut National Agronomique de Tunisie, Laboratoire de protection des plantes. 43, Avenue Charles Nicolle
1082 -Tunis- Mahrajène, Tunisie.

2- Montpellier SupAgro, Unité Mixte de Recherche CBGP (INRA/ IRD/ CIRAD/ SupAgro), Campus
International de Baillarguet, CS 30 016, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex, France.

* **Corresponding author to whom correspondence should be sent:** tixier@supagro.inra.fr

Abstract — This study presents the results of a survey aimed to determine the species composition of phytoseiid mites both on citrus trees, grasses within inter-rows and on conifers planted as break winds around citrus orchards. This survey was carried out in forty six citrus orchards in the main citrus growing regions of Tunisia, from September 2009 to August 2011. Twenty six species belonging to ten genera were found among which eleven are new for the Tunisian fauna. This paper provides a catalogue of all these species, with some information on their biogeography and biology when available. In Addition, a key for the identification of all the species found in Tunisia until now (38 species belonging to 17 genera) is given.

Key-words — Phytoseiid mites; citrus; Tunisia; biodiversity; survey

Introduction

Mites of the family Phytoseiidae (Mesostigmata) have been extensively studied for their potential as biological control agents of phytophagous mites (McMurtry and Croft, 1997). Several species are currently used for bio-control of mite and insect pests in several crops all over the world (McMurtry and Croft, 1997). About 2,300 phytoseiid species belonging to 90 genera have been described in this family (Chant and McMurtry, 2007). However, the fauna of all countries has not been equally surveyed (Tixier *et al.*, 2012). Until very recently, only few species were reported from Tunisia (Kreiter *et al.*, 2010). For a long time, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot was the unique species reported from this country (Gafsa, South of Tunisia) (Rambier, 1972), and many works referring to phytoseiids from Tunisia have been

recently initiated (Kreiter *et al.*, 2002, 2004, 2006, 2010). A synthesis of the surveys carried out during 15 years (between 1994 and 2008) in the main crops and surrounding vegetation was reported by Kreiter *et al.* (2010): 27 species of phytoseiid mites belonging to 14 genera are now recorded. Among them, twelve species were identified on citrus trees (table 1). Despite these progresses, additional studies are still necessary in order to evaluate properly the diversity of Phytoseiidae species in Tunisian ecosystems, especially in crops in order to exploit their predatory potential for biological control applications.

The present paper aims to better accurately characterize the phytoseiid mite diversity in a wide range of citrus plots, located in different growing areas, sampled on several varieties at different seasons.

Material and Methods

A survey of phytoseiid mites was carried out from September 2009 to August 2011, in 46 citrus orchards in the most important productive regions of Tunisia: twenty three orchards are situated in Cap Bon which is the most important citrus productive region (with a surface of about 75 % of the total citrus surface), eight orchards in Tunis (Mornag, Sidi Thabet and Ariana), six orchards in Bizerte, seven in the North West (Béja and Jandouba), one orchard in Sousse and one orchard in Kairouan (Fig. 1). One hundred and eight samplings have been carried out in the 46 selected orchards: for each sampling, collections were carried out on citrus trees, uncultivated weeds in inter-rows and break winds trees. Samples of each plant were individually bagged in plastic bags and transported the same day in freezing boxes to the laboratory for mite extraction.

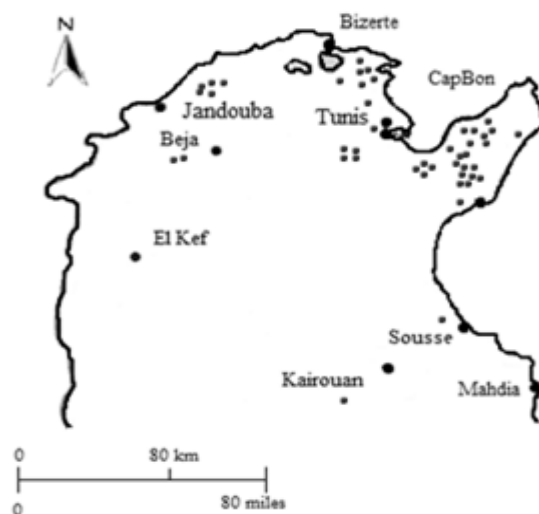


Figure 1. Geographical distribution of the sampled orchards in Tunisia

Mites were extracted from leaves using a fine hair brush and were preserved in 70 % ethanol. They were then mounted on slides using Hoyer's medium (Gutierrez, 1985) and identified using a phase contrast microscope. The generic classification of Chant and McMurtry (2007) was used for identification. Other more specific literature was used for species determination (Ferragut *et al.*, 2009; Papadoulis *et al.*, 2009).

Results

A total of 2,759 individuals (adults) of phytoseiid mites were identified from citrus trees and associated uncultivated plants in the 46 Tunisian orchards considered. Twenty-six phytoseiid species belonging to 10 genera were found, fifteen of them being already known and eleven are new species for Tunisia (Table 2). Among them six were found on citrus trees (Table 1), the others on weeds and conifers. First, we will present the twenty six species presently found in citrus agrosystems. Some biological data are given when available and helpful for biological control applications, the current geographic distribution of species are from Moraes *et al.* (2004) and Papadoulis *et al.* (2009). Data on the species previously recorded in Tunisia are from Kreiter *et al.* (2010). Then, a key of all the species of Phytoseiidae known from Tunisia is provided.

Table 1: Phytoseiidae species reported on citrus trees in Tunisia in Kreiter *et al.* (2010) and those presently recorded.

Species	Sub-family	
<i>Graminaseius graminis</i> (Chant)	Amblyseiinae	(Kreiter <i>et al.</i> 2010)
<i>Euseius scutalis</i> (Athias-Henriot)	Amblyseiinae	
<i>Euseius stipulatus</i> (Athias-Henriot)	Amblyseiinae	
<i>Iphiseius degenerans</i> (Berlese)	Amblyseiinae	
<i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor)	Amblyseiinae	
<i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot	Amblyseiinae	
<i>Phytoseius finitimus</i> (Ribaga)	Phytoseiinae	
<i>Typhlodromus (Anthoseius) foenilis</i> (Oudemans)	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides</i> Athias-Henriot	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (Anthoseius) rhenanus</i> (Oudemans)	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus</i> Ragusa	Typhlodrominae	New records
<i>Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus</i> Athias-Henriot	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (Typhlodromus) setubali</i> (Dosse)	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (T.) ernesti</i> (Ragusa and Swirski)	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (Anthoseius) yasminae</i> (Faraji)	Typhlodrominae	
<i>Typhlodromus (Anthoseius) pegazzani</i> Ragusa and Swirski	Typhlodrominae	
<i>Paraseiulus talbii</i> (Athias-Henriot)	Typhlodrominae	
<i>Proprioseiopsis bordjelaini</i> (Athias-Henriot)	Amblyseiinae	

Table 2: Phytoseiidae species presently observed and their geographical distribution in the sampled citrus orchards (the species in bold characters are new for the Tunisian fauna)

	Bizerte (Azib, Alia, Ras Jbel)	Grand-Tunis (Morneg, Ariana Sidi Thabèt, Khlidia)	Cap bon (Takelsa, Menzel Bouzelfa, Grombalia, Bouargoub, Slimen, Bni Khaled, Hammamet)	North West (Jandouba-Beja)
<i>E. stipulatus</i>	×	×	×	
<i>E. scutalis</i>		×		
<i>N. californicus</i>	×	×	×	
<i>N. cucumeris</i>		×		
<i>N. longilaterus</i>		×	×	
<i>N. barkeri</i>	×		×	
<i>N. alpinus</i>			×	×
<i>N. paspalivorus</i>		×		
<i>N. bicaudus</i>			×	
<i>P. persimilis</i>	×	×	×	
<i>I. degenerans</i>	×	×	×	
<i>T. phialatus</i>	×	×	×	×
<i>T. exhilaterus</i>	×	×	×	
<i>T. pegazzani</i>		×		
<i>T. ernesti</i>		×		
<i>T. setubali</i>		×		
<i>P. talbii</i>	×	×	×	
<i>A. foenelis</i>	×	×	×	
<i>A. yasminae</i>	×	×	×	
<i>A. athenas</i>		×	×	×
<i>A. rhenanoides</i>	×	×	×	
<i>A. recki</i>	×			
<i>G. graminis</i>			×	
<i>P. bordjelaini</i>			×	
<i>A. meridionalis</i>		×		
<i>A. obtusus</i>			×	

Species of Phytoseiidae mites presently observed in citrus agrosystems

Sub-family Amblyseiinae

1. Graminaseius graminis (Chant)

Amblyseius graminis Chant 1956: 34.

Typhlodromus (Amblyseius) graminis Chant 1959: 89.

Amblyseius (Typhlodromus) graminis (Chant) Muma 1961: 287.

Typhlodromus (Typhlodromus) graminis (Chant) Westerboer and Bernhard 1963: 636.

Amblyseius (Amblyseius) graminis (Chant) Wainstein 1973: 178; Wainstein 1975: 920; Wainstein 1977: 1415; Ueckermann and Loots 1988: 132.

Neoseiulus graminis (Chant) Moraes *et al.* 1986: 81.

Graminaseius graminis (Chant) Chant and McMurtry 2007: 85.

Distribution: Algeria, Armenia, Australia, Azerbaijan, Denmark, England, France, Germany, Greece, Moldova, Morocco, Norway, Poland, Russia, Spain, Turkey, Ukraine, and USA.

Previous records from Tunisia: Cap Bon region- July 2006 on *Citrus* sp. (lemon, navel and orange).

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): December- 1 ♀ on *Citrus* sp.; March- 1 ♀ on *Malva* sp.; June and July-7 ♀ on *Hordeum murinum*.

2. *Amblyseius obtusus* (Koch)

Zercon obtusus Koch 1839: 13; Canestrini and Fanzago 1876: 130-141; Oudemans 1930: 71.

Seius obtusus (Koch) Berlese 1889: 7.

Amblyseius obtusus (Koch) Berlese 1914: 144; Athias-Henriot 1957: 340; Livshitz and Kuznetsov 1972: 23, Wainstein and Shcherbak 1972: 35; Moraes *et al.* 1986: 24; Papadoulis and Emmanuel 1997: 22; Chant and McMurtry 2007: 80.

Typhlodromus obtusus (Koch) Chant 1957a: 306; Karg 1960: 443.

Typhlodromus (Amblyseius) obtusus (Koch) Chant 1959: 90.

Amblyseius (Amblyseius) obtustus (Koch) Muma 1961: 287; Ehara 1966: 22; Wainstein 1973: 178; Wainstein 1975: 916; Ueckermann and Loots 1988: 68; Denmark and Muma 1989: 7.

Distribution: Algeria, Armenia, Canada, Czech Republic, England, France, Greece, Germany, Hawaii, Hungary, Italy, Moldova, Morocco, Norway, New Zealand, Pakistan, Poland, Russia, Spain, Sweden, Turkey, USA, Ukraine and Venezuela.

Specimens examined: Takelsa (Cap Bon): March- 1 ♀ on *Malva* sp.; April- 2 ♀ and 1 ♂ on *H. murinum*.

This is the first record of this species in Tunisia.

3. *Amblyseius meridionalis* (Berlese)

Amblyseius obtustus var. *meridionalis* Berlese 1914: 144.

Amblyseius meridionalis Berlese; Athias-Henriot 1958b: 32; Athias-Henriot 1966: 203; Wainstein and Shcherbak 1972: 35; Livshitz and Kuznetsov 1972: 22; Chant and Yoshida-Shaul 1978: 1062; Kolodochka and Sklyar 1981: 103; Moraes *et al.* 1986: 21; Papadoulis and Emmanuel 1993: 321; Moraes *et al.* 2004: 37; Chant and McMurtry 2007: 80.

Typhlodromus (Amblyseius) meridionalis (Berlese) Chant 1959: 85.

Amblyseius (Amblyseius) meridionalis (Berlese) Muma 1962: 23.

Typhlodromus (Typhlodromus) meridionalis (Berlese) Westerboer and Bernhard 1963: 690.

Amblyseius (Pauciseius) meridionalis (Berlese) Denmark and Muma 1989: 131.

Distribution: Algeria, Azerbaijan, Canada, Germany, Greece, Hungary, Italy, Morocco, Poland, Spain, Switzerland and Ukraine.

Specimens examined: Boumhal (Tunis): June 2011- 1♀ on *Convolvulus sp.*

This is the first record of this species in Tunisia.

4. *Proprioseiopsis bordjelaini* (Athias-Henriot)

Amblyseius bordjelaini Athias-Henriot 1966:193.

Distribution: Spain, Canary Islands, Algeria and Morocco.

Specimens examined: Takelsa (Cap Bon), December: 1♀ on *Citrus sp.*

This is the first record of this species in Tunisia.

5. *Euseius scutalis* (Athias-Henriot)

Typhlodromus scutalis Athias-Henriot 1958a: 183.

Amblyseius scutalis Athias-Henriot 1960a: 297.

Amblyseius (Amblyseius) scutalis Muma 1961: 288.

Amblyseius (Typhlodromus) scutalis Ueckermann and Loots 1988: 109.

Distribution: Algeria, Canary Islands, Cape Verde, Ghana, Egypt, Greece, India, Iran, Israel, Italy, Jordan, Lebanon, Morocco, Pakistan, South Africa, Spain and Turkey.

Previous records from Tunisia: this is a wide spread species in Tunisia, recorded in several orchards (citrus, vineyards, ornamental plants, fruit trees, wild cover).

Additional records from Tunisia: INAT (Tunis) (Institut National Agronomique de Tunisie), June: 1♀ on *Citrus sp.*

Biology: *Euseius scutalis* was described from Algeria by Athias-Henriot (1958). This species can be reared on pollen (Alshammeri, 2011) and was recorded as a predator of *Panonychus citri* (Mc Gregor) in citrus orchards (McMurtry, 1969, 1977; Kasap and Ekerog, 2004). *Euseius scutalis* has also been reported as a biological control agent of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Nomikou *et al.*, 2003; Dale and Donald, 1986).

6. *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot)

Amblyseius stipulatus Athias-Henriot 1960a: 294.

Amblyseius (Amblyseius) stipulatus Ueckermann and Loots 1988: 110.

Euseius stipulatus (Athias-Henriot) Ferragut *et al.* 1985: 225; Chant and McMurtry 2005: 216; 2007: 123

Distribution: Algeria, Canary Islands (Spain), France, Greece, Italy, Montenegro, Morocco, Portugal, Tunisia, Turkey, and former Yugoslavia

Previous records from Tunisia: recorded in many regions in the Cap Bon, Mateur (North region), Sousse (Sahel region), on *Citrus* sp. and *M. domestica* and in Degache (South): July 2005 on *Olea europea*.

Additional records from Tunisia: Tekelsa (Cap Bon): all the year- 343♀ and 39♂ on *Citrus* sp.; February, April and June- 129♀ and 60♂ on *Acalypha rhomboidea*; March- 2♀ and 3♂ on *Mercurialis annua*; April- 2♀ and 5♂ on *U. dioica*; April, May and June- 9♀ on *Solanum nigrum*; April- 5♀ on *Conyza canadensis*; May and July- 3♀ on *Cupressus* sp.; March- 1♀ on *Chrysanthemum* sp., June- 3♀ on *H. murinum*, April- 13♀ and 1♂ on *Convolvulus* sp.; March- 3♀ and 4♂ on *Amaranthus retroflexus*; Alia and Ras ejbal (Bizerte): March, April and May- 80♀ and 28♂ on *Citrus* sp.; April- 7♀ and 1♂ on *A. retroflexus*; March- 1♀ on *M. annua*; May- 1♀ on *S. nigrum*; May- 2♀ and 2♂ on *Cupressus* sp.; March- 1♀ on *Nerium oleander*; April- 2♀ and 2♂ on *Malva* sp.; Grombalia (Cap Bon): February, March, April, and June- 96♀ and 13♂ on *Citrus* sp., April and May- 2♀ and 1♂ on *A. rhomboidea*.; April- 2♀ on *Malva* sp.; May- 1♂ on *S. nigrum*; April- 7♀ on *Convolvulus* sp.; Mornag (Tunis): December, March and April- 29♀ and 9♂ on *Citrus* sp.; March- 2♀ on *M. annua*; April- 1♀ on *U. dioica*; April- 2♀ and 1♂ on *Hedera helix*.

Biology: *Euseius stipulatus* was classified by McMurtry and Croft (1997) as a specialized pollen feeder. This species feeds also on pest mites such as *P. citri* (Ferragut *et al.* 1988, 1992), *Tetranychus urticae* Koch (Moyano *et al.*, 2009) and eriophyid mites (Ferragut *et al.*, 1987).

7. *Iphiseius degenerans* (Berlese)

Seiulus degenerans Berlese 1887: 9.

Iphiseius degenerans (Berlese) Berlese 1921: 95.

Amblyseius (Iphiseius) degenerans (Berlese) Muma 1961: 288.

Iphiseius (Iphiseius) degenerans (Berlese) Prichard and Baker 1962: 299.

Distribution: Algeria, Benin, Brazil, Burundi, Cape Verde, China (Hong-Kong), Congo, Egypt, Georgia, Greece, Israel, Italy, Kenya, Lebanon, Madeira Islands, Madagascar, Malawi,

Morocco, Nigeria, Portugal, Rwanda, South-Africa, Spain (Canary islands), Tanzania, Turkey, Yemen, Zaire and Zimbabwe.

Previous records from Tunisia: Sousse (Sahel region): April 2000 on *Citrus* sp. and *Hibiscus syriacus* near citrus orchard; Cap Bon Region: May 2006 on *Citrus* sp. (Thomson, Navel and oranges).

Additional records from Tunisia: Sidi Thabet (Tunis): March- 1♀ on *Citrus* sp.; Alia (Bizerte): March and April- 2♀ and 1♂ on *Citrus* sp.

Biology: Described in Italy during the 19th century (Berlese, 1887), this species has a wide distribution in Africa and around the Mediterranean Sea (Moraes *et al.*, 2004). *Iphiseius degenerans* is described by McMurtry and Croft (1997) as a generalist (type III predator), able to feed on a wide range of foods such as thrips larvae (Messelink *et al.*, 2005), spider mites (Nwilene and Nachman, 1996; Vantornhout *et al.*, 2004) and pollen (van Rijn *et al.*, 1999). This species is commercialised for the biological control of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in greenhouses (Vantornhout *et al.*, 2005).

8. *Neoseiulus barkeri* Hughes

Neoseiulus barkeri Hughes 1948: 142; 1976: 343.

Typhlodromus barkeri Nesbitt 1951: 35; Chant 1959: 61.

Amblyseius barkeri Athias-Henriot 1961: 440.

Amblyseius mckenziei Schuster and Pritchard 1963: 268.

Distribution: Algeria, Australia, Brazil, Canary Islands, Cape Verde, China, Finland, France, Georgia, Germany, Ghana, Greece, Guinea, Hawaiï, Israel, Italy, Japan, Jordan, Madagascar, Netherlands, Nigeria, Norway, Reunion Island, Russia, South Africa, South Korea, Spain, Sweden, Turkey, Ukraine, United Kingdom, West Bank and Yemen.

Previous records from Tunisia: Beni Khier (Cap Bon region): October 1995 on *Oxalis* sp. in citrus orchard; Palmeraie Ibn Chabbat (South): July 2000 on *C. dactylon*; Segdoud: January 2006 on *Ph. dactylifera* cv. Alig.

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): May- 1♀ on *S. nigrum*; April- 1♀ on *Conyza canadensis*; Alia (Bizerte): July- 1♀ on *C. canadensis*.

Biology: Various studies have shown its ability to control *F. occidentalis* (Rodriguez-Reina *et al.*, 1992), *Thrips tabaci* (Lindeman) (Hansen, 1988; Bonde, 1989; Dsgaard *et al.*, 1992) and *T. urticae* in cucumber (Yuqing and Petitt, 1994). Fan and Petitt (1994) showed that

augmentative releases of *N. barkeri* provided control of broad mite [*Polyphagotarsonemus latus* (Banks)] on peppers.

9. *Neoseiulus californicus* (McGregor)

Typhlodromus californicus McGregor 1954: 89.

Amblyseius californicus Schuster and Pritchard 1963: 271.

Cydnodromus californicus Athias-Henriot 1977: 62.

Amblyseius (Amblyseius) californicus Ueckermann and Loots 1988: 150; Ehara *et al.* 1994: 126.

Amblyseius (Neoseiulus) californicus Ehara and Amano 1998: 33.

Neoseiulus californicus Moraes *et al.* 1986: 73; Moraes *et al.* 2004: 109.

Distribution: Algeria, Argentina, Brazil, Chile, Colombia, Cuba, France, Greece, Guatemala, Italy, Japan, Korea (South), Mexico, Peru, Spain, Taiïwan, Uruguay, USA (California) and Venezuela.

Previous records from Tunisia: Sousse (Sahel Region): April 2000 on *Lycopersicon esculentum* in greenhouses; Mateur (North Region): July 2000 on *M. domestica*; Chekmo oasis (South): June 2005 on *Malva* sp.; Hammamet, Mraïssa, Grombalia, Menzel Bou Zelfa (Cap Bon Region): July 2006 on *Citrus* sp. (lemon, clementine and maitaise).

Additional records from Tunisia: Grombalia (Cap Bon): July- 1♀ on *Citrus* sp., April- 6♀ on *Malva* sp.; Takelsa (Cap bon): December, January, February, March and April- 47♀ and 16♂ on *Citrus* sp.; May, April- 3♀ on *S. nigrum*; July- 1♀ on *Fubus* sp.; April, May- 73♀ and 5♂ on *M. annua*, August- 1♀ on *P. persica*; March, April- 76♀ and 1♂ on *Malva* sp., May- 1♀ on *Cupressus* sp.; July- 2♀ and 1♂ on *Tamarix* sp.; July- 1♀ on *F. carica*; Alia (Bizerte): August- 1♂ on *Citrus* sp.; March- 1♀ on *N. oleander*, July- 8♀ and 1♂ on *Phaseolus vulgaris*; August- 9♀ and 2♂ on *S. nigrum*; July- 3♀ and 3♂ on *A. rhomboidea*; July- 5♀ and 1♂ on *C. canadensis*; August- 1♀ and 1♂ on *Salvia officinalis*; August- 6♀ and 1♂ on *Malva* sp.; August- 5♀ and 1♂ on *A. retroflexus*; July- 6♀ and 1♂ on *Cupressus* sp.; March- 13♀ on *M. annua*; Morneg (Tunis): April- 1♀ on *Citrus* sp.; August- 1♀ on *Convolvulus* sp.; August- 1♀ on *Malus* sp.; April- 1♀ on *U. dioica*.

Biology: This is a very widespread species (Moraes *et al.*, 2004). *Neoseiulus californicus* has characteristics of both specialist and generalist predatory mites (Castagnoli and Simoni, 2003). It prefers to feed on Tetranychidae mites (Escudero *et al.*, 2004, 2005; Greco *et al.*, 2005; Katayama *et al.*, 2006; Fraulo *et al.*, 2008; Gomez *et al.*, 2009), but can also consume other mite species like tarsonemid mites [*Phytonemus pallidus* (Banks)] (Easterbrook *et al.*,

2001), small insects, such as thrips (Rodriguez *et al.*, 1992) and even pollen when the primary prey is unavailable (Rhodes and Liburd, 2005).

10. *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans)

Typhlodromus cucumeris Oudemans 1930: 69.

Amblyseius cucumeris Athias-Henriot 1957: 336.

Typhlodromus (Amblyseius) cucumeris Chant 1959: 78.

Amblyseius (Neoseiulus) cucumeris (Oudemans) De Leon 1965: 23.

Neoseiulus cucumeris (Oudemans) Moraes *et al.* 1986: 76; Chant and McMurtry 2007: 25.

Distribution: Algeria, Armenia, Australia, Austria, Azerbaijan, Belgium, Byelorussia, Canada, Canary Islands, Caucasus Region, Egypt, England, Finland, France, Georgia, Germany, Greece, Hungary, India, Iran, Israel, Italy, Mexico, Moldova, Morocco, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Russia, Spain, Sweden, Switzerland, Tunisia, Ukraine, USA and West Bank.

Previous records from Tunisia: recorded in several palmeraies in the south of Tunisia on *C. dactylon*, *Sorghum vulgare*, *Setaria* sp., *Digitaria communata* and *Ph. dactilifera*.

Additional records from Tunisia: Sidi Thabet (Tunis): June- 6♀ on *Elytrigia repens*.

Biology: The biological characteristics of this species have been well documented because of its ability to control thrips on various cultivated plants in greenhouses (McMurtry and Croft, 1997; Messelink *et al.*, 2005).

11. *Neoseiulus bicaudus* (Wainstein)

Amblyseius bicaudus Wainstein 1962a: 146.

Typhlodromus bicaudus (Wainstein) Hirshmann 1962a: 250.

Neoseiulus bicaudus (Wainstein) Moraes *et al.* 1986: 72; Chant and McMurtry 2007: 25.

Distribution: Armenia, Azerbaijan, Caucasus region, France, Georgia, Greece, Hungary, Israel, Italy, Kazakhstan, Moldova, Norway, Russia, Spain, Switzerland, Turkey and USA (Washington).

Specimens examined: Takelsa (Cap Bon): July- 1♀ on *Cupressus* sp.

This is the first record of this species in Tunisia.

12. *Neoseiulus longilaterus* Athias-Henriot

Neoseiulus longilaterus Athias-Henriot 1957: 218.

Cydnodromus longilaterus Muma 1961: 290.

Distribution: Algeria, Israel.

Specimens examined: Manzel Bouzefa (Cap Bon): August- 1♀ on *Convolvulus* sp., Sidi Thabèt (Tunis): 1♀ on *C. dactylon*.

This is the first record of this species in Tunisia.

13. *Neoseiulus alpinus* Athias-Henriot

Amblyseius obtustus var. *alpinus* Schweizer 1922: 41.

Amblyseius alpinus Schweizer 1949: 79.

Typhlodromus (Amblyseius) alpinus (Schweizer) Chant 1959: 105.

Typhlodromus (Typhlodromus) alpinus (Schweizer) Westerboer and Bernhard 1963: 651.

Amblyseius (Neoseiulus) alpinus (Schweizer) Karg 1993: 189.

Neoseiulus alpinus (Schweizer) Evans 1987: 1461; Chant and McMurtry 2007: 25.

Neoseiulus aurescens (Athias-Henriot) Tuttle and Muma 1973: 20.

Distribution: Algeria, Australia, Belgium, Cuba, Czech Republic, England, France, Georgia, Russia, Ukraine, Germany, Greece, Hawaii, Hungary, Italy, Jordan, Norway, Poland, Switzerland, Spain, Turkey and USA (Arizona, California, Washington).

Specimens examined: Mjaz el Bab (Béja): May- 1♀ on *M. annua*; Takelsa (Cap Bon): 1♀ on *S. nigrum*, 1♀ on *H. murinum*.

This is the first record of this species in Tunisia.

14. *Neoseiulus paspalivorus* (De Leon)

Typhlodromus paspalivorus De Leon, 1957: 143

Neoseiulus paspalivorus Muma & Denmark, 1971: 110

Amblyseius paspalivorus Schicha, 1981: 210.

Distribution : Guadeloupe, India, Jamaica, Philippines, USA (Florida).

Previous Records in Tunisia: Palmeraie M'Rah Lahouara, on *C. dactylon*, July 2000.

Additional records from Tunisia: Sidi Thabèt: June 2011- 1♀ on *Chenopodium murale*.

Biology. *Neoseiulus paspalivorus* was found only on coconut and on fruits, in association with *A. guerreronis* (Moraes *et al.*, 2004). This species is a promising candidate for the biological control of the coconut eriophyid (Lawson-Balagbo *et al.*, 2008).

15. *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot

Phytoseiulus persimilis Athias-Henriot 1957: 347.

Phytoseiulus riegeli Dosse 1958: 48.

Typhlodromus persimilis Hirschmann 1962: 75.

Phytoseiulus (Phytoseiulus) persimilis (Athias-Henriot) Wainstein 1962b: 17.

Phytoseiulus tardi (Lombardini) Kennett and Caltagiorne 1968: 571.

Distribution: Algeria, Australia, Canary Islands, Chile, China, Costa Rica, Finland, France, Greece, Guatemala, Hungary, Israel, Italy, Jordan, Lebanon, Lybia, Morocco, New Caledonia, Peru, Reunion Island, South Africa, South Korea, Spain, Tunisia, Turkey, Venezuela and USA (California).

Previous records from Tunisia: Sousse (Sahel region): April 2000 on *L. esculentum* and *Cucumis sativus* in greenhouses; Hammamet, Menzel Bouzelfa and Mraïssa (Cap-Bon region): November 1994, October 1995 and July 2001 on *Citrus* sp. (Thomson, Navel and lemon); Metline (Bizerte region): June 2000 on *M. domestica*.

Additional records from Tunisia: Grombalia (Cap Bon): February, July, April- 31♀ and 2♂ on *Citrus* sp.; July- 4♀ on *Convolvulus* sp.; Takelsa (Cap bon): March, April and July- 13♀ on *Citrus* sp.; March, July- 7♀ on *S. nigrum*; March- 2♀ and 1♂ on *M. annua*; March, August- 30♀ on *Malva* sp.; July- 1♀ and 1♂ on *Cupressus* sp.; July- 1♀ on *Tamarix* sp.; July- 1♀ on *Ficus carica*; Alia (Bizerte): July- 2♂ on *Citrus* sp.; July, August- 163♀ on *Ph. vulgaris*; April, July, August- 101♀ and 3♂ on *S. nigrum*; July- 1♀ on *C. canadensis*; July, August- 3♀ on *S. officinalis*; July, August- 46♀ and 1♂ on *Malva* sp.; March- 147♀ on *M. annua*.

Biology: *Phytoseiulus persimilis* was first collected in Algeria (Athias-Henriot, 1957). It is known mainly from Mediterranean climates around the world (Takahashi and Chant, 1993). Many studies deal with this specialist predator because of its economic importance, especially in the bio-control of *T. urticae* Koch in greenhouses all over the world (McMurtry and Croft, 1997).

Sub-Family Typhlodrominae

16. *Paraseiulus talbii* Athias-Henriot

Typhlodromus talbii Athias-Henriot 1960b: 75.
Paraseiulus subsoleiger Wainstein 1962a: 139.
Typhlodromus subsoleiger (Wainstein) Hirshmann 1962: 12.
Paraseiulus talbii (Athias-Henriot) Chant and McMurtry 2007: 143.

Distribution: Algeria, Armenia, Azerbaijan, China, Cyprus, Caucasus region, Denmark, Egypt, Finland, France, Georgia, Germany, Greece, Hungary, Israel, Italy, Iran, Kazakhstan, Moldova, Netherlands, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and Ukraine.

Specimens examined: INAT (Tunis): June- 3♀ on *Citrus* sp.; Takelsa (Cap Bon): July- 1♀ on *F. carica*, August- 1♀ on *P. persica*; Alia (Bizerte): June- 2♀ and 1♂ on *Citrus* sp., May- 2♀ on *Cupressus* sp.

This is the first record of this species in Tunisia.

17. *Typhlodromus (Anthoseius) athenas* Swirski and Ragusa

Typhlodromus (Anthoseius) athenas Swirski and Ragusa 1976: 111.

Distribution: Greece, Israel, Italy, Morocco.

Previous records from Tunisia: Gafsa: March 2004 and March 2007 on *O. europea*; Seghdoud: November 2005, October 2006 and October 2007 on *Ph. dactylifera*; April 2006 on *S. melongena* (Kreiter *et al.* 2010).

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): July- 17♀ on *Cupressus* sp.; INAT (Tunis): June- 11♀ and 2♂ on *Citrus* sp.; Testour (Béja): May- 2♀ on *P. granatum*; Hammamet (Cap Bon): July- 1♀ on *Cupressus* sp.

18. *Typhlodromus (Anthoseius) foenilis* Oudemans

Typhlodromus foenilis Oudemans 1930: 70; senior synonym of *Typhlodromus cryptus* Athias-Henriot 1960b: 89.
Anthoseius (Amblydromellus) foenilis (Oudemans) Andre 1986: 111.
Amblydromella foenilis (Oudemans) Moraes *et al.* 1986: 173.
Anthoseius foenilis (Oudemans) Evans and Edland 1998: 41-62.
Amblydromella (Aphanoseia) foenilis (Oudemans) Denmark and Welbourn 2002: 308.
Typhlodromus (Anthoseius) foenilis (Oudemans) Moraes *et al.* 2004: 323; Chant and McMurtry 2007: 152.

Distribution: Azerbaijan, Belgium, Canada, England, France, Greece, Ireland, Israel, Italy and Norway.

Previous records from Tunisia: Degache: May 2005 on *P. granatum*; Cap Bon: June 2005 on *Citrus* sp.

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): July and August- 27♀ on *Cupressus* sp.; August- 3♀ on *Tamarix* sp.; June- 1 ♀ on *H. murinum*; INAT (Tunis): June- 2♀ and 2♂ on *Citrus* sp.; Bouargoub (Cap Bon): April- 1♀ on *A. rhomboidea*; July- 3♀ and 2♂ on *Cupressus* sp. Alia (Bizerte): June and July- 39♀ and 9♂ on *Cupressus* sp.; March- 2♀ on *N.oleander*.

19. *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides* Athias-Henriot

Typhlodromus rhenanoides Athias-Henriot 1960b: 85.

Neoseiulus rhenanoides (Athias-Henriot) Schuster and Pritchard 1963: 205.

Anthoseius rhenanoides (Athias-Henriot) Charlet and McMurtry 1977: 186.

Amblydromella rhenanoides (Athias-Henriot) Moraes *et al.* 1986: 174.

Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides (Athias-Henriot) Chant and McMurtry 2007: 155.

Distribution: Algeria, Canary Islands, France, Hawaii, Italy, Les Saintes, Morocco, Spain and USA (California).

Previous records from Tunisia: Cap Bon region- November 1994 and October 1995 on *Citrus* sp.; Chekmo oasis (South): June 2005 on *Tamarix* sp.

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): October, December, February and July- 9♀ and 3♂ on *Citrus* sp.; July, August- 71♀ and 15♂ on *Cupressus* sp.; August- 8♀ on *Tamarix* sp.; August- 3♀ on *Malva* sp.; June- 4♀ on *S. nigrum.*, August- 7♀ on *Fubus* sp.; March- 3♀ and 2♂ on *M. annua*; March- 1♀ on *A. rhomboidea*; Morneg (Tunis): April- 1♀ on *H. helix*; April- 1♀ on *U. dioica*; April- 10♀ and 1♂ on *Chenopodium murale*; August- 4♀ on *Cupressus* sp.; Hammamet (Cap Bon): July- 7♀ on *Cupressus* sp.; Alia (Bizerte): March, April, August- 26♀ and 6♂ on *Citrus* sp.; April, June- 1♀ and 3♂ on *A. rhomboidea*; July, August- 43♀ on *Cupressus* sp.; June- 9 ♀ on *Malva* sp.; March- 3♀ on *M. annua*; August- 1♀ on *C. canadensis*; August- 4♀ on *A. retroflexus*.

20. *Typhlodromus (Anthoseius) recki* Wainstein

Typhlodromus recki Wainstein 1958: 203.

Typhlodromus (Typhlodromus) recki Wainstein; Chant 1959: 62.

Typhlodromella recki (Wainstein) Muma 1961: 299.

Typhlodromus (*Neoseiulus*) *recki* (Wainstein) Ehara 1966: 18.

Anthoseius (*Amblydromellus*) *recki* (Wainstein) Kolodochka 1980: 39.

Typhlodromus (*Anthoseius*) *recki* (Wainstein) Moraes *et al.* 2004: 344; Chant and McMurtry 2007: 155.

Distribution: Algeria, Armenia, Azerbaijan, Cyprus, Caucasus region, France, Georgia, Greece, Hungary, Israel, Italy, Kazakhstan, Lebanon, Moldova, Russia, Turkey and Ukraine.

Previous records from Tunisia: several vineyards in Cap Bon region, *V. vinifera*, July 1995.

Additional records from Tunisia: Alia (Bizerte): March- 6♀ on *C. canadensis*.

21. *Typhlodromus* (*Anthoseius*) *pegazzani* Ragusa and Swirski

Typhlodromus pegazzani Ragusa and Swirski 1978: 218.

Anthoseius pegazzani (Ragusa and Swirski) Rivany and Swirski 1980: 177.

Amblydromella pegazzani (Ragusa and Swirski) Moraes *et al.* 1986: 169.

Typhlodromus (*Anthoseius*) *pegazzani* (Ragusa and Swirski) Chant and McMurtry 2007: 155.

Distribution: Greece and Italy.

Specimens examined: Sidi Thabet (Tunis): June- 5♀ and 4♂ on *Citrus* sp. (traps); Mornag (Tunis): June- 1♀ *Citrus* sp. (traps).

This is the first record of this species in Tunisia.

22. *Typhlodromus* (*Anthoseius*) *yasminae* Faraji

Typhlodromus (*Anthoseius*) *yasminae* Faraji 2008: 106

Distribution: This species was recently described in Spain (Baldomar) in *V. vinifera*. Nothing is known on its biology.

Specimens examined: Takelsa (Cap Bon): April, May, June- 32♀ and 2♂ on *Cupressus* sp., August- 1♀ on *Tamarix* sp., May- 2♀ on *Citrus* sp.; Nianou (Cap Bon): May- 1♀ and 2♂ on *Cupressus* sp.; Alia (Bizerte): June, July and August- 11♀ and 1♂ on *Cupressus* sp.; Morneg (Tunis): August- 1♀ on *Cupressus* sp.

This is the first record of this species in Tunisia.

23. *Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus* Ragusa

Typhlodromus exhilaratus Ragusa 1977: 380.

Typhlodromus exhilaratus exhilaratus (Ragusa) Chant and Yoshida-Shaul 1987: 1795.

Typhlodromus exhilaratus americanus (Ragusa) Chant and Yoshida-Shaul 1987: 1795.

Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus (Ragusa) Mores *et al.* 2004: 371; Chant and McMurtry 2007: 157.

Typhlodromus exhilaratus has been considered as a synonym of *T. tiliae* Oudemans by Denmark (1992).

Distribution: Cyprus, France, Greece, Israel, Italy, Morocco and USA.

Previous records from Tunisia: Sousse (Sahel region): July 2000 on *M. domestica*; (Cap Bon region): May 2006 on *Citrus* sp. (maltaise, Thomson and lemon); Gafsa (South): March 2007 on *O. Europea*.

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): July- 5♀ on *Malva* sp.

Biology: *Typhlodromus exhilaratus* was reported as type III predators (generalist predators, able to develop without prey) (McMurtry and Croft, 1997), its food range includes Tetranychidae, Eriophyidae and pollen (Ragusa, 1979, 1981). Its intrinsic population growth rate (*rm*) is higher on *Eotetranychus carpini* (Oudemans) and pollen than on *P. ulmi* (Castagnoli and Liguori, 1986; Castagnoli *et al.*, 1989).

24. *Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus* Athias-Henriot

Typhlodromus phialatus Athias-Henriot 1960b: 100.

Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus Athias-Henriot; Moraes *et al.* 2004: 366; Chant and McMurtry 2007: 157.

Distribution: Algeria, Cyprus France, Germany, Hungary, Israel, Italy, Jordan, Moldova, Morocco, Norway, Russia, Spain and Ukraine.

Previous Records from Tunisia: Cap Bon region- June 1994 on *Citrus* sp., July 1995 in several vineyards, on *V. vinifera*; September 2006 on *Citrus* sp.; Monastir (Sahel region): November 1994 on *Citrus* sp.; Slimane (Cap Bon region) and Sousse (Sahel region): July 2000 on *M. domestica*.

Additional records from Tunisia: Takelsa (Cap Bon): December, May, June, July- 7♀ on *Citrus* sp.; July, August- 5♀ and 1♂ on *Cupressus* sp.; July, August- 4♀ on *Tamarix* sp.; March, April- 22♀ on *A. rhomboidea*; March, April- 4♀ on *Malva* sp.; April- 2♀ and 1♂ on

E. repens; April- 2♀ on *M. annua*; June, July- 15♀ on *H. murinum*; June, August- 7♀ on *S. nigrum*. Bouargoub (Cap Bon): February, July- 2♀ on *Citrus* sp.; April- 4♀ and 1♂ on *A. rhomboidea*. Alia (Bizerte): July- 1♀ on *Cupressus* sp.; March- 2♀ on *A. rhomboidea*; May- 1♀ on *S. nigrum*. Boussalem (Jandouba): March, June- 19♀ and 1♂ on *Cupressus* sp.; March- 1♀ on *M. annua*; June- 1♀ on *A. retroflexus*; Testour (Béja): May- 6♀ on *Malus* sp.; May- 2♀ on *Citrus* sp. Sidi Thabèt (Tunis): March- 2♀ on *Citrus* sp. Morneg (Tunis): August- 2♀ on *Malus* sp. INAT (Tunis): June- 3♀ on *Citrus* sp.

Biology: This species is known to feed on red spider mites and to consume pollen (Ferragut *et al.*, 1987, 1992).

25. *Typhlodromus (Typhlodromus) setubali* Dosse

Typhlodromus (Typhlodromus) setubali Dosse 1961: 313.

Distribution: Germany, Israel, Jordan, Morocco and Spain.

Specimens examined: INAT (Tunis): June- 2♀ on *Citrus* sp.

This is the first record of this species in Tunisia.

26. *Typhlodromus (Typhlodromus) ernesti* Raguza and Swirski

Typhlodromus (Typhlodromus) ernesti Raguza and Swirski 1978: 211

Typhlodromus ernesti postici Karg 1989: 275

Distribution: Israel, Norway, Russia (Moscow), Sweden.

Specimens examined: Sidi Thabèt: June 2011- 1♀ on *Citrus* sp. (traps).

This is the first record of this species in Tunisia.

Key to the species of Phytoseiid mites of Tunisia

Thirty eight species belonging to 17 genera are known from Tunisia. Among them, 18 species were identified on citrus trees. In order to facilitate the identification of the Phytoseiidae species reported from Tunisia until now, a dichotomous key comprising these 38 species of Phytoseiidae is provided below.

1. Podonotal region of the dorsal shield (anterior to setae R1) of the female with 5 or 6 pairs of “lateral” setae j3, z2, z4 and s4 always present and z3 and/or s6 present **2**
- 1'. Podonotal region of the dorsal shield (anterior to setae R1) of the female with 4 pairs of “lateral” setae j3, z2, z4 and s4 present, z3 and s6 absent **Amblyseiinae: 3**
- 2 (1) Posterior “lateral” setae Z1, S2, S4 and S5 absent. Setae r3 usually inserted on the dorsal shield **Phytoseiinae: *Phytoseius finitimus***
- 2' (1) At least one of setae Z1, S2, S4 and S5 present. Setae r3 usually inserted on the interscutal soft cuticule (rarely on the shield) **Typhlodominae: 22**
- 3 (1') Sternal shield with median posterior projection, some forward “migration” of preanal setae ZV2 and/or JV2 **4**
- 3' (1') Sternal shield without posterior projection, without forward “migration” of preanal setae ZV2 and/or JV2 **7**
- 4 (3) Heavily sclerotized and brown body with separate anal shield and subrectangular ventral shield ***Iphiseius degenerans***
- 4' (3) Lightly sclerotised and ventrianal shield entire ***Euseius: 5***
- 5 (4') Cervix of spermatheca thin, long and sinuous (43 µm). Macrosetae of the baistarsus of the leg IV long (77 µm) Peritreme short, extending to level of z4 or between z2 and z4 ***Euseius scutalis***
- 5'(4') Cervix of the spermatheca tubular and not sinuous (20-25 µm). Macrosetae of the baistarsus of the leg IV shorter (50-60 µm). Peritreme long, extending to level of j3 or between j3 and z2 **6**
- 6 (5') Cervix of the spermatheca not vase-shape (side walls of the calyx parallel), atrium globular. Dorsum slightly reticulated ***Euseius stipulatus***
- 6' (5') Cervix of spermatheca vase-shaped (side walls of the calyx not parallel) Dorsum more strongly reticulated ***Euseius gallicus***
- 7 (3') Setae S4 absent **8**
- 7' (3') Setae S4 present **9**
- 8 (7) Setae J2, S2 absent, female ventrianal shield reduced, setae j6 very long: 2-3 times longer than distance between their bases, female ventrianal shield with 1 pair of preanal setae. ***Phytoseiulus persimilis***
- 8' (7) Setae J2, S2 present, female ventrianal shield elongated with three preanal setae, setae j6 not long ***Kampidromus aberrans***
- 9 (7') Z2 present, ventrianal shield reduced ***Typhloseiella isotricha***
- 9' (7') Z2 absent **10**

- 10 (9')** Macrosetae usually present only on leg IV (rarely missing on this leg) but sometimes also on leg III. Lateral dorsal setae except Z5 usually subequal. J2, Z1, S2, S4 and S5 always present **11**
- 10' (9')** Macrosetae usually present on legs II, III and IV, and sometimes also on leg I. Lateral dorsal setae often of quite different lengths. J2, Z1, S2, S4 or S5 may be missing. Dorsal shield smooth and sclerotized **19**
- 11 (10)** Female ventrianal shield reduced and/or markedly wider at anus level, with a marked waist. Movable and fixed cheliceral digits with 1 and 1-3 distal teeth, respectively
Paragigagnathus tamaricis
- 11' (10)** Female ventrianal shield not reduced and/or markedly wider at anus level, without a marked waist. Movable and fixed cheliceral digits with a larger number of teeth not confined to apical region *Neoseiulus: 12*
- 12 (11')** Spermatheca with atrium forked for at least half its length at juncture with major duct, or atrium appearing thick-walled, vacuolated **13**
- 12' (11')** Spermatheca with atrium not deeply forked at juncture with major duct, nor appearing thick-walled, vacuolated **14**
- 13 (12)** 4 pairs of solenostomes on the dorsal shield *Neoseiulus barkeri*
- 13' (12)** 7 pairs of solenostomes on the dorsal shield *Neoseiulus alpinus*
- 14 (12')** Female ventrianal shield large, square or rectangular, rounded posteriorly. Dorsal shield with marked "shoulder" at level of seta r3, Z5 serrated **15**
- 14' (12')** Female ventrianal shield pentagonal or with lateral margins slightly rounded. Dorsal shield without marked "shoulder" at level of seta r3 **16**
- 15 (14)** Leg IV without macrosetae *Neoseiulus mumai*
- 15' (14)** Setaceous macroseta on basitarsus IV *Neoseiulus paspalivorus*
- 16 (14')** Spermatheca bell-shaped **17**
- 16' (14')** Cervix of the spermatheca cup-shaped and short **18**
- 17 (16)** Ventrianal shield with preanal pores, Five pairs of prominent crateriform solenostomes on the dorsal shield *Neoseiulus cucumeris*
- 17' (16)** Ventrianal shield without preanal pores, six pairs of solenostomes
Neoseiulus longilaterus
- 18 (16')** Ventrianal shield with large prominent crescentic preanal pores close to the central part. Setae Z4 longer than S4, J2 longer than S5 *Neoseiulus californicus*

- 18' (16')** Ventrianal shield with small slightly crescent preanal pores, setae Z4 shorter than S5
Neoseiulus bicaudus
- 19 (10')** J2 present; leg IV usually with 3 strong macrosetae, setae z2 and z4 usually short; setae j5, S2 and S4 present; setae J2, S5 and Z1 present/absent **20**
- 19' (10')** J2 absent; legs II-IV with/without macrosetae, setae z2 and/or z4 often longer, setae j5 present
Proprioseiopsis bordjelaini
- 20 (19)** Spermatheca with atrium bifurcate/vacuolated at juncture with major duct. Male spermatophoral process T-shaped, with both heel and toe elongate, approximately subequal
Graminaseius graminis
- 20' (19)** Spermatheca with atrium not bifurcate/vacuolated at the juncture with major duct
Amblyseius: 21
- 21 (20')** Fixed digit of chelicerae with more than 7 teeth, spermatheca short cup-shaped with long tubular calyx having annulated stalk
Amblyseius obtusus
- 21' (20')** Fixed digit of chelicerae with less than 5 teeth, movable digit without tooth, spermatheca with saccular cervix and c-shaped atrium
Amblyseius meridionalis
- 22 (2')** Setae z6 present, ventrianal shield sole-shaped, with 2 pairs of preanal setae, Setae Z1 and JV2 absent and setae R1 present
Paraseiulus : 23
- 22' (2')** Setae z6 absent **24**
- 23 (22)** Seta Z3 present
Paraseiulus talbii
- 23' (22)** Seta Z3 absent, one pair of solenostomes on dorsal shield
Paraseiulus soleiger
- 24 (22')** Both S4 and JV4 present **25**
- 24' (22')** Both setae S4 and JV4 absent
Africoseiulella flechtmanni
- 25 (24)** Setae Z1 absent
Typhlodromus: 26
- 25' (24)** Setae Z1 present, Seta on dorsal shield slender, setiform, peritreme punctuate, 3 or 4 pairs of preanal setae
Neoseiulella: 37
- 26 (25)** Setae S5 present
Typhlodromus (Anthoseius): 27
- 26' (25)** Setae S5 absent
Typhlodromus (Typhlodromus): 34
- 27 (26)** Presence of 3 pairs (gd2, gd6, gd9) of solenostomes on a strongly reticulated dorsal shield
Typhlodromus (Anthoseius) recki
- 27' (26)** Presence of more than 3 pairs of solenostomes on a less reticulate dorsal shield **28**
- 28 (27')** Ventrianal shield without preanal solenostome **29**
- 28' (27')** Ventrianal shield with preanal solenostomes **31**
- 29 (28)** Dorsal shield with 5 pairs of solenostomes **30**

29' (28) Dorsal shield with 4 pairs of solenostomes, Spermatheca with a globulous atrium, sometimes with a thick neck between it and cervix. Ventrianal shield elongate and not pentagonal *Typhlodromus (Anthoseius) kazachstanicus*

30 (29) Movable digit of chelicerae with 2 teeth, spermatheca with cylindrical calyx, ventrianal shield pentagonal in outline and with inconspicuous ornamentation

Typhlodromus (Anthoseius) foenilis

30' (29) Movable digit of chelicerae with 1 tooth, spermatheca without a neck between atrium and cervix and a long cylindrical major duct. Ventrianal shield subpentagonal and large

Typhlodromus (Anthoseius) athenas

31 (28') Leg IV with a long knobbed macroseta on tarsus **32**

31' (28') Leg IV with macroseta, not knobbed on tarsus **33**

32 (30) Spermatheca with calyx elongate and tubular

Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides

32' (30) Spermatheca with calyx cup-shaped and with c-shaped atrium on a short stalk

Typhlodromus (Anthoseius) yasminae

33 (30') Macroseta of leg IV short, less than 30 μm *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanus*

33' (30') Macroseta of leg IV long, 56 (54-60) μm *Typhlodromus (Anthoseius) pegazzani*

34 (26') Peritreme extending to about the level of z2. Six setae on the the genu II

Typhlodromus (Typhlodromus) setubali

34' (26') Peritreme extending to about the level between J1 and j3. Seven setae on the the genu II **35**

35 (34') Basitarsus IV with macroseta having blint tip

Typhlodromus (Typhlodromus) ernesti

35' (34'). Basitarsus IV with macroseta having bulbous tip **36**

36 (35') Calix of the spermatheca squared basally, with a short neck

Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus

36' (35') Calix of the spermatheca rounded basally, without neck

Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus

37 (25'). Four large and one small solenostomes on the dorsal shield (gd1, gd2, gd6, gd8, gd9). Ventrianal shield not reduced, with 4 pairs of preanal setae and without pores. Dorsal setae mostly slender and almost of the same medium size. Peritreme short, extending anteriorly between z3 and z4. Cervix of spermatheca saccular. Leg IV without macroseta

Neoseiulella tiliarum

37' (25') Six small round solenostomes on the dorsal shield (gd1, gd2, gd5, gd6, gd8, gd9). Ventrianal shield reduced, with 4 pairs of preanal setae and without solenostome. Dorsal setae also slender, but short and not of the same size. Peritreme long, extending anteriorly to z2. Cervix of spermatheca saccular. Leg IV with a macroseta on basitarsus

Neoseiulella perforata

Discussion and conclusion

Twenty-seven species were known from Tunisia until now (Kreiter *et al.*, 2010), including one new genus and one new species to science found in the South of Tunisia. In this study, twenty six species belonging to 10 genera were found, eleven of them being new for the Tunisian fauna. Among these species, six were found on citrus trees: *Typhlodromus (Typhlodromus) setubali*, *Typhlodromus (Typhlodromus) ernesti*, *Typhlodromus (Anthoseius) pegazzani*, *Typhlodromus (Anthoseius) yasminae*, *Proprioseiopsis bordjelaini* and *Paraseiulus talbii*. Only one of these six species (*Paraseiulus talbii*) was found in two samples and two different regions (Bizerte and Cap Bon), the other species were found only once (one or two individuals per species) (Table 2).

These latter species seem thus to be rare on citrus trees. Two of the 10 newly reported species were also found on *Cupressus* sp. (conifer planted usually around orchards to break winds) and *Tamarix* sp.: *Neoseiulus bicaudus* and *Typhlodromus (Anthoseius) yasminae*. Three others were also found on weeds: *Neoseiulus longilaterus*, *Neoseiulus alpinus*, *Amblyseius obtusus* and *Amblyseius meridionalis*; all of them being rare.

Only one of the new reported species was present in many samples and several regions (Bizerte, Tunis and Cap Bon), *Typhlodromus (Anthoseius) yasminae*, but almost on the same plants: *Cupressus* sp. and *Tamarix* sp. (on *Citrus* sp. in only one sample). These new recorded species were found in Cap bon region, north region (Bizerte), North West (Beja) and in Tunis (Ariana, Sidi Thabet, Morneg and Boumhal) (Table 2). Even the number of citrus plots sampled in the Cap bon region (23 plots) was higher than of Tunis (8 plots) and Bizerte (6 plots), the global diversity of Phytoseiidae in these three regions is similar (Figure 2).

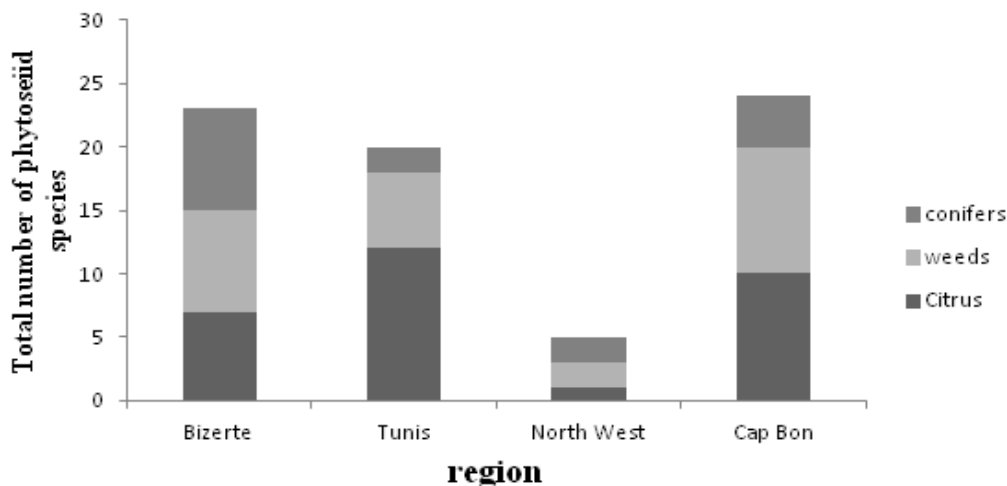


Figure 2. Number of species collected by region on citrus trees, weeds and conifers

Euseius stipulatus was the most abundant species on citrus trees (82 %) followed by *P. persimilis*, *N. californicus*, *A. rhenanoides* and *T. phialatus* which only represented respectively 4 %, 5 %, 3 % and 1 % of the phytoseiids collected from citrus trees. These most abundant phytoseiid species could be helpful in biological pest management programs. Since these most important species are also present in weeds, it is important to know which weed plants are favorable to these phytoseiid species. Additional studies are required to determine the factors that affect the diversity but also the abundance of preys and predators.

Acknowledgements:

We thank the direction and all the staff of CTA (Centre Technique des Agrumes) in Tunisia for their important help given during the surveys.

References:

- Al-Shemmary K. 2011 --- Plant pollen as an alternative food source for rearing *Euseius scutalis* (Acari: Phytoseiidae) in Hail, Saudi Arabia --- J. Entomol., 8(4): 365-374.
- André HM. 1986 --- Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers. 4. Actinedida (especially Tydeidae) and Gamasida (especially Phytoseiidae) --- Acarologia, 27(2): 107-115.

- Athias-Henriot C. 1957 --- Phytoseiidae et Aceosejidae (Acarina, Gamasida) d'Algérie. I. Genres *Blattisocius* Keegan, *Iphiseius* Berlese, *Amblyseius* Berlese, *Phytoseius* Ribaga, *Phytoseiulus* Evans --- Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 48: 319-352.
- Athias-Henriot C. 1958a --- Contribution à la connaissance du genre *Typhlodromus* Scheuten. Description de deux espèces nouvelles d'Algérie et clé des espèces du groupe *finlandicus* --- Rev. Pathol. Veg. Entomol. Agric. Fr., 37: 179-186.
- Athias-Henriot, C. 1958b --- Phytoseiidae et Aceosejidae (Acarina, Gamasina) d'Algérie. II. Phytoseiidae: clé des genres, genres *Amblyseius* Berlese (suite) et *Seiulus* Berlese --- Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 49: 23-43.
- Athias-Henriot C. 1960a. --- Nouveaux *Amblyseius* d'Algérie --- Acarologia, 2: 288-299.
- Athias-Henriot C. 1960b --- Phytoseiidae et Aceosejidae d'Algérie. 4. Genre *Typhlodromus* Scheuten --- Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 51: 62-107.
- Athias-Henriot C. 1961 --- Mésostigmates édaphiques méditerranéens --- Acarologia, 3: 381-509.
- Athias-Henriot C. 1966 --- Contribution à l'étude des *Amblyseius* paléarctiques (Acariens anactinotriches, Phytoseiidae) --- Bulletin Scientifique de Bourgogne, 24: 181-230.
- Athias-Henriot C. 1977 --- Nouvelles notes sur les Amblyseiini. III. Sur le genre *Cydnodromus*: Redéfinition, composition (Parasitifomes, Phytoseiidae) --- Entomophaga, 22: 61-73.
- Berlese A. 1887 --- Acari, Myriopoda and Scorpiones hucusque in Italia reperta. Tipografia del Seminario --- Padova, Vol. VI, Fasc. 54: 7-9.
- Berlese A. 1889 --- Acari, Myriopoda et Scorpiones hucusque in Italia reperta. Tipografia del Seminario --- Podova, Vol. VI, Fasc. 54, No. 7, 8, 9.
- Berlese A. 1914 --- Acari nuovi. Manipulus IX --- Redia, 10: 113-150.
- Berlese A. 1921 --- Acari, Myriopoda et Pseudoscorpiones hucusque in Italia reperta. I. Indice sinonimico dei generi e delle specie illustrate nei fascicoli 1 a 101 --- Redia, 14: 77-105.
- Bonde J. 1989 --- Biological studies including population growth parameters of the predatory mite *Amblyseius barkeri* (Acarina: Phytoseiidae) in the laboratory --- Entomophaga, 34 (2): 275-287.

- Canestrini G., Fanzago F. 1876 --- Nuovi acari italiani (seconda serie) --- Atti Accad. Sci. Veneto-Trentino-Istria, 5: 130-154.
- Castagnoli M., Liguori M. 1986 --- Tempi di sviluppo e ovideposizione di *Typhlodromus exhilaratus* Ragusa (Acari: Phytoseiidae) allevato con vari tipi di cibo --- Redia, LXIX: 361-368.
- Castagnoli M., Simoni S. 2003 --- *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae): survey of biological and behavioral traits of a versatile predator --- Redia, 86: 153-164.
- Castagnoli M., Amato F., Monagheddu M. 1989 --- Osservazioni biologiche e parametri demografici di *Eotetranychus carpini* (Oud.) (Acarina: Tetranychidae) e del suo predatore *Typhlodromus exhilaratus* Ragusa (Acarina: Phytoseiidae) in condizioni di laboratorio --- Redia, 72 (2): 545-557.
- Chant D.A. 1956 --- Some mites of the sub-family Phytoseiinae (Acarina: Laelaptidae) from southeastern England, with descriptions of new species --- Can. Entomol., 88: 26-37.
- Chant D.A. 1957a --- Descriptions of some phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part. I. Nine new species from British Columbia. Part. II. Redescriptions of eight species described by Berlese --- Can. Entomol., 89 (7): 289-308.
- Chant D.A. 1957b --- Note on the status of some genera in the family Phytoseiidae (Acarina) --- Can. Entomol., 89: 528-532.
- Chant D.A. 1959 --- Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part I. Bionomics of seven species in southeastern England. Part II. A taxonomic review of the family Phytoseiidae, with descriptions of 38 new species --- Can. Entomol., 91 suppl. 12: 1-166.
- Chant D.A., McMurtry J.A. 2005 --- A review of the Subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): Part VI The tribe Euseiini n. tribe, subtribes Typhlodromalina n. subtribe, Euseiina n. subtribe, and Ricoseiina n. subtribe --- Int. J. Acarol., 31: 187-224.
- Chant D.A., McMurtry J.A. 2007 --- Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata) --- Indira Publishing House, Pub Michigan: pp. 220.
- Chant D.A., Yoshida-Shaul E. 1978 --- Descriptions of three new species in the genera *Amblyseius* Berlese and *Typhlodromus* Scheuten (Acarina: Phytoseiidae) in Canada, with descriptions of males of nine other species and some new collection records --- Can. Entomol., 110: 1059-1076.

- Chant D.A., Yoshida Shaul E. 1987 --- A review of the *pyri* species group in the genus *Typhlodromus* Scheuten (Acari: Phytoseiidae) --- Can. J. Zool., 65: 1770-1804.
- Charlet L.D., McMurtry J.A. 1977 --- Systematics and bionomics of predaceous and phytophagous mites associated with pine foliage in California --- Hilgardia, 45(7): 173-236.
- Dale E.M., Donald L.C. 1986 --- Evaluation of Two Biotypes of *Euseius scutalis* (Acari: Phytoseiidae) as Predators of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) --- J. Econ. Entomol., 79(3): 659-663.
- De Leon D. 1957 --- Three new *Typhlodromus* from southern Florida --- Flo. Entomol. 40: 141-144.
- De Leon D. 1965 --- A note on *Neoseiulus* Hughes 1948 and new synonymy (Acarina: Phytoseiidae) --- Proc. Entomol. Soc. Wash., 67: 23.
- Denmark H.A. 1992 --- A revision of the genus *Typhlodromus* Scheuten --- Occasional Papers of the Florida State Collection of Arthropods, 7: 1-43.
- Denmark H.A., Muma M.H. 1989 --- A revision of the genus *Amblyseius* Berlese, 1914 (Acari: Phytoseiidae) --- Occasional Papers of the Florida State Collection of Arthropods, 4: 1-149.
- Denmark H. A., Welbourn W.C. 2002 --- Revision of the genera *Amblydromella* Muma and *Anthoseius* De Leon (Acari: Phytoseiidae) --- Int. J. Acarol., 28: 291-316.
- Desgaard B., Hansen L.S. 1992 --- Effect of *Amblyseius cucumeris* and *Amblyseius barkeri* as biological control agents of *Thrips tabaci* on glasshouse cucumbers --- BioCont. Sci. Techn., 2(3): 215-223.
- Dosse G. 1958 --- Über einige neue Raubmilbenarten --- Pflanzenschutz Berichte, 21: 44-61.
- Dosse G. 1961 --- Zur Klärung der Artenfrage von *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *pyri* Scheuten 1857 (= *T. tiliae* Oud. 1929) und *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *setubali* n. sp. (Acar., Phytoseiidae) --- Z. Angew. Zool., 48: 313-323.
- Easterbrook M.A., Fitzgerald J.D., Solomon M.G. 2001 --- Biological control of strawberry tarsonemid mite *Phytonemus pallidus* and two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on strawberry in the UK using species of *Neoseiulus* (*Amblyseius*) (Acari: Phytoseiidae) --- Exp. Appl. Acarol., 25: 25-36.
- Ehara S. 1966 --- A tentative catalogue of predatory mites of Phytoseiidae known from Asia, with descriptions of five new species from Japan --- Mushi, 39: 9-30.

- Ehara S., Amano H. 1998 --- A revision of the mites family Phytoseiidae in Japan (Acari: Gamasina), with remarks on its biology --- *Species diversity*, 3: 25-73.
- Ehara S., Okada Y., Kato H. 1994 --- Contribution to the knowledge of the mite family Phytoseiidae in Japan (Acari: Gamasina) --- *J. Fac. Educ., Nat. Sci., Tottori Univ.*, 42: 119-160.
- Escudero L.A., Baldo-Gosalvez M., Ferragut F. 2005 --- Predation by phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on spider mites from vegetable crops *Tetranychus urticae*, *T. turkestanii*, *T. ludeni* and *T. evansi* (Acari: Tetranychidae) --- *Bol. San. Veg., Plagas*, 31(3): 377-383.
- Escudero L.A., Ferragut F. 2004 --- Life-history of predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species as prey, with special reference to *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae) --- *BioControl*, 32: 378-384.
- Evans G.O. 1952 --- On a new predatory mite of economic importance --- *Bull. Entomol. Res.*, 43: 397-401.
- Evans G.O. 1987 --- The status of three species of the Phytoseiidae (Acari) described by Carl Willmann --- *J. Nat. Hist.*, 21: 1461-1467.
- Evans G.O., Edland T. 1998 --- The genus *Anthoseius* De Leon (Acari: Mesostigmata) in Norway --- *Fauna Norvegica, Ser. B.*, 45: 41-62.
- Fan Y., Pettitt F.L., 1994 --- Biological control of broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), by *Neoseiulus barkeri* Hughes on pepper --- *BioControl*, 4: 390-395.
- Faraji, F., Bakker F., Roig J. 2008 --- A new species and two new records of Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) from Spain --- *Rev. Iber. Aracnol.*, 16: 105-111.
- Ferragut F., Costa-Comelles J., Gomez Bernardo J., Garcia Mari F. 1985 --- Contribucion al conocimiento de los acaros fitoseidos (Gamasida: Phytoseiidae) de los cultivos espanoles --- *Actas II Congreso Iberico Entomol. Lisboa*, 223-231.
- Ferragut F., Costa-Comelles J., Garcia-Mari F. 1988 --- Population dynamics of the phytoseiid *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) and its prey *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae), in Spanish citrus --- *Bol. San. Veg., Plagas*, 4(1): 45-54.

- Ferragut F., Garcia Mari F., Costa-Comelles J., Laborda R. 1987 --- Influence of food and temperature on development and oviposition of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus* --- Exp. Appl. Acarol., 3: 317-330.
- Ferragut F., Laborda R., Costa-Comelles J. 1992 --- Feeding behaviour of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus* on the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) --- Entomophaga, 37(4): 537-543.
- Ferragut F., Pérez Moreno I., Iraola V., Escudero A. 2009 --- Acaros Depredadores de la familia Phytoseiidae en las plantas cultivadas --- Ediciones Agrotecnicas, S. L., pp. 202.
- Fraulo A.B., McSorley R., Liburd O.E. 2008 --- Effect of the Biological Control Agent *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on Arthropod Community Structure in North Florida Strawberry Fields --- Fla. Entomol., 91(3): 436-445.
- Gomez-Moya C.A., Ferragut F. 2009 --- Spatial distribution pattern and efficacy of *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) in the control of red spider mites on vegetables under semi-field conditions --- Bol. San. Veg., Plagas, 35(3): 377-390.
- Greco N.M., Sanchez N.E., Liljestro M.G.G. 2005 --- *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential control agent of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): effect of pest/predator ratio on pest abundance on strawberry --- Exp. Appl. Acarol. 37: 57-66.
- Gutierrez J. 1985 --- Mounting techniques --- In: Helle W, Sabelis MW (eds) Spider mites, their biology, natural enemies and control --- Elsevier, vol 1A. Amsterdam, 351-353.
- Hansen L.S. 1988 --- Control of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on glasshouse cucumber using large introductions of predatory mites *Amblyseius barkeri* (Acarina: Phytoseiidae) --- Entomophaga, 33 (1): 33-42.
- Hirschmann W. 1962 --- Gangsystematik der Parasitiformes. Acarologie Schriftenreihe fur Vergleichende Milbenkunde --- Hirschmann-Verlag, Furth/bay, 5(5-6): pp. 80.
- Hugues A.M. 1948 --- The mites associated with stored food products --- Ministry of Agriculture and Fisheries, London, H. M. Stationary Office, pp. 168.
- Hugues A.M. 1976 --- The mites of stored food and houses (2nd edition) --- Tech. Bull. - Minist. Agric., Fish. Food, 9: 1-400.

- Karg W. 1960 --- Zur Kenntnis der Typhlodromiden (Acarina: Parasitiformes) aus Acker und Grünlandboden --- Z. Angew. Entomol., 47: 440-452.
- Karg W. 1989 --- Zur Kenntnis der Raubmilben der Typhlodromus pyri Gruppe (Acarina, Phytoseiidae) --- Dtsch. Ent. Z., 36 (4-5): 273-282.
- Karg W. 1993 --- Acari (Acarina), Milben, Parasitiformes (Anactinochaeta), Cohors Gamasina Leach, Raubmilben, In: Teil G. Fisher (ed.), Die Tierwelt Deutschlands, 59 (2nd ed.) --- Jena, Stuttgart, New York, pp. 523.
- Kasap I., Ekerog E.S. 2004 --- Life history of *Euseius scutalis* feeding on citrus red mite *Panonychus citri* at various temperatures --- BioControl, 49: 645-654.
- Katayama H., Masui S., Tsuchiya M., Tataru A., Makoto D., Kaneko S., Saito T. 2006 --- Density suppression of the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) due to the occurrence of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on Satsuma mandarin --- Appl. Entomol. Zool., 41(4): 679-684.
- Kennet C.E., Caltagirone L.E. 1968 --- Biosystematics of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae) --- Acarologia, 10 (4): 563-577.
- Koch C.L. 1839 --- Deutschlands Crustaceen, Myriapoden und Arachniden --- Herrich-Schaeffer: Regensburg, v.5 and 6, fasc.25, t.22; fasc.27, t.6, 13.
- Kolodochka, L.A. 1980 --- New phytoseiid mites (Parasitiformes, Phytoseiidae) from Molodova --- Vestn. Zool., 4: 39-45.
- Kolodochka L.A., Sklyar V.E. 1981 --- Phytoseiid mites (Phytoseiidae: Parasitiformes) from soil, litter and nests of rodents in the steppe and forest-steppe zones of Ukraine. Problemy Pochvennoy Zoologii, Tezisy Dokladov VII Vsesoyuznogo Soveshchaniya -- Dokl. Akad. Nauk Ukr. SSR, 102-103.
- Kreiter S., Auger P., Lebdi Grissa K., Tixier M.-S., Chermiti B., Dali M. 2002 --- Plant inhabiting mites (Acari: Prostigmata & Mesostigmata) of some Northern Tunisian crops --- Acarologia, 42(4): 389-402.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Auger P., Lebdi Grissa K. 2006 --- Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of southern Tunisia --- Acarologia, 46 (1-2): 5-13.

- Kreiter S., Tixier M.-S., Ferragut F., Allam L., Lebdi Grissa K. 2004 --- Preliminary observations on the diversity of phytoseiid mites in the Maghreb and comparisons to the fauna of Canaria --- *Phytophaga*, 14: 477-484.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Sahraoui H., Lebdi Grissa K., Ben Chaabane S., Chatti A., Chermiti B., Khoualdia O., Ksantini M. 2010 --- Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) from Tunisia: Catalogue, biogeography and key for identification --- *Tun. J. Plant Prot.*, 5(2): 151-178.
- Lawson-Balagbo L. M., Gondim M. G. C., de Moraes G. J., Hanna R., Schausberger P. 2008 --- Compatibility of *Neoseiulus paspalivorus* and *Proctolaelaps bickleyi*, candidate biocontrol agents of the coconut mite *Aceria guerreronis*: spatial niche use and intraguild predation --- *Exp. Appl. Acarol.*, 45: 1-13.
- Livshitz I.Z., Kuznetsov N.N. 1972 --- Phytoseiid mites from Crimea (Parasitiformes: Phytoseiidae). *In*: Pests and diseases of fruit and ornamental plants --- Proceedings of The All-Union V. I. Lenin Academy of Agricultural Science, The State Nikita Botanical Gardens, Yalta, Ukraine, 61: 13-64.
- McGregor E.A. 1954 --- Two new mites in the genus *Typhlodromus* (Acarina: Phytoseiidae) - -- *Bull. South. Calif. Acad. Sci.*, 3: 89-92.
- McMurtry J.A. 1969 --- Biological Control of citrus Red Mite in California --- *Proc. Int. Citrus Symp.*, 1st, 2: 855-862.
- McMurtry J.A. 1977 --- Some predaceous mites (Phytoseiidae) on citrus in the Mediterranean region --- *Entomophaga*, 22: 19-30.
- McMurtry J.A., Croft B.A. 1997 --- Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control --- *Annu. Rev. Entomol.*, 42: 291-321.
- Messelink G. J., Van Steenpaal S. E. F., Ramakers P.M.J. 2005 --- Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber --- *BioControl*, 51: 753-768.
- Moraes G.J., McMurtry J.A., Denmark H.A. 1986 --- A catalog of the mite family Phytoseiidae. References to Taxonomy, Synonymy, Distribution and Habitat --- Embrapa ed. and Pub., Brasilia, pp. 353.
- Moraes G.J., McMurtry J.A., Denmark H.A., Campos C.B. 2004 --- A revised catalog of the mite family Phytoseiidae --- *Zootaxa*, 434: 1-494.

- Moyano R. A., Pina T., Ferragut F., Urbaneja A. 2009 --- Comparative life-history traits of three phytoseiid mites associated with *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) colonies in clementine orchards in eastern Spain: implications for biological control --- Exp. Appl. Acarol., 47: 121-132.
- Muma M.H. 1961 --- Subfamilies, genera, and species of Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata) --- Fla. St. Mus. Bull., 5: 267-302.
- Muma M.H. 1962 --- New Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata) from Florida --- Fla. Entomol., 45: 1-10.
- Muma M.H. 1967 --- New Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata) from southern Asia --- Fla. Entomol., 50: 267-280.
- Muma M.H., Denmark H.A. 1971 --- Phytoseiidae of Florida. Arthropods of Florida and Neighbouring land Areas, 6: 1-50.
- Nesbitt H.H.J. 1951 --- A taxonomic study of the Phytoseiinae predaceous upon Tetranychidae of economic importance --- Zool. Verh., 12: 1-96.
- Nomikou M., Janssen A., Sabelis M. W. 2003 --- Phytoseiid predator of whitefly feeds on plant tissue --- Exp. Appl. Acarol., 31(1-2): 27-36.
- Nwilene F.E., Nachman G. 1996 --- Functional responses of *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus teke* (Acari: Phytoseiidae) to changes in the density of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) --- Exp. Appl. Acarol., 20(5): 259-271.
- Oudemans A.C. 1930 --- Acarologische Aanteekeningen --- CII. Entomol. Ber. 8: 69-74.
- Papadoulis G., Emmanouel N.G. 1993 --- New records of Phytoseiid mites from Greece, with a description of two new species of *Typhlodromus* Scheuten (Acarina: Phytoseiidae) --- Int. J. Acarol., 19 (4): 321-328.
- Papadoulis G., Emmanouel N.G. 1997 --- New records of Phytoseiid mites from Greece, with a description of *Typhlodromus kimbasi* sp. (Acarina: Phytoseiidae) --- Acarologia, 37 (1): 21-28.
- Papadoulis G., Emmanouel N.G., Kapaxidi E. V. 2009 --- Phytoseiidae of Greece and Cyperus --- Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, USA: 24-171.
- Rambier A. 1972 --- Les acariens dans le vignoble --- Progr. Agric. Vitic., 16: 385-396.
- Pritchard A.E., Baker E.W. 1962 --- Mites of the family Phytoseiidae from Central Africa, with remarks on genera of the world --- Hilgardia, 33: 205-309.

- Ragusa S. 1977 --- Notes on phytoseiid mites in Sicily with a description of a new species of *Typhlodromus* (Acarina: Mesostigmata) --- *Acarologia*, 18: 379-392.
- Ragusa S. 1981 --- Influence of different kinds of food substances on the development time in young stages of the predacious mite *Typhlodromus exhilaratus* Ragusa (Acarina: Phytoseiidae) --- *Redia*, 64: 237-243.
- Ragusa S. 1979 --- Laboratory studies on the food habitats of the predacious mite *Typhlodromus exhilaratus*. In: Rodriguez JG (ed.) Recent advances in Acarology --- Academic Press pub., pp. 485-490.
- Ragusa S., Swirski E. 1978 --- Description of three new species of *Typhlodromus* Scheuten from Italy with redescription of *Typhlodromus baccetii* Lombardini (Acari: Phytoseiidae) --- *Int. J. Acarol.*, 4: 211-220.
- Rhodes E.M., Liburd O.E. 2005 --- Predatory Mite, *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Arachnida: Acari: Phytoseiidae) --- University of Florida, publication EENY, 359: 01-04.
- Rivany T., Swirski E. 1980 --- Four new species of Phytoseiid mites (Acarina: Mesostigmata) from Israel --- *Phytoparasitica*, 8(3): 173-187.
- Rodriguez-Reina J.M., Garcia-Mari F., Ferragut F. 1992 --- Predatory activity of phytoseiid mites on different developmental stages of the Western flower thrips *Frankliniella occidentalis* --- *Bol. San. Veg. Plagas*, 18(1): 253-263.
- Schicha E. 1981 --- A new species of *Amblyseius* from Australia compared with ten closely related species from Asia, America and Africa. *Int. J. Acarol.*, 7: 203-216.
- Schuster R.O., Pritchard A.E. 1963 --- Phytoseiid mites of California --- *Hilgardia*, 34: 191-285.
- Schweizer J. 1922 --- Beitrag zur kenntnis der terrestrischen Milbenfauna der Schweiz --- *Veröff. Natf. Ges. Basel*, 33: 23-112.
- Schweizer J. 1949 --- Die Landmilben des Schwizerischen Nationalparkes. I. Teil: Parasitiformes Reuter, 1909. Ergebnisse Wissenschaftlichen Untersuchungen in Schweizerischen Nationalpark --- *Liestal, Switzerland* 2, pp. 99.
- Swirski E., Ragusa S. 1976 --- Notes on predacious mites of Greece, with a description of five new species --- *Phytoparasitica*, 4: 101-122.
- Takahashi F., Chant D.A. 1993 --- Phylogenetic relationships in the genus *Phytoseiulus* Evans. I. Geographic distribution --- *Int. J. Acarol.*, 19: 15-22.

- Tixier M.-S., Kreiter S., Douin M., Moraes G.J. de. 2012 --- Rates of description of Phytoseiidae mite species (Acari: Mesostigmata): space, time and body size variations -- - Biodivers. Conserv: On line first, DOI 10.1007/s10531-012-0235-0.
- Tuttle D.M., Muma M.H. 1973 --- Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata) inhabiting agricultural and other plants in Arizona --- Agric. Exp. Sta., Univ. Arizona Techn. Bull., 208: 1-55.
- Ueckermann E.A., Loots G.C. 1988 --- The African species of the subgenera *Anthoseius* De Leon and *Amblyseius* Berlese (Acari: Phytoseiidae) --- Entomol. Mem. Dep. Agric. Water Supply, Rep. South Afr., 73: 1-168.
- van Rijn P.C.J., Tanigoshi L.K. 1999 --- Pollen as food for the predatory mites *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae): dietary range and life history --- Exp. Appl. Acarol., 23: 785-802.
- Vantornhout I., Minnaert H., Tirry L., De Clercq P. 2004 --- Effect of pollen, natural prey and factitious prey on the development of *Iphiseius degenerans* --- BioControl, 49(6): 627-644.
- Vantornhout I., Minnaert H.L, Tirry L., De Clercq P. 2005 --- Influence of diet on life table parameters of *Iphiseius degenerans* (Acari: Phytoseiidae) --- Exp. Appl. Acarol., 35: 183-195.
- Wainstein B.A. 1958 --- New species of mites of the genus *Typhlodromus* from Georgia --- Soobshcheniya Akademii Nauk Gruzinskoy SSR, 21: 201-207.
- Wainstein B.A. 1962a --- Some new predatory mites of the family Phytoseiidae (Parasitiformes) of the USSR fauna --- Entomol. Obozr., 41: 230-240.
- Wainstein B.A. 1962b --- Révision du genre *Typhlodromus* Scheuten, 1857 et systématique de la famille des Phytoseiidae (Berlese 1916) (Acarina: Parasitiformes) --- Acarologia, 4: 5-30.
- Wainstein B.A. 1973 --- Predatory mites of the family Phytoseiidae (Parasitiformes) of the fauna of the Moldovan SSR, In: Yaroshenko M.F. *et al.* (eds.) Fauna and Biology of Moldavian Insects --- Kishinev, Shtüntza. pp. 176-180.
- Wainstein B.A. 1975 --- Predatory mites of the family Phytoseiidae (Parasitiformes) of Yaroslav province --- Entomol. Obozr., 54(4): 914-922.
- Wainstein B.A. 1977 --- A contribution to the fauna of the family Phytoseiidae (Parasitiformes) in Australia --- Zool. Zh., 56(9): 1413-1416.

- Wainstein B.A., Shcherbak G.I. 1972 --- Gamasid species of the genus *Amblyseius* Berlese, 1904 (Parasitiformes: Phytoseiidae) new for the Ukrainian fauna --- *Vestn. Zool.*, 6(6): 35-44.
- Westerboer I., Bernhard F. 1963 --- Die Familie Phytoseiidae Berlese 1916. *In*: Stammer H. (ed. from Kreiter *et al.*, 2010). *Beitrage Zur Systematik und Okologie Mitteleuropaischer Acarina* --- Band II, Mesostigmata I, Germany, 451-791.
- Yuqing J.P., Pettitt F.L. 1994 --- Functional response of *Neoseiulus barkeri* Hughes on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) --- *Exp. Appl. Acarol.*, 18: 521-613.

4. CONCLUSION

Cette étude a permis d'identifier vingt-six espèces, appartenant à dix genres, trouvées dans les vergers d'agrumes tunisiens, parmi lesquelles onze sont nouvelles pour la faune tunisienne. Parmi ces espèces, six ont été trouvées sur les agrumes : *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *setubali*, *Typhlodromus* (*Typhlodromus*) *ernesti*, *Typhlodromus* (*Anthoseius*) *pegazzani*, *Typhlodromus* (*Anthoseius*) *yasminae*, *Proprioiseiopsis bordjelaini* et *Paraseiulus talbii*.

Euseius stipulatus était l'espèce la plus abondante sur les arbres, suivie par *P. persimilis*, *N. californicus*, *T. (A.) rhenanoides* et *T. (T.) phialatus*. Ces espèces ont également été les plus abondantes sur les plantes adventices, ce qui laisse penser que des échanges de Phytoseiidae existeraient entre les adventices et les arbres. Cependant, cette étude ne permet pas de conclure sur ce processus d'échanges. D'autres travaux sont donc nécessaires pour tester l'hypothèse d'une dispersion des herbes du sol vers les arbres et vice versa et pour déterminer quels sont les facteurs qui pourraient affecter la diversité et l'abondance des Phytoseiidae dans ces vergers. Pour cela, une analyse des données récoltées à partir de ces parcelles a été réalisée et les résultats sont présentés dans le chapitre 4 ci-après.

CHAPITRE IV

ETUDE DE L'EFFET DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LES PHYTOSEIIDAE DANS LES VERGERS AGRUMICOLES TUNISIENS

1. LES COMMUNAUTES D'ACARIENS ET LES PRATIQUES CULTURALES DANS 41 VERGERS D'AGRUMES TUNISIENS

1.1 Introduction

L'objectif de ce travail était de caractériser les incidences des pratiques agricoles appliquées par les agrumiculteurs sur les communautés de Phytoseiidae (densité et diversité). Les données issues d'une enquête réalisée auprès des agriculteurs (sur les pratiques culturales appliquées) et les densités et diversité d'acariens observées ont été analysées durant la période allant du septembre 2009 à août 2010. Les données comprennent : (i) les caractéristiques agronomiques des 41 parcelles de citrus choisies dans les régions les plus productrices d'agrumes en Tunisie et (ii) des données sur la densité et la diversité des Phytoseiidae qui y ont été collectées. Les densités des Tetranychidae au niveau des arbres et des adventices ont également été considérées. Les échantillonnages ont été réalisés sur les citrus et sur les adventices associés. Les enquêtes auprès des producteurs ont permis de collecter des informations sur le mode de désherbage utilisé (chimique, mécanique, sans désherbage), l'existence ou non d'une culture intercalaire, l'âge de la plantation, le mode d'irrigation, le nombre d'applications par année d'insecticides, fongicides, herbicides et le nombre total des pesticides appliqués.

Des analyses multifactorielles ont été réalisées afin de déterminer si ces facteurs cultureux affectaient la densité et la diversité des Phytoseiidae, ainsi que la densité des Tetranychidae sur les arbres et les adventices.

Les résultats de ces travaux figurent dans les articles 2 et 3 qui font suite à cette partie.

1.2 Article 2

Article 2- Agricultural practices influencing diversity and abundance of Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) in Tunisian citrus orchards
(Experimental and Applied Acarology, soumis)

Authors: Hajer Sahraoui^{1,2*}, Marie-Stéphane Tixier², Kaouthar Lebdi Grissa¹, Serge Kreiter²

- 1- Institut National Agronomique de Tunisie, Laboratoire de protection des plantes. 43, Avenue Charles Nicolle 1082 -Tunis- Mahrajène, Tunisie
- 2- Montpellier SupAgro, Unité Mixte de Recherche CBGP (INRA/ IRD/ CIRAD/ SupAgro), Campus International de Baillarguet, CS 30 016, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex, France

* **Corresponding author to whom correspondence should be sent:** tixier@supagro.inra.fr

Abstract

This study aims to determine the effect of some agricultural practices on the density and diversity of phytoseiid and tetranychid mites on citrus trees and associated wild ground cover. The surveys were carried out in forty-one citrus orchards located in the main citrus growing regions of Tunisia during a year. Samples were taken from citrus trees, and weeds. Data on agricultural practices were obtained from the producers. The database constituted contained information on spraying programs, weeding managements, ages of trees, cultivars, irrigation system and inter-cropping practices. The multifactorial analyses applied showed that none of these factors affected Phytoseiidae diversity and density except weeding managements, and insecticide sprayings. The lowest densities and diversities of phytoseiid mites were found in orchards with herbicide use. Tetranychidae densities on citrus trees were lower also when herbicides were applied. A negative correlation was found between the densities of Phytoseiidae and the number of pesticide sprayings. These preliminary results open new insights for crop management and biological control; however further experiments in additional citrus orchards and other farming strategies have to be conducted to confirm these observations.

Keywords: citrus; Phytoseiidae; diversity; abundance; weeds; pesticides

Introduction

Phytophagous mites are important pests in Tunisian citrus orchards causing serious damages especially in Clementine and Lemon groups (Grissa and Khoufi 2012). Traditionally, control of phytophagous mites in citrus is carried out using acaricide applications. However, the use of chemicals presents several problems, including their toxic effect on the main natural enemies of phytophagous mites, species of the family Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) (McMurtry and Croft 1997; Bonafos *et al.* 2008; Nadimi *et al.* 2008; Kaplan 2012). It is thus important to think about other ways to control these pests, ensuring the presence and the development of their natural enemies.

The majority of the species of the family Phytoseiidae are generalist predators, able to feed on phytophagous mites and insects, but also on a wide variety of food, as pollen, nectar, fungi ... (Castagnoli and Simoni 1990; McMurtry 1992; Duso *et al.* 1997; Addison *et al.* 2000; Broufas and Koveos 2000; Madinelli *et al.* 2002; Duso *et al.* 2003; Villanueva and Childers 2004; Bouras and Papadoulis 2005). They can be present in crops even when their favorite preys are absent, if perturbations and especially toxic pesticide applications are low. Furthermore, in addition to pesticide applications, the development of Phytoseiidae community can be affected by other agricultural practices.

Indeed, species diversity and abundance of phytoseiid mite in crops are reported to be mainly determined by climate (Arlunno 1990; Duso and Pasqualetto 1991) and stability of habitats and food resources (McMurtry and Croft 1997). Croft *et al.* (1990) analyzed the effect of nine factors suspected to affect the abundance of *Galendromus (Galendromus) occidentalis* (Nesbitt) and *Typhlodromus (Typhlodromus) pyri* Scheuten in apple orchards of Oregon. They found that the vegetation surrounding the trees and the use of pesticides were the most important factors. In a same way, several studies have shown that the presence of phytoseiids is greatly determined by the type of pest control strategy used (Arlunno *et al.* 1990; Childers *et al.* 2001; Chen *et al.* 2003; Hardman *et al.* 2006; Meyer *et al.* 2009). For instance, irrational use of insecticides, acaricides and fungicides had a negative effect on the abundance of phytoseiid mites in Italian and French vineyards (Arlunno *et al.* 1990; Kreiter *et al.* 2000). However, the majority of knowledge on the effect of agricultural practices on Phytoseiidae communities concerns pesticide applications.

A few studies have recently dealt with the effect of weeding strategies, showing that the use of herbicides in inter-rows has direct and/or indirect detrimental effects on Phytoseiidae (Rock and Yeargan 1973; Hilsop and Prokopy 1981; Kreiter *et al.* 1991; Kreiter *et al.* 1993) and Tetranychidae (Flexner *et al.* 1991; Alston 1994; Hardman *et al.* 2005, 2011). Other studies showed that use of some plants as ground cover (Mailloux *et al.* 2010; Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011) enhanced the diversity of Phytoseiidae in citrus orchards.

The effects of other agricultural practices were poorly reported. The objective of the present study is thus to assess the impact of agricultural practices on phytoseiid and tetranychid mites in 40 citrus orchards of the most important productive regions of Tunisia.

Material and Methods

The citrus orchards sampled

A survey of phytoseiid mites was carried out from September 2009 to August 2011, in 41 citrus orchards in the most important productive regions of Tunisia: nineteen orchards are situated in Cap Bon (which is the most important region for citrus production representing 75 % of the total citrus surface), eight in Tunis (Mornag, Sidi Thabet and Ariana), five in Bizerte, seven in the North West (Béja and Jandouba), one orchard in Sousse and one orchard in Kairouan (Fig. 1).

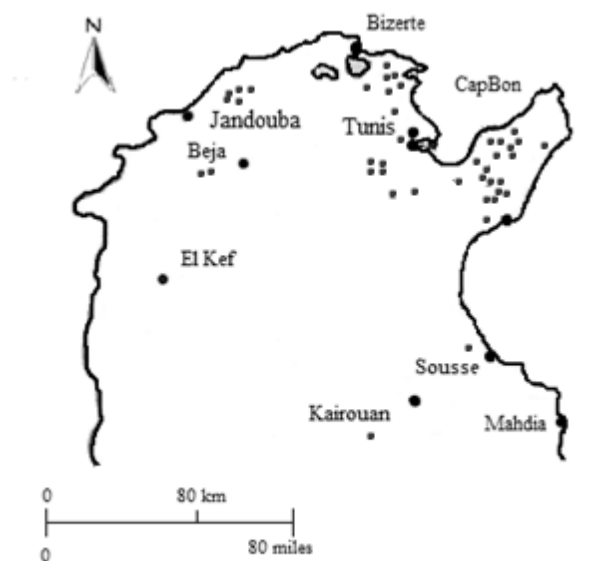


Figure 1. Geographical distribution of the sampled citrus orchards in Tunisia.

The agricultural practices

Twelve agricultural practices were investigated for each producer and plot considered: weed management strategy (herbicide use, mechanical weeding, without weeding), citrus cultivar or species, mono- or poly-culture (existence or not of an intercropping culture), irrigation system (dropping or channels system), densities of plantation, age of the citrus trees and number of fungicides, insecticides and herbicides applied. In addition, the locality of the orchard and the sampling date were also noted and included in the database containing the latter information. The data collected are presented in the table 1.

In order to be analyzed, the twelve former agricultural factors were classified into categories as follows

- The locality : **1** - Cap Bon, **2** - North (Bizerte), **3** - Sahel (Sousse), **4** - Center (Kairouan), **5** - North West (Jandouba, Beja), **6** - Tunis (Morneg, Ariana, Bni khalled)
- The sampling date : **1** November, December, January, February (High rain rate, low temperatures); **2** - March, April, May, June; **3** - July, August, September, October (High temperatures, low relative humidity)
- The weed management modality : **1** - Herbicide; **2** - mechanical weeding; **3** - without weeding
- The density of plantation : **1** – 3 x 3 m; **2** – 3 x 4 m; **3** – 4 x 4 m
- The irrigation system : **1** - dropping system; **2** - channels system
- The age of citrus trees : **1** – young trees < 5 years; **2** – medium young trees 5 to 10 years; **3** – medium old trees 10 to 15 years; **4** old trees > 15 years
- The inter-cropping: **1** - without intercropping; **2** - with intercropping
- The citrus species: **1** - Lemon; **2** - Clementine; **3** - Orange; **4** - mix of species
- The number of pesticide sprays for each category fungicides, insecticides and herbicides and the total number of pesticide sprays.

Table 1: Matrix presenting the variables studied [A-Locality, B-sampling date, C-weeding modality, D-variety, E-intercropping, F-irrigation system, G-density of plantation, H-age, I-number of fungicide, J-number of insecticide, K-number of herbicide, L-total number of pesticides] and mite density groups [M-class of Tetranychidae on weeds, N-class of Tetranychidae on citrus, O-class of Phytoseiidae on citrus, P-class of Phytoseiidae on weeds, Q-phytoseiid species total, R-species on citrus, S-species on weeds]

Reference	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
CB1	1	3	1	1	1	1	2	4	0	5	1	6	1	1	2	2	3	2	2
CB2	1	3	1	1	1	1	2	2	1	5	2	10	1	1	1	1	0	0	0
TU1	6	1	1	4	1	1	2	2	2	5	2	11	1	1	2	1	1	1	0
CB3	1	1	2	4	1	1	2	2	0	3	0	3	1	3	2	1	2	2	0
CB4	1	1	1	3	1	1	2	2	0	3	1	4	1	1	2	1	1	1	0
TU2	6	1	1	4	1	1	3	2	0	3	1	4	1	1	2	2	1	1	1
CB5	1	1	2	4	1	1	1	3	1	1	0	2	3	1	1	1	0	0	0
CB6	1	1	1	4	1	1	2	2	2	1	1	4	2	2	3	1	2	2	0
CB7	1	1	1	4	1	2	2	3	0	1	1	2	2	1	2	1	3	3	0
CB8	1	1	2	4	1	2	2	3	0	1	0	1	1	2	1	2	2	0	2
CB9	1	1	2	4	1	1	3	3	0	1	0	1	1	1	3	1	2	2	0
CB10	1	2	2	3	1	2	2	3	0	2	0	2	1	2	3	2	2	1	2
CB11	1	2	1	4	1	2	2	3	0	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1
TU3	6	2	2	2	1	2	3	3	0	4	0	4	1	1	3	1	4	4	0
BZ1	2	2	3	3	1	1	3	3	0	1	0	1	3	1	3	3	6	4	6
TU4	6	2	2	2	1	2	3	4	0	0	0	0	1	1	2	1	7	7	0
JN1	5	2	1	4	1	1	3	2	1	4	1	6	2	1	1	1	0	0	0
CB12	1	2	1	3	1	2	2	2	1	4	1	6	1	1	2	1	1	1	0
JN2	5	2	1	4	1	1	2	1	0	4	1	5	1	1	1	1	0	0	0
JN3	5	2	1	4	1	1	2	1	0	3	1	4	1	1	1	1	1	0	0
JN4	5	2	3	4	1	1	2	2	0	3	0	4	3	1	1	1	1	0	0
SS1	3	2	2	4	1	1	3	4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
TU5	6	3	1	4	2	1	2	2	1	5	1	7	2	1	1	1	2	0	0
KR1	4	2	1	4	1	1	3	2	2	5	1	8	2	1	1	1	0	0	0
CB13	1	2	2	2	1	2	2	3	0	2	0	2	1	1	1	1	0	0	0
BZ2	2	2	2	4	1	1	3	2	1	2	0	3	1	1	2	1	3	3	0
TU6	6	2	2	4	1	2	3	2	1	1	0	2	1	1	1	3	1	0	1
TU7	6	2	1	4	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	1	0	0	0
TU8	6	2	1	4	1	1	2	2	0	1	1	2	3	1	2	2	3	1	3
CB14	1	2	2	4	1	1	1	2	0	1	0	1	1	1	2	2	3	2	1
CB15	1	2	2	4	1	2	1	3	1	2	0	3	1	1	1	2	3	1	3
BZ3	2	2	1	4	1	2	2	3	0	3	1	4	1	1	3	1	2	2	0
BZ4	2	2	1	4	1	2	2	2	0	1	0	1	1	3	2	2	4	2	2
BZ5	2	2	1	4	1	1	3	2	0	1	1	2	1	1	2	1	1	1	0
BJ1	5	2	1	4	1	1	2	1	0	1	1	2	1	1	1	2	1	0	1
BJ2	5	2	2	4	2	2	3	2	1	1	0	2	1	1	2	1	1	1	0
CB16	1	2	1	4	1	2	2	3	1	3	1	5	1	2	2	2	3	2	1
CB17	1	2	1	4	1	1	2	3	0	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1
CB18	1	2	1	4	1	1	2	3	0	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1
JN5	5	2	1	4	1	1	2	2	1	2	1	4	1	1	1	2	1	0	1
CB19	1	3	2	1	1	2	2	2	0	2	0	2	2	1	2	2	5	5	1

Samplings

Samplings were carried once in the 41 selected orchards, both on citrus trees (30 leaves randomly taken) and weeds (2 liters randomly collected in the inter-row). Samples of each plant were put individually in plastic bags and then brought back to the laboratory in freezing boxes for mite extraction. Mites were extracted from the citrus leaves and weeds of each plot, using the soaking-checking-washing-filtering method (Boller 1984). All mites belonging to families Tetranychidae and Phytoseiidae were collected and counted. Only Phytoseiidae were mounted on slides in Hoyer's medium (Gutierrez 1985) and identified using a phase contrast microscope. The generic classification of Chant and McMurtry (2007) and specific keys (Ferragut *et al.* 2009; Papadoulis *et al.* 2009) were used for species identification.

In order to analyze the effects of agricultural practices on mite communities, the densities of mites have been transformed in three abundance class (very low, medium and high densities) (Table 2).

Table 2. Abundance classes defined according to the Phytoseiidae densities observed on citrus trees and weed samples

	Class1	Class 2	Class 3
Tetranychidae on citrus (individual/leaf)	0 - 0.1	0.1 - 0.3	0.3 - 0.8
Tetranychidae on weeds Individual/sample	0 - 10	10 - 50	50 - 150
Phytoseiidae on citrus (individual/leaf)	absent	0.01 - 1	1 - 3
Phytoseiidae on weeds Individual/sample	absent	1 - 10	>10

Statistical analyses

A multifactorial analysis, simple regressions tests and discriminant analyses were carried out to determine the effect of the 12 parameters cited above on the densities and diversity of Phytoseiidae and on the densities of Tetranychidae on weeds and citrus trees. Statistical analyses were made by using Statistica software version 9 (Statsoft 2010).

Results

The farming practices

Responses of the producers revealed that the application of glyphosate represents the most current weeding practice in the Tunisian citrus orchards considered (60 %) followed by mechanical weeding (38 %). The majority of citrus farmers (73 %) applied one to four pesticides, 22 % from five to 11 sprayings and 5 % of the sampled orchards did not receive

any pesticide treatment. A great part (63%) of the orchards was irrigated with dropping system. Intercropping is a quite rare practice, it was observed only in two orchards, in Tunis and Beja (North West) with plantation of other fruit trees. Any agricultural practice is specific to a production region or to a citrus species.

Phytoseiidae and Tetranychidae mite occurrence

A total of 1,116 Phytoseiidae specimens were collected and fifteen species identified. Ten species were observed on citrus and eight on weeds (Table 3). *Euseius stipulatus* was the most abundant species on citrus trees (82 %) followed by *P. persimilis*, *N. californicus*, *T. (A.) rhenanoides* and *T. (T.) phialatus* which only represented respectively 4 %, 5 %, 3 % and 1 % of the phytoseiids collected from citrus trees. Even if the samplings have been carried at different dates for each orchard, the sampling date has not been shown to affect the densities of the mites through the experiment (Fig. 2).

Table 3: Phytoseiid species identified during the surveys on weeds and citrus leaves in the 41 citrus orchards surveyed in Tunisia.

Species of Phytoseiidae	Total number of Phytoseiidae	Percentage %
<i>Euseius stipulatus</i> (Athias-Henriot)	335	40.4
<i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot	302	36.4
<i>Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides</i> Athias-Henriot	59	7.1
<i>Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus</i> Athias-Henriot	51	6.1
<i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor)	37	4.5
<i>Typhlodromus (Anthoseius) athenas</i> Swirski and Ragusa	16	1.9
<i>Typhlodromus (Anthoseius) foenilis</i> Oudemans	11	1.3
<i>Iphiseius degenerans</i> (Berlese)	5	0.6
<i>Typhlodromus (Anthoseius) recki</i> Wainstein	4	0.5
<i>Paraseiulus talbii</i> (Athias-Henriot)	3	0.4
<i>Typhlodromus (Anthoseius) yasminae</i> Faraji	2	0.2
<i>Typhlodromus (Typhlodromus) setubali</i> (Dosse)	2	0.2
<i>Neoseiulus longilaterus</i> (Athias-Henriot)	1	0.1
<i>Euseius scutalis</i> (Athias-Henriot)	1	0.1
<i>Neoseiulus alpinus</i> (Athias-Henriot)	1	0.1
TOTAL	830	100

Agricultural practices and mite communities

The figure 2 presents a projection on the axes 1 and 2 of the multifactorial analysis of (i) the 12 variables agricultural practices and orchard characteristics and (ii) the mite variables: densities of Phytoseiidae (on weeds and citrus leaves), densities of Tetranychidae (on weeds and citrus leaves) and the diversity of Phytoseiidae (number of species).

Densities of Tetranychidae and Phytoseiidae seem to be correlated; they vary in the same way. The same correlation applies to the variables diversity of Phytoseiidae on weed and citrus leaves. On the opposite, Phytoseiidae and Tetranychidae abundance and diversity are set against variables corresponding to the number of chemicals sprayings. These former variables are positively correlated to the irrigation method, the age of the citrus trees and the modality of weeding. The channels irrigation system seems to be positively correlated with high densities of Phytoseiidae. Orchards with no weeding correspond to the highest densities of Phytoseiidae.

This projection also shows that some variables (represented by the axis 2) little affect the system: the density of plantation, the sampling date, the existence or not of inter-cropping and the citrus variety. On the axis 1, the citrus variety is important, and is correlated to the diversity of Phytoseiidae. The highest diversities were so observed in the orchards planted with the lemon and Clementine species.

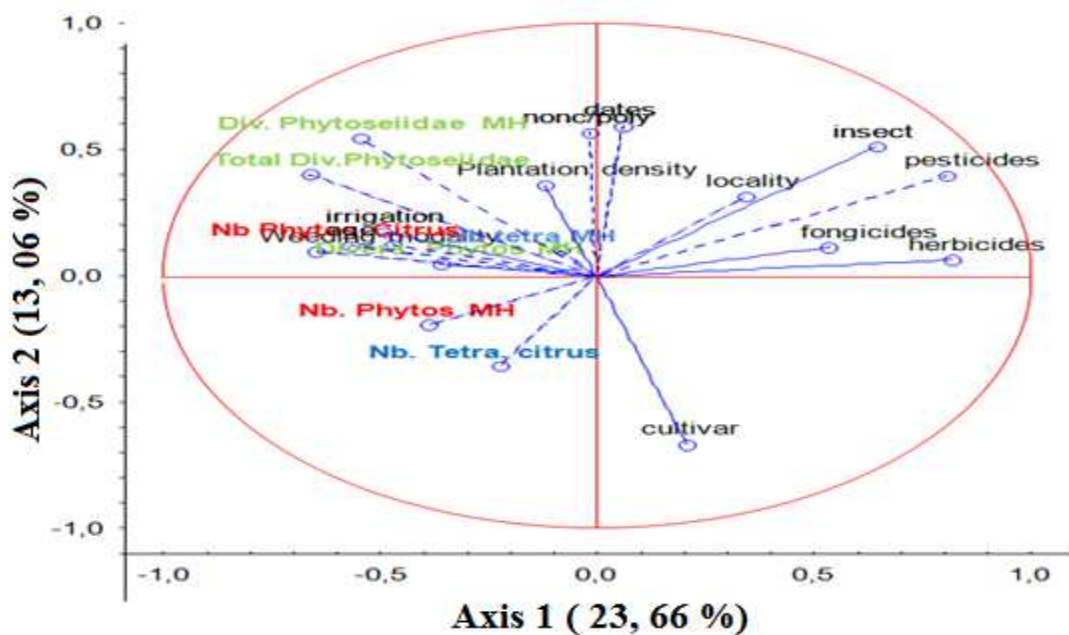


Figure 2. Projection of the variables on the multifactorial plan 1-2. Percentages on the axes refer to the amount of variation accounted for the first and second axes.

The figure 3 presents the projection of the 41 plots on the axes 1 and 2 of the multifactorial analysis. A clear difference is observed between the orchards: CB1, CB2, TU1, TU5 and KR1 (on the upper right of the graph) and the orchards TU3, TU4, CB19 and BZ1 (on the upper left of the graph). The former orchards are characterized by the highest number of pesticide sprayings and by the use of herbicides. They are also characterized by very low densities of mites: Phytoseiidae are almost absent on weeds and citrus leaves and Tetranychidae were present only in two orchards (TU5 and KR1) on weeds. On the other hand, the latter group of orchards received low pesticide applications (0-4) and weeds were mechanically destroyed. They are also characterized by the highest number of phytoseiid species on citrus.

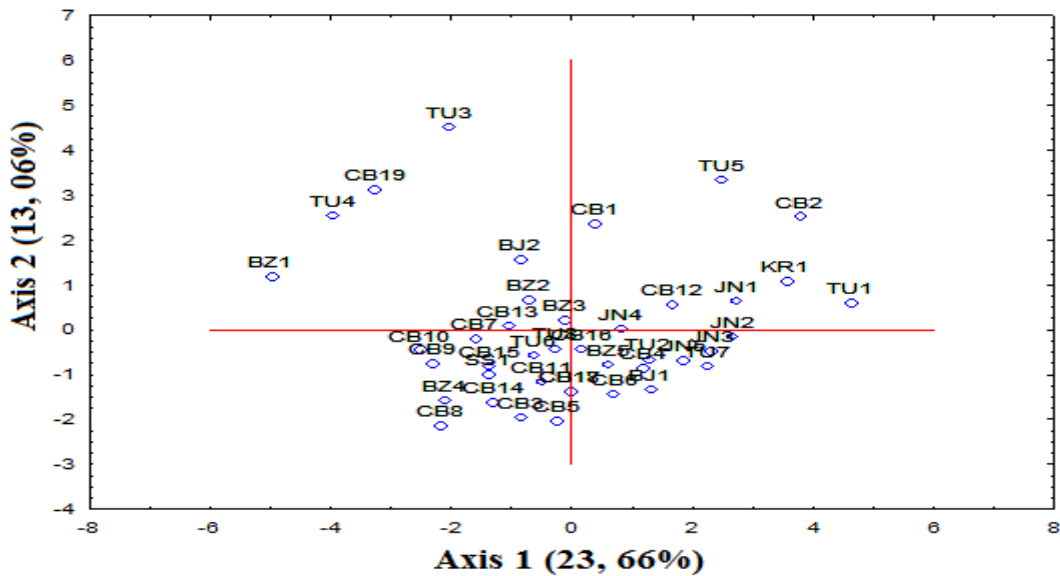


Figure 3. Projection of the 41 citrus orchards on the factorial plan 1-2. Percentages on axes refer to the amount of variation accounted for the first and second axes.

To better characterize the effect of the agricultural practices on densities and diversities of mites, discriminant analyses and regression tests were carried. The discriminant analysis aiming to determine how agricultural practices affect the Tetranychidae densities on weeds shows that the Tetranychidae density class 3 is quite well separated from the others on the axis 1 explained by the weeding modality, the number of fungicide sprayings and the number of herbicides applied (Fig. 4). High densities of Tetranychidae mites are thus present in plots characterized by high numbers of fungicide and herbicide sprayings and with “no weeding”. In the same way, the positive and significant correlation between the densities of Tetranychidae on weeds and the weeding modality ($R^2 = 0.62 - P = 0.006$) shows that the orchards with weeds not destroyed had the highest densities of Tetranychidae on weeds.

The discriminant analysis (Fig. 5) carried out to determine the effect of agricultural practices on Tetranychidae densities on citrus shows that only the Tetranychidae density class 3 is separated from the others on the axis 1 mainly explained by the number of herbicides applied. The highest number of Tetranychidae on citrus leaves is thus observed on orchards characterized by low number of herbicides applied. The negative and significant correlation between densities of Tetranychidae on citrus and the number of herbicide treatments ($R^2 = 0.92 - P = 0.03$) confirms this result.

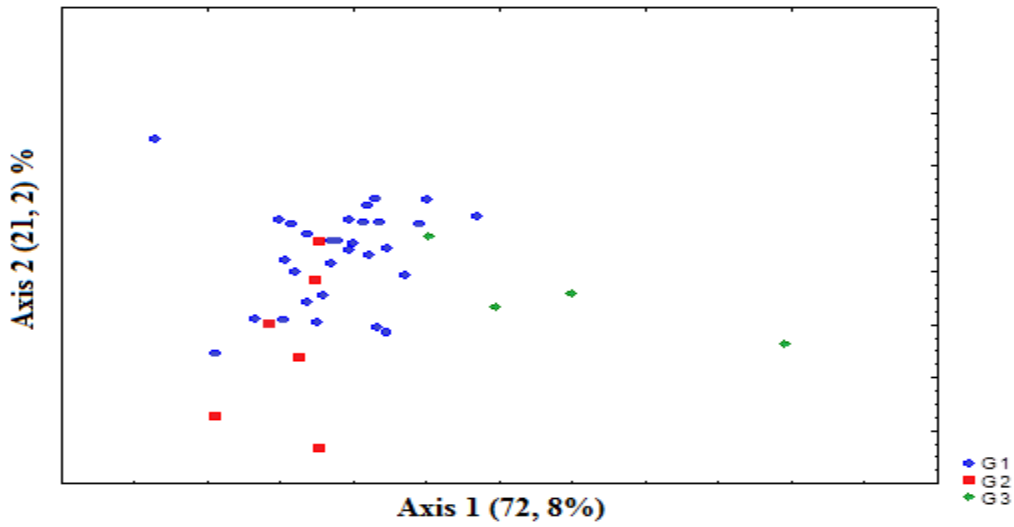


Figure 4. Discriminant analysis showing the distribution of the 41 citrus orchards according to their Tetranychidae abundance classes on weeds according to the number of specimen on samples. Group 1: 0 – 10, Group 2: 10 – 50 and Group 3: 50 – 150. Percentages on axes refer to the amount of variation accounted for the first and second axes.

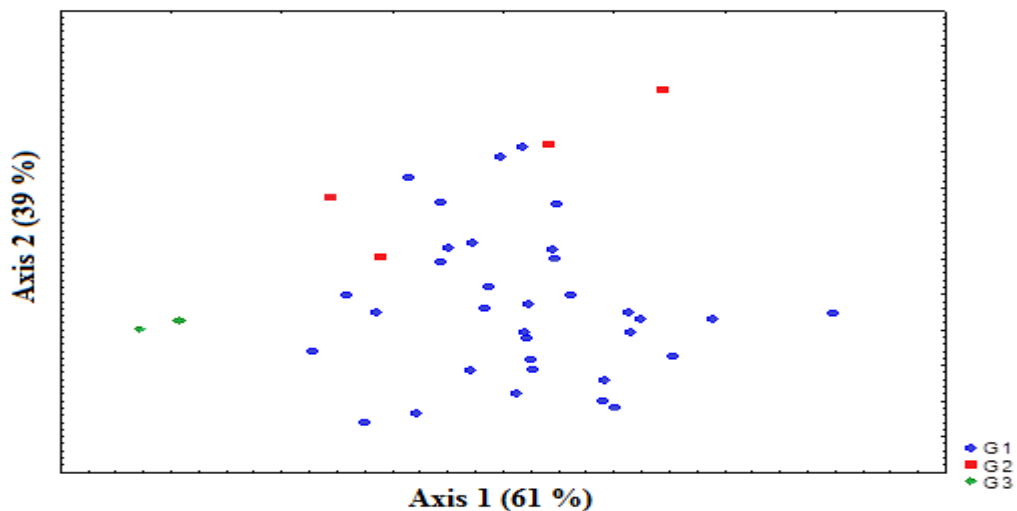


Figure 5. Discriminant analysis showing the distribution of the 41 citrus orchards according to their Tetranychidae abundance classes on citrus according to the number of specimen /citrus leaf. Group 1: 0 – 0.1, Group 2: 0.1 – 0.3 and Group 3: 0.3 – 0.8. Percentages on axes refer to the amount of variation accounted for the first and second axes.

The other discriminant analyses carried out to explain the Phytoseiidae density and diversity show no separation between the three phytoseiid density and diversity classes (on weeds and citrus) according to the variables studied. However, a significant correlation between the densities of Phytoseiidae on weeds and the weeding modality ($R^2 = 0.62 - P = 0.02$) was observed: the orchards with no weeding presented the highest densities of Phytoseiidae on weeds.

Positive and significant correlations were also observed between (i) densities of Phytoseiidae on weeds and on citrus ($R^2 = 0.50 - P = 0.000$) and (ii) densities of Tetranychidae on citrus and those of Phytoseiidae on weeds ($R^2 = 0.15 - P = 0.01$). However, no significant correlation was observed between densities of Tetranychidae on weeds and those of Phytoseiidae on weeds ($R^2 = 0.002 - P = 0.74$), and of Tetranychidae on citrus ($R^2 = 0.015 - P = 0.043$). The densities of Phytoseiidae on citrus were either not correlated with those of Tetranychidae on citrus ($R^2 = 0.043 - P = 0.19$) and nor to those of Tetranychidae on weeds ($R^2 = 0.0003 - P = 0.97$).

Discussion and conclusion

The multifactorial analyses show that orchards with the highest number of pesticide sprayings presented the lowest diversity and density of Phytoseiidae both on citrus leaves and weeds. This result agrees with previous studies that showed that Phytoseiidae densities are higher in non-sprayed crops than in sprayed ones (Peverieri *et al.* 2009). Furthermore, many studies have shown that some insecticides used for pest control like pyrethroids and imidacloprid (Bostanian and Belanger 1985; James 1997; Bostanian *et al.* 2010; Kreiter *et al.* 2010) are toxic for phytoseiids. For instance, application of pyrethroids and a non-selective acaricide in an apple orchard in Canada suppressed phytoseiids, allowing exponential increases of *Tetranychus urticae* Koch in the ground cover and in tree canopies (Hardman 2007). Moreover, applications of some fungicides including sulfur which is currently used by Tunisian farmers could also have negative impact on predatory mite densities (Childers and Enns 1975; Kreiter *et al.* 2010).

The densities of Phytoseiidae on weeds seem to be also correlated with weed management used. The lowest densities were observed in orchards where herbicides were applied. Negative effects of herbicides on Phytoseiidae can be direct by a toxic effect or indirect by habitat destruction. Indeed, some studies have already shown a negative effect of herbicide on

Phytoseiidae (Kreiter *et al.* 1991; Kreiter *et al.* 1993). Furthermore, Mailloux *et al.* (2010) showed that Phytoseiidae are susceptible to the rate of ground cover sprayings with glyphosate.

The densities of Phytoseiidae on weeds are also positively correlated with their densities on citrus, suggesting thus an impact of weeding management on Phytoseiidae densities on associated trees. Johnson and Croft (1981) also found a correlation between the densities of *Neoseiulus fallacis* (Garman) on weeds and apple trees. It seems thus that agricultural practices with negatively effect on these predators in weeds (such as herbicide applications) will also indirectly affect Phytoseiidae densities on trees.

Concerning the Tetranychidae, three factors have been presently found to affect mainly their densities on weeds: the weeding management and the number of herbicide and fungicide sprayings. In a same way, Hardman *et al.* (2006) showed that fungicides applied in apple orchards in Canada negatively affected the number of *T. urticae* caught in sticky bands on tree trunks. The lowest densities of Tetranychidae were observed in orchards where glyphosate was applied. It can be explained by the destruction of the Tetranychidae host plant, which necessarily affected the Tetranychidae population. A significant negative correlation was also observed between the densities of Tetranychidae on citrus trees and the number of herbicide sprayings; orchards with chemical weeding presented low densities of tetranychid mites on citrus leaves. This can seem be contradictory with some studies that showed that the chemical weeding increase the migration of phytophagous mites to trees (Flexner *et al.* 1991; Alston 1994; Hardman *et al.* 2005, 2011). However, this can be explained by the effect of insecticide and fungicide applications on the tetranychid densities on citrus trees.

Finally, no correlation was observed between the densities of Phytoseiidae and Tetranychidae on weeds and citrus trees. This is certainly due to the fact that most of the phytoseiid species herein collected are generalist predators which are able to survive and develop in the absence of preys (Nyrop *et al.* 1998).

The overall objective of this survey was to evaluate the effect of agricultural practices on the diversity and densities of Phytoseiidae family in the Tunisian citrus orchards. It seems that pesticide use and weed management techniques applied by the Tunisian farmers affected the predators of the family Phytoseiidae. The chemical ground cover management appears to have

a negative influence on the abundance or species composition of phytoseiid mites on the citrus trees. While the effect of the excessive use of pesticides and herbicides seem to be evident questions remains especially on the better strategy to use and how to incorporate this strategy in biological and integrated pest control programs. Furthermore, information on exchanges between trees and wild cover according to the weeding strategies needs to be investigated. Further long-term research comparing different management systems, investigating dispersal of mites between trees and weeds are thus planned to evaluate the diversity and abundance of mite community according to weeding management.

Acknowledgements

We would like to express our warm thanks to all the citrus producers for their cooperation during the surveys and all the staff of the CTA for the involvement in this work.

References

- Addison JA, Hardmann JM, Walde SJ (2000) Pollen availability for predacious mites on apple: spatial and temporal heterogeneity. *Exp Appl Acarol* 24: 1-18.
- Aguilar-Fenollosa EF, Ibanez GMV, Pascual RS, Hurtado M, Jacas JA (2011) Effect of ground cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in Clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms. *Biol Contr* 59: 171-179.
- Alston DG (1994) Effect of apple orchard floor vegetation on density and dispersal of phytophageous and predatory mites in Utah. *Agr Ecosys Environ* 50: 73-84.
- Arlunno E, Gaboardi F, Lozzia GC, Rigamonti IE, Vercelloni S (1990) Influence of environmental conditions and agricultural practices on phytoseiid mite populations in vineyards in Novara. *Journal Vignevini* 17(7-8): 43-47.
- Bonafos R, Auger P, Guichou S, Kreiter S (2008) Suitability of two laboratory testing methods to evaluate the side effects of pesticides on *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae). *Pest Management Science* 64: 178-184.
- Bostanian NJ, Belanger A, Rivard I (2012) Residues of four synthetic Pyrethroids and Azinphos-Methyl on apple foliage and their toxicity to *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae). *Can Entomol* 117 (02): 143-152.

- Bostanian NJ, Hardman JM, Thistlewood HMA, Racette G (2010) Effects of six selected orchard insecticides on *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in the laboratory. *Pest Management Science* 66 (11): 1263-1267.
- Bouras SL, Papadoulis GTh (2005) Influence of selected fruit tree pollen on life history of *Euseius stipulatus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 36 (1-2): 1-14.
- Broufas GD, Koveos DS (2000) Effect of Different Pollens on Development, Survivorship and Reproduction of *Euseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae). *Environ Entomol* 29 (4): 743-749.
- Castagnoli M, Simoni S (1990) Biological observations and life table parameters of *Amblyseius cucumeris* (Oud.) (Acarina: Phytoseiidae) reared on different diets. *Redia* 73 (2): 569-583.
- Chen T-Y, French JV, Liu T-X, da Graça J (2003) Residual Toxicities of Pesticides to the Predaceous Mite *Galendromus helveolus* (Acari: Phytoseiidae) on Texas Citrus. *Subtropical Plant Science* 55: 40-45.
- Childers CC, Aguilar H, Villanueva R, Abou-Setta MM (2001) Comparative Residual Toxicities of Pesticides to the Predator *Euseius mesembrinus* (Acari: Phytoseiidae) on Citrus in Florida. *Fla Entomol* 84 (3): 391-401.
- Childers CC, Enns WR (1975) Field evaluation of early season fungicide substitutions on Tetranychid mites and the predators *Neoseiulus fallacis* and *Agistemus fleschneri* in two Missouri apple orchards. *J Econ Entomol* 68: 719-724.
- Croft BA, Shearer P, Fields G, Riedl H (1990) Distribution of *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) and *Typhlodromus pyri* Scheuten (Parasitiformes: Phytoseiidae) in apple orchards of the Hood River Valley, Oregon. *Can Entomol* 122 (1-2): 5-14.
- Duso C, Malagnini V, Paganelli A (1997) Indagini preliminari sul rapporto tra polline e *Kampimodromus aberrans* (Acari: Phytoseiidae) su *Vitis vinifera* L. *Allionia* 35: 229-239.
- Duso C, Pasqualetto C (1993) Factors affecting the potential of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) as biocontrol agents in North-Italian vineyards. *Exp Appl Acarol* 17(4): 241-258.
- Duso C, Pozzebon A, Capuzzo C, Bisol PM, Otto S (2003) Grape Downy Mildew Spread and Mite Seasonal Abundance in Vineyards: Evidence for the Predatory Mites *Amblyseius andersoni* and *Typhlodromus pyri*. *Biol Contr* 27: 229-241.

- Flexner JL, Westgard PH, Gonsalves P, Hilton R (1991) The effect of ground cover and herbicide treatment on two-spotted spider mite density and dispersal in southern Oregon pear orchards. *Entom Exp Appl* 60: 111-123.
- Grissa LK, Khoufi A (2012) Bio-ecology of phytophagous mites on Citrus. 7th EURAAC Symposium Vienna-Austria, abstracts: 92.
- Hardman JM, Franklin J L, Jensen KIN, Moreau DL (2006) Effects of pesticides on mite predators (Acari: Phytoseiidae) and colonization of apple trees by *Tetranychus urticae*. *Phytoparasitica*, 34 (5): 449-462, DOI: 10.1007/BF02981199
- Hardman JM, Jensen K, Franklin J, Moreau D (2005) Effects of dispersal, predators (Acari, Phytoseiidae), weather, and ground cover treatments on populations of *Tetranychus urticae* (Acari, Tetranychidae) in apple orchards. *J Econ Entomol* 98: 862-874.
- Hardman JM, Franklin JL, Bostanian NJ, Thistlewood HMA (2011) Effect of the width of the herbicide strip on mite dynamics in apple orchards. *Exp Appl Acarol* 53: 215-234.
- Hislop RG, Prokopy RJ (1981) Integrated management of phytophagous mites in Massachusetts (U.S.A.) apple orchards. Influence of pesticides on the predator *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *Prot Ecol* 3: 157-172.
- James DG (1997) Imidacloprid increases egg production in *Amblyseius victoriensis* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 21(2): 75-82.
- Johnson DT, Croft BA (1981) Dispersal of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) in Apple ecosystem. *Environ Entomol* (10): 313-319.
- Kaplan P, Yorulmaz S, Ay R (2012) Toxicity of insecticides and acaricides to the predatory mite *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). *Int J Acarol*, DOI: 10.1080/01647954.2012.719031
- Kreiter S, Auger P, Bonafos R (2010) Side effects of pesticides on phytoseiid mites in French vineyards and orchards: laboratory and field trials. *Trends in Acarology* , Part 13: 457-464.
- Kreiter S, Brian F, Magnien C, Sentenac G, Valentin G (1991) Spider mites and chemical control of weeds: interactions. *Modern Acarology* 2: 725-736.
- Kreiter S, Sentenac G, Valentin G (1993) Interaction entre le désherbage chimique de la vigne et les populations d'acariens phytophages et prédateurs. ANPP- 3^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture- Résultats de terrain. Montpellier: 821-830.

- Kreiter S, Tixier M-S, Auger P, Muckenstrum N, Sentenac G, Doublet B, Weber M (2000) Phytoseiid mites of vineyards in France. *Acarologia* 41 (4): 75-94.
- Madinelli S, Mori N, Girolami V (2002) The importance of pollen from herbaceous cover for phytoseiid mites. *Informatore Agrario* 58 (15): 125-127.
- Mailloux J, Le Bellec F, Kreiter S, Tixier M-S, Dubois P (2010) Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Exp Appl Acarol* 52 (3): 275-290.
- McMurtry JA (1992) Dynamics and potential impact of generalist phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species. *Exp Appl Acarol* 14: 371-382.
- McMurtry JA, Croft BA (1997) Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu Rev Entomol* 42: 291-321.
- Meyer G de A, Kovaleski A, Valdebenito-Sanhueza RM (2009) Pesticide selectivity used in apple crops *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). *Revista Brasileira de Fruticultura* 31 (2): 381-387.
- Nadimi A, Kamali K, Arbabi M, Abdoli F (2008) Side-effects of three Acarides on the predatory mite, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) under laboratory conditions. *Munis Entomology and Zoology* 3 (2): 556-567.
- Nyrop JP, Minns JC, Herring CP (1994) Influence of ground cover on dynamics of *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina; Phytoseiidae) in New York apple orchards. *Agr Ecosys Environ* 50: 61-72.
- Peverieri GS, Simoni S, Goggioli D, Liguori M, Castagnoli M (2009) Effects of variety and management practices on mite species diversity in Italian vineyards *Bulletin of Insectology* 62 (1): 53-60.
- Rock GC, Yeargan DR (1973) Toxicity of apple orchard herbicides and growth regulating chemicals to *Neoseiulus fallacis* and two spotted mite. *J Econ Entomol* 66: 1342-1343.
- Villanueva RT, Childers CC (2004) Phytoseiidae increase with pollen deposition on citrus leaves. *Fla Entomol* 87(4): 609-611.

1.3 Conclusion

Les résultats obtenus suggèrent l'importance de deux facteurs sur les populations de Phytoseiidae : la gestion des adventices et l'utilisation des pesticides. Les densités et les diversités les plus basses des phytoséiides ont été observées dans les vergers dans les parcelles dans lesquelles un désherbage chimique était appliqué et dans celles présentant un nombre élevé de traitements phytosanitaires. La densité des Tetranychidae sur les arbres était également la plus basse dans les parcelles désherbées chimiquement. Une corrélation positive a été trouvée entre les densités de Phytoseiidae sur les arbres et sur les plantes adventices. Afin de déterminer comment ces pratiques intégrées dans des stratégies de gestion plus globales pouvaient affecter les communautés d'acariens, des études dans trois parcelles conduites différemment ont été réalisées.

2. LES COMMUNAUTES DE PHYTOSEIIDAE ET LES MODES DE GESTION BIOLOGIQUE, RAISONNEE ET CONVENTIONNELLE DES PARCELLES DE CITRUS

2.1 Introduction

Afin de mieux caractériser les densités et diversité des Phytoseiidae au cours d'une saison de production, trois parcelles présentant des pratiques culturelles contrastées ont été choisies.

- Une parcelle conduite en agriculture biologique (Fig. 8)
- Une parcelle conduite en agriculture raisonnée avec des traitements phytosanitaires limités (Fig. 9)
- Une parcelle conduite en agriculture conventionnelle avec des traitements phytosanitaires intensifs (Fig. 10)

Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet du mode de conduite sur la densité et la diversité de ces acariens. Le travail a consisté à réaliser un suivi de la biodiversité et de la densité des Phytoseiidae dans les parcelles citées précédemment. Pour cela, des échantillonnages ont été effectués dans ces trois parcelles d'agrumes durant une année avec une fréquence de deux échantillonnages par mois. Pour analyser la diversité, les indices exposés dans le chapitre 2 ont été utilisés. Les résultats obtenus sont présentés dans l'article 3.

2.2 Article 3



Figure 8. Photos de la parcelle (1) conduite en agriculture biologique (Takesla, Cap Bon)



Figure 9. Photos de la parcelle (2) conduite avec traitements chimiques limités (Manzel Bouzelfa, Cap Bon)



Figure 10. Photos de la parcelle (3) conduite avec traitements chimiques intensifs utilisation de l'herbicide, avec des lignes d'haricot plantées en avril (Azib, Bizerte).

Article 3- Diversity and population dynamics of Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) in three Tunisian citrus orchards (Acarologia, soumis)

Sahraoui Hajer^{1,2*}, Marie-Stéphane Tixier², Kaouthar Lebdi-Grissa¹, Serge Kreiter²

1- Institut National Agronomique de Tunisie, Laboratoire de protection des plantes. 43, Avenue Charles Nicolle 1082 -Tunis- Mahrajène, Tunisie

2- Montpellier SupAgro, Unité Mixte de Recherche CBGP (INRA/ IRD/ CIRAD/ SupAgro), Campus International de Baillarguet, CS 30 016, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex, France

* **Corresponding author to whom correspondence should be sent:** tixier@supagro.inra.fr

Abstract — Surveys of phytoseiid mites were carried out in three Tunisian citrus orchards; the first was conducted according to organic farming; the second was conducted according to integrated pest management; the third was conventionally conducted with intensive use of pesticides. The aim of the present study was to determine Phytoseiidae diversity in the latter types of orchards and to compare their population dynamics in order to characterize how agricultural practices affect phytoseiid fauna both on trees and on weeds in the inter-rows. The highest diversity on both citrus and weeds was observed in the organic citrus orchard (8 species on citrus and 8 species on weed). In the conventionally managed orchard, only three and four species of Phytoseiidae were found on weeds and trees, respectively. The differences observed in Phytoseiidae diversity and densities in the three studied orchards seem to be linked to cultural practices and especially to pesticide treatments. However, no substantial difference was found in the phytoseiid specific composition in citrus trees between the three types of orchards since the dominant phytoseiid species was *Euseius stipulatus* in the three orchards (92 %, 98 % and 79 % for orchards 1, 2 and 3, respectively). This study could be considered as an attempt to evaluate the factors affecting the diversity and density of phytoseiid mites in citrus orchards.

Keywords — citrus; Phytoseiidae; weed management; pesticide; diversity; dynamic; organic; conventional

Introduction

Eight important species of phytophagous mites, belonging to Tetranychidae, Tenuipalpidae, Eriophyidae and Tarsonemidae occur in Tunisian citrus orchards (Kreiter *et al.*, 2002). These mites, and specially *Tetranychus urticae* Koch, cause serious damages (Grissa and Khoufi, 2012). This latter species is particularly abundant in Tunisian citrus orchards from mid-March to June and from September to December; the Clementine cultivar being the most susceptible one (Grissa and Khoufi, 2012).

The most important natural enemies of phytophagous mites are Phytoseiidae (McMurtry and Croft, 1997). Surveys carried out in Tunisian citrus orchards showed the presence of 18 species belonging to the following genera: *Graminaseius*, *Euseius*, *Iphiseius*, *Neoseiulus*, *Phytoseiulus*, *Phytoseius*, *Typhlodromus*, *Paraseiulus* and *Proprioseiopsis* (Kreiter *et al.*, 2010; Sahraoui *et al.*, 2012). Among these species, five are particularly abundant and widely geographically distributed: *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) being the dominant species, *Iphiseius degenerans* (Berlese), *Neoseiulus californicus* (McGregor), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides* Athias-Henriot and *Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus* Athias-Henriot (Sahraoui *et al.*, 2012).

Species diversity and abundance of phytoseiid mites are mainly determined by climate and stability of habitats and food resources (McMurtry, 1997). In perennial cropping systems, generalist predatory mites like almost Phytoseiidae species are able to survive and even develop in the absence of preys (Nyrop *et al.*, 1998). This generalist feeding habits (pollen, fungi, and other mites), has for instance led to the successful use of *Typhlodromus (Typhlodromus) pyri* Scheuten and *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) to control mite pests in European vineyards (Duso, 1992; Lorenzon *et al.*, 2012).

In agrosystems, crop management could also affect Phytoseiidae densities and diversities. Many studies have shown for instance the negative effects of pesticides on phytoseiid mites (i.e. Kreiter *et al.*, 1998; Childers *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2003; Hardman *et al.*, 2006; Bonafos *et al.*, 2008; Meyer *et al.*, 2009). In surveys comparing treated and untreated apple orchards in North Carolina, Farrier *et al.* (1980) showed that there were twice as many species on untreated trees compared to treated ones. Surveys carried out by Fitzgerald and Solomon (2000) showed that Christmas tree plantations chemically treated had lower Phytoseiidae

densities than the untreated ones. Similarly, Peverieri *et al.* (2009) observed that the diversity of Phytoseiidae in Italy was higher in organic and untreated vineyards than in conventional ones.

Weeds are major components of agrosystems; some authors report them to affect the occurrence of pests and beneficial insects (Altieri *et al.*, 1977). Few studies have focused on the effect of weed management practices on Phytoseiidae dynamics; some have shown that the use of herbicides in inter-rows has directly detrimental effects on Phytoseiidae in apple orchards (Rock and Yeorgan, 1973; Hilsop and Prokopy, 1981), vineyards (Kreiter *et al.*, 1993) and citrus orchards (Pereira *et al.*, 2006; Aguilar-Fenollosa *et al.*, 2008, 2011; Mailloux *et al.*, 2010).

The aim of this study was to characterize the diversity and population dynamics of Phytoseiidae mites associated with the three in Tunisian citrus orchards during a year, focusing on pesticide treatments and weeding management.

Material and methods

Studied orchards

Mite families Phytoseiidae and Tetranychidae were surveyed in three citrus orchards from September 2009 to August 2011.

The first orchard was conducted with organic farming and is located in Cap Bon region (Takelsa: Longitude 36.804° N; Latitude 10.602° E). Only one treatment was applied with an organic insecticide (spinosad) once in April to control aphids (Table 1).

The second orchard was conducted with very few pesticide treatments (integrated pest management) and is also located in Cap Bon region (Manzel Bouzelfa: Longitude 36.698° N; Latitude 10.605° E). Only one insecticide (imidaclopride) was applied once on April (Table 1).

The third orchard was conventionally conducted with an extensive use of pesticides and is located in North region (Azib Bizerte: Longitude 37.213° N; Latitude 9.958° E). Eleven pesticide treatments were applied to control several pests and diseases (Sulfur, abamectin, malathion, dimethoate, cyhexatin+tetradifon, methyl tiophanate, benomyl, copper, *Bacillus thurengiensis*].

In the orchard (1), the ground cover was dominated by plant species belonging to the family Poaceae, weeding mechanical weeding was done once on April. The vegetation of the ground cover in the orchard (2) was diversified with the dominance of annual weeds. The ground was ploughed once in April; weeds on the rows were not destroyed. In orchard (3), the herbicide glyphosate was applied two times, on November and March, and ground was ploughed several times. *Phaseolus vulgaris* L. was planted in April as inter-cropping on the rows under the trees and was sampled as ground cover plant.

Table 1: Characteristics of the three citrus orchards sampled

	Citrus species and cultivars	Pesticide sprays	density	Ground cover	Weeding management
Orchard 1	<i>Citrus clementina</i> cv. Nour (MA3)	1 spray Spinosad	4X4 m	Dominance of Poaceae	Mowing once in April
Orchard 2	<i>Citrus clementina</i> cv. Marisol	1 spray Imidacloprid	3,5X 3,5 m	Varied wild cover, annual species.	Mechanical weeding once in April
Orchard 3	<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. f. (cv. Eureka)	11 sprays	4X4 m	No weeds until May, Been plants in inter- cropping planted in May.	Herbicide “glyphosate” and ground ploughed several times

The climate in the Cap Bon and Bizerte regions is semi-arid marked by irregular precipitations and temperate, respectively. During the survey, the highest temperatures were observed in July-August (ranging between 30°C to 38°C) and the rainfalls were marked from October to May with maximum rainfall observed in November with 15 mm for orchards (1) and (2) and 44 mm for orchard (3) (Figures 1 and 2).

Mite survey

From September 2009 to August 2010, samplings were conducted one or two times a month. At each sampling date, 30 citrus leaves were randomly taken and two liters of weeds were randomly collected. Then, samples of each plant were individually bagged in plastic bags and transported in freezing boxes to the laboratory for mite extraction. Mites were extracted from citrus leaves and weeds using the ‘soaking-checking-washing-filtering method’. Then all Tetranychidae and Phytoseiidae found were counted and only the Phytoseiidae were identified at species level. The generic classification of Chant and McMurtry (2007) and

specific literature (Ferragut *et al.*, 2009; Papadoulis *et al.*, 2009) were used for species determination.

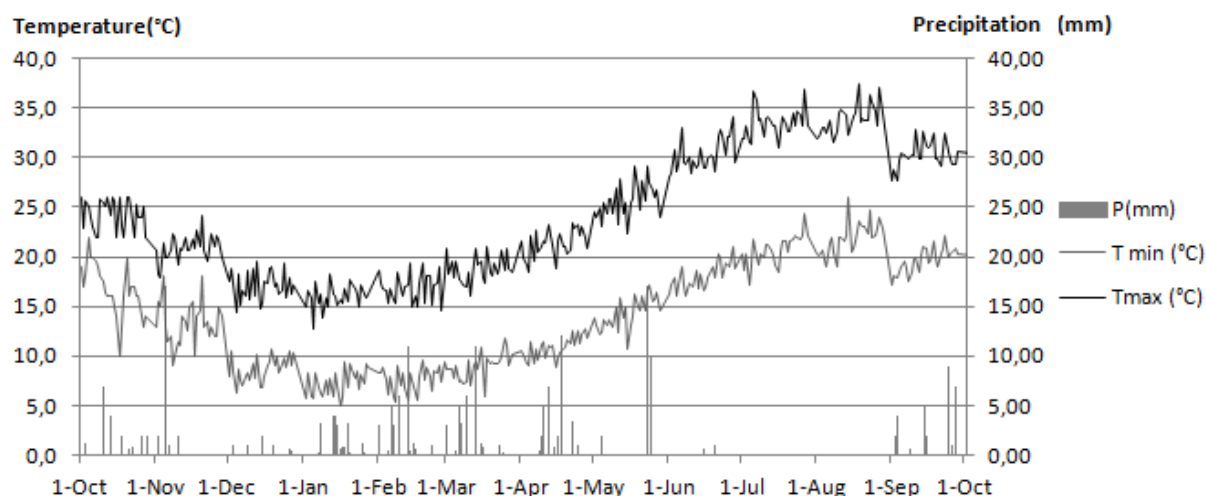


Figure 1. Climatic data in the surveyed orchards (1) and (2) situated in Cap Bon region during the surveys (Nabeul station), T_{min} and T_{max} indicate respectively the minimal and maximal temperatures and P the precipitation (mm)

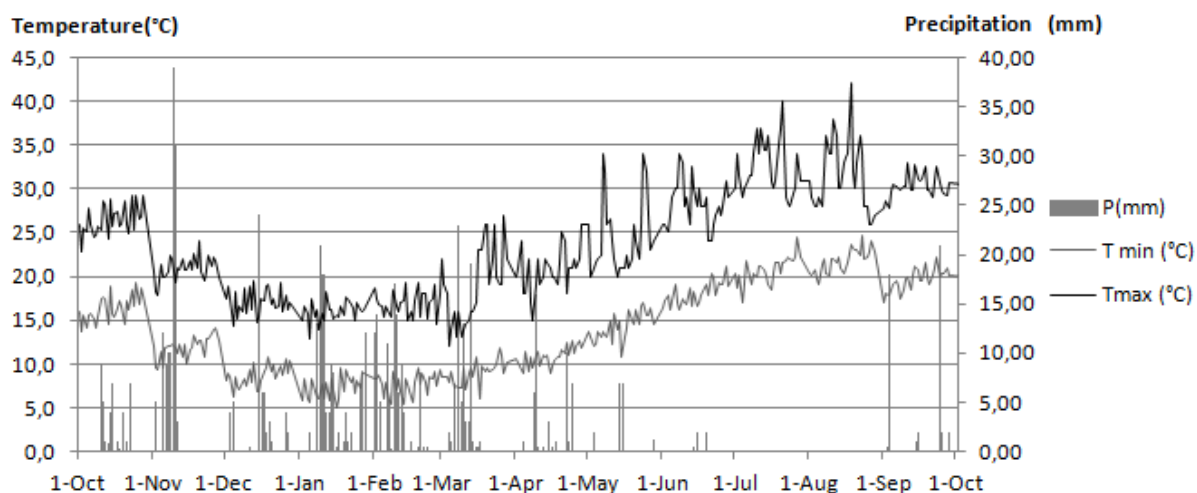


Figure 2. Climatic data in the surveyed orchards (3) situated in North region during the surveys (Bizerte station), T_{min} and T_{max} indicate respectively the minimal and maximal temperatures and P the precipitation (mm)

Data analyses

The number of species “species richness” and the Simpson diversity index (1-D) (Simpson, 1949) were calculated to compare the biodiversity levels on citrus leaves and weeds in the three orchards considered. Simpson’s diversity index ranges between 0 and 1; a value of 1 represents an infinite diversity and a value of 0, no diversity. Species similarity between the three orchards was estimated using the Jaccard index. This index corresponds to the Number

of species shared by two orchards divided by the total number of species (Jaccard, 1912). If this index is equal to one, all species are shared between the two communities. If the Jaccard's Index is near 0, no species is shared.

Results

Time variation of mite density and diversity

Orchard 1. Eight species of Phytoseiidae were collected on citrus trees (Fig. 3a). The most abundant species was *E. stipulatus* (92 %). The highest densities were observed in December (3 individuals/ leaf) and May (2 individuals/ leaf). The seven other species were much less abundant and their presence was not regular; they only represented 8 % of the Phytoseiidae collected. Tetranychidae were present on citrus trees and damages were observed and their highest densities (3 individuals/ leaf) was observed two weeks before the Phytoseiidae peak, then densities of both Phytoseiidae and Tetranychidae decreased until March (Fig. 4). Two smaller peaks of Tetranychidae densities were observed in March and July (1 individual/ leaf).

Eight species of Phytoseiidae were also collected from weeds (Fig. 3b). The table 2 lists the Phytoseiidae densities and diversity found on all the weeds collected. Phytoseiidae appeared on weeds in March and the highest densities were observed in June. The dominant species was *T. (T.) phialatus*, this species was collected on four plants: *Elytrigia repens* L., *Hordeum murinum* L., *Chrysanthemum* sp. and *Solanum nigrum* L. Weeds of the family Poaceae were dominant in this orchard and among the 54 adult phytoseiid mites collected, 63 % were found on these plants. *Euseius stipulatus* occurred on four weeds (*H. murinum*, *Conyza canadensis* L., *Chrysanthemum* sp. and *S. nigrum*) but in very low densities (Table 2).

Tetranychidae were present only at three dates on the same plant (*Solanum nigrum*) which is not very present in this orchard.

Table 2. Ground cover plant species collected and the Phytoseiidae species (and adult density) found on each plant.

Plant species	Orchard 1	Orchard 2	Orchard 3
Malva sp.	<i>G. graminis</i> (1)	<i>E. stipulatus</i> (7) <i>N. californicus</i> (51) <i>P. persimilis</i> (13) <i>T. (A.) yasminae</i> (1)	<i>E. stipulatus</i> (5) <i>N. californicus</i> (6) <i>T. (A.) foenelis</i> (2) <i>T. (A.) rhenanoides</i> (3) <i>P. persimilis</i> (19)
Chrysanthemum sp.	<i>E. stipulatus</i> (1)		
Solanum nigrum L.	<i>E. stipulatus</i> (2) <i>T. (A.) rhenanoides</i> (3) <i>T. (T.) phialatus</i> (5) <i>P. persimilis</i> (5)	<i>N. californicus</i> (11) <i>E. stipulatus</i> (7) <i>N. barkeri</i> (1) <i>T. (T.) phialatus</i> (1) <i>P. persimilis</i> (1) <i>N. aurescens</i> (1)	<i>P. persimilis</i> (9) <i>N. californicus</i> (4)
Conyza canadensis L.	<i>E. stipulatus</i> (5) <i>N. barkeri</i> (1)		<i>T. (A.) rhenanoides</i> (1) <i>T. (A.) recki</i> (2)
Hordeum murinum L.	<i>E. stipulatus</i> (2) <i>T. (T.) phialatus</i> (4) <i>G. graminis</i> (7) <i>N. aurescens</i> (1)		
Bromus diandrus Roth.			<i>P. persimilis</i> (1) <i>N. californicus</i> (6) <i>N. barkeri</i> (1)
Amaranthus retroflexus L.			<i>N. californicus</i> (6) <i>T. (A.) rhenanoides</i> (3)
Acalypha rhomboidea Raf.			<i>T. (A.) rhenanoides</i> (4) <i>N. californicus</i> (1)
Emex spinosa L.	<i>T. (A.) foenelis</i> (1) <i>T. (T.) phialatus</i> (4)		
Salvia officinalis L.			<i>P. persimilis</i> (3) <i>N. californicus</i> (2)
Cynodon dactylon (L.) Persoon.	<i>T. (T.) phialatus</i> (8)		
Cyperus rotundus L.	<i>T. (T.) phialatus</i> (4)		
Mercurialis annua L.		<i>T. (A.) rhenanoides</i> (4) <i>N. californicus</i> (67) <i>E. stipulatus</i> (1) <i>T. (T.) phialatus</i> (1) <i>P. persimilis</i> (2)	
Phaseolus vulgaris L.			<i>P. persimilis</i> (163) <i>N. californicus</i> (9)
Convolvulus arvensis L.		<i>E. stipulatus</i> (14)	
Rubus sp.		<i>N. californicus</i> (3) <i>T. (A.) rhenanoides</i> (7)	

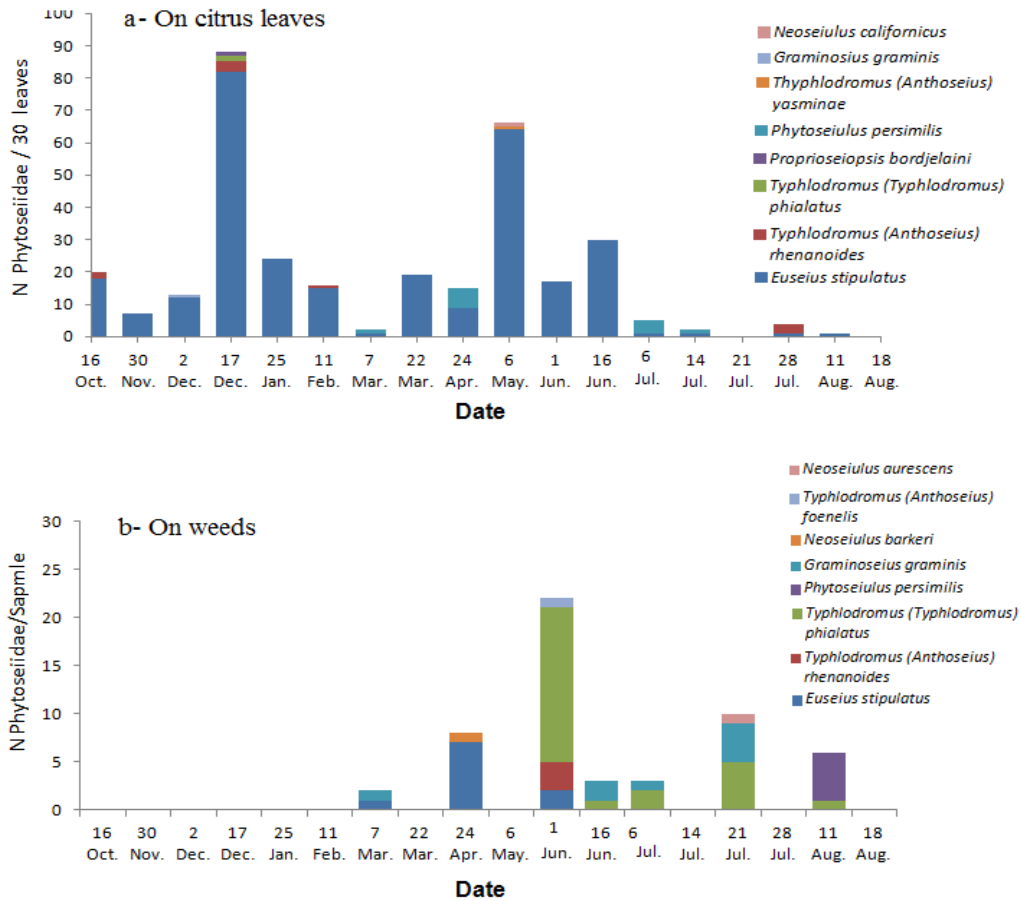


Figure 3. Evolution of the specific composition of Phytoseiidae in the orchard (1) during the survey on citrus leaves (a) and on weeds (b)

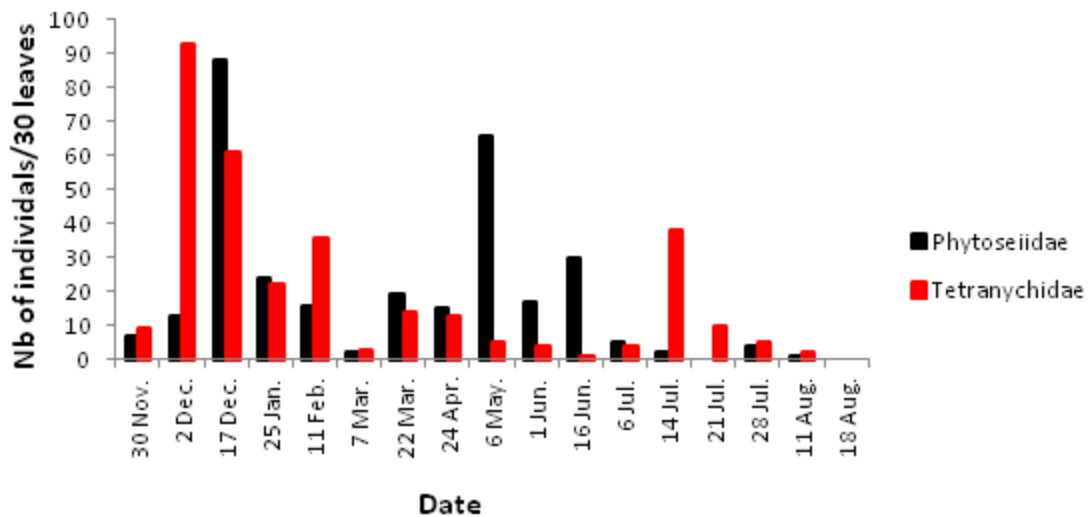


Figure 4. Evolution of Phytoseiidae and Tetranychidae populations densities in citrus leaves during the survey in the orchard (1) (Organic farming)

Orchard 2. Four species of Phytoseiidae were identified on citrus, *E. stipulatus* being dominant (98 %). The highest densities of Phytoseiidae were observed in April (2 individuals / leaf) (Fig. 5a). They then declined (after insecticide treatment) to reach very low numbers in summer. Only very few Tetranychidae were observed on citrus trees (4 females found in July).

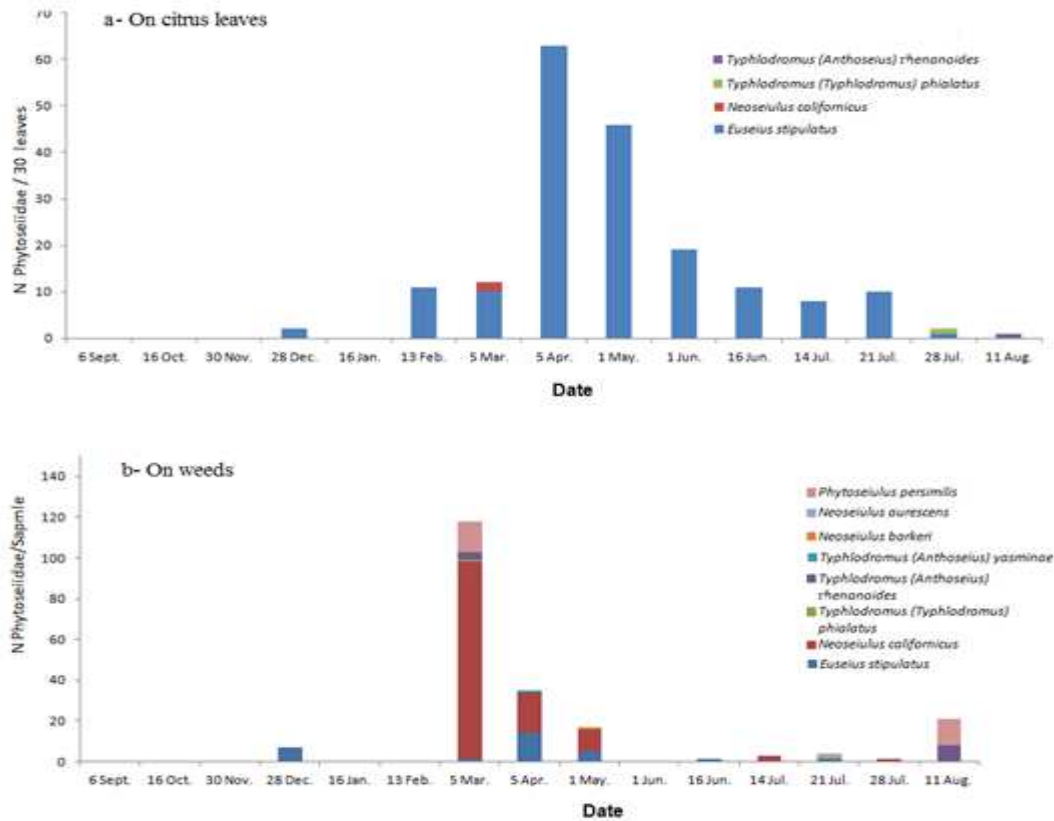


Figure 5. Evolution of the specific composition of Phytoseiidae in the orchard (2) during the survey on citrus leaves (a) and on weeds (b)

On weeds, eight species of Phytoseiidae were found, the dominant species being *N. californicus*. This species was mainly collected on *Mercurialis annua* L., and *Malva* sp., the two most abundant plants in the orchard in spring. The highest density of Phytoseiidae was observed in March (57 % of the Phytoseiidae collected) (Fig. 5b). The highest densities of Tetranychidae were also observed in March (129 individuals) collected mainly from *M. annua*. After the weeding no more tetranychid mites was collected until July.

Orchard 3. Five species of Phytoseiidae were collected on citrus; *E. stipulatus* being the dominant species (74 %). No Tetranychidae was found on citrus. The Phytoseiidae densities

were very low (always less than 0.25 individual / leaf), the highest numbers being observed found between March and May (Fig. 6a).

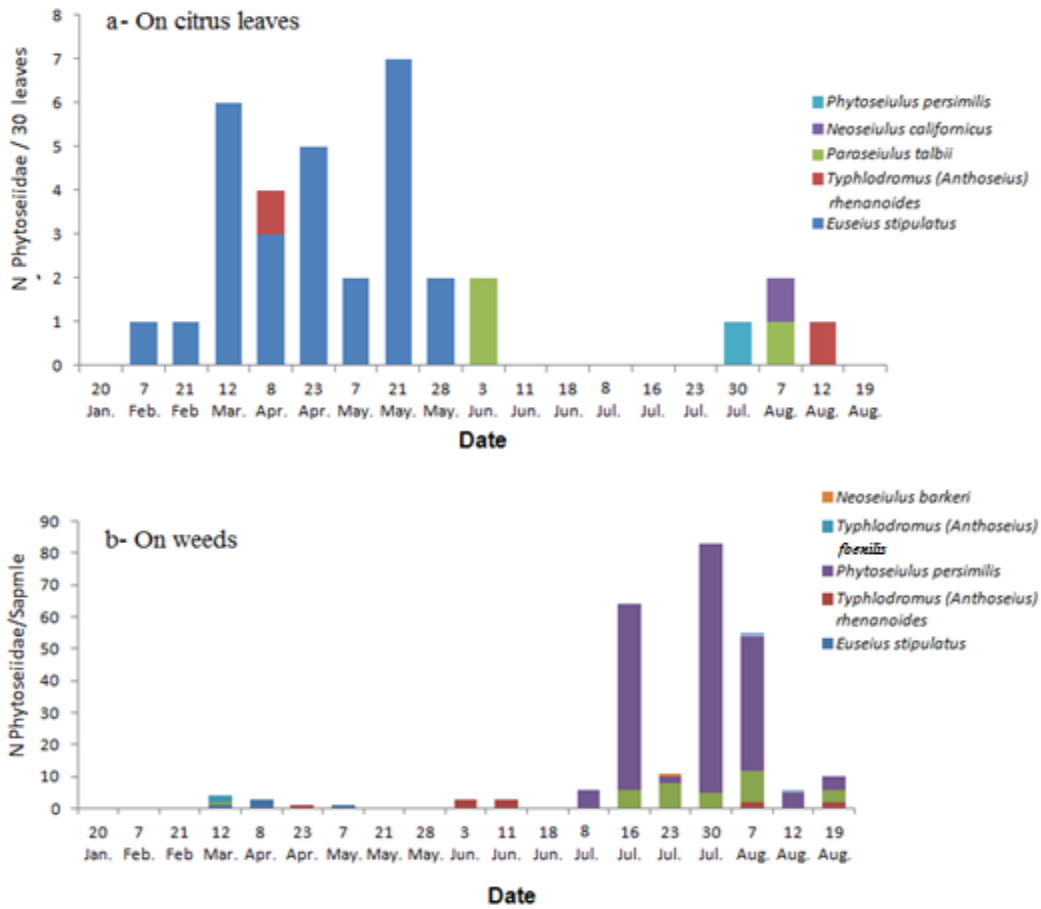


Figure 6. Evolution of the specific composition of Phytoseiidae in the orchard (3) during the survey on citrus leaves (a) and on weeds (b)

Six species of Phytoseiidae were observed on weeds, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot being the dominant species (78 %). In this orchard very few weeds were present until July and since *P. vulgaris* was planted in the inter-rows. Tetranychidae were observed on this plant since June and the highest densities were collected in July. *Phytoseiulus persimilis* was present from July to August with the highest densities observed in July (table 2).

Orchard comparison

The highest densities of Phytoseiidae were observed in the orchard (1) and the lowest in the orchard (3). The highest number of phytoseiid species was also observed in the orchard (1). *Euseius stipulatus*, *N. californicus* and *T. (A.) rhenanoides* were present in the three orchards.

Typhlodromus (T.) phialatus was found in the orchards (1) and (2), *P. persimilis* in the orchards (1) and (3) orchards whereas *Graminaseius graminis* (Chant), *Typhlodromus (Anthoseius) yasminae* Faraji and *Proprioseiopsis bordjelaini* (Athias-Henriot) were found only in the orchard (1) and *Paraseiulus talbii* (Athias-Henriot) only in the orchard (3). Even if the species richness was higher in the orchard (1), Simpson index value is low in the three orchards (Fig. 7), because of the great prevalence of *E. stipulatus*.

On weeds, even with relatively less diverse ground cover and flowering plants in the orchard (1) than in the two other ones; Phytoseiidae diversity was higher but their densities lower. Furthermore, in this orchard, diversity of Phytoseiidae was similar on citrus trees than in weeds. In the orchards (2) and (3) the phytoseiid diversity on weeds was higher than on citrus (Fig. 7). Four phytoseiid species were observed in the three orchards: *P. persimilis*, *Neoseiulus barkeri* Hughes, *T. (A.) rhenanoides* and *E. stipulatus*. The dominant species in weeds was different in each orchard. Jaccard indices show that each orchard share the half of its species with the other ($S = 0, 5$) both on citrus trees and on weeds showing a similarity in species composition between the three orchards of 50 %.

The evolution in time of the mite dynamics observed was different in the three orchards in citrus trees and on weeds. Tetranychidae were abundant in citrus trees the orchard (1) and absent in the two others. In orchard (1), Tetranychidae were present only at three dates on the same plant (*Solanum nigrum*) which is not very present in this orchard. Similarly, Tetranychidae were abundant in the orchard (3) on *P. vulgaris* and other weed species '*Amaranthus retroflexus* L.' In the orchard (2), Tetranychidae were observed in March (129 individuals) collected mainly from *M. annua*, after the ground ploughing, no more tetranychid mites was collected until July.

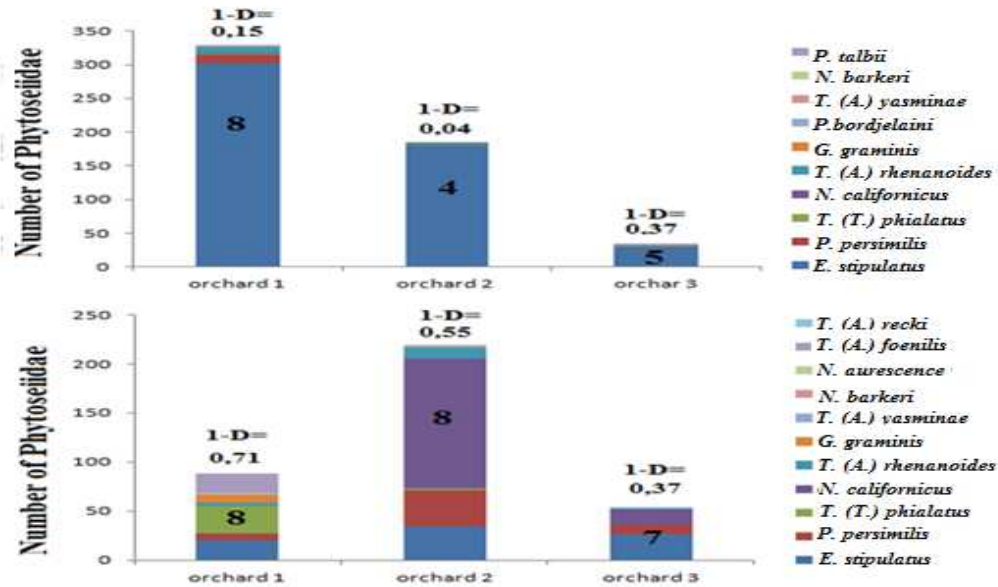


Figure 7: Diversity comparison between the three orchards

Discussion

Considerations on the Phytoseiidae species found

Among the 13 phytoseiid species collected in this survey, five species were observed in the three orchards: *P. persimilis*, *N. barkeri*, *N. californicus*, *T. (A.) rhenanoides* and *E. stipulatus*. The majority of the species collected are, according to McMurtry and Croft's classification (1997), generalist predators that feed on a great variety of food sources, including mites, insects, pollen ... This may further explain their high abundance in absence of pest preys.

Euseius stipulatus was the dominant species in citrus trees in the three orchards. This species was also the prevailing one in Tunisian citrus orchards surveyed in other studies (Sahraoui *et al.*, 2012). Furthermore, this species was also reported as the most abundant phytoseiid species on citrus trees in Spain (Pereira *et al.*, 2006; Abad-Moyano *et al.*, 2009) and in the Mediterranean citrus orchards in general (McMurtry, 1977).

The abundance of *E. stipulatus* in the organic managed orchard seems to be related to *T. urticae* population during its first peak but not related during the second peak observed. *Euseius stipulatus* is classified according to McMurtry and Croft (1997) as specialized pollen feeder (type 4) but is known to feed also on *Panonychus citri* (McGregor) (Ferragut *et al.*, 1988, 1992), *T. urticae* (Abad-Moyano *et al.*, 2009) and eriophyid mites (Ferragut *et al.*,

1987). This phytoseiid species was present throughout the year during the surveys except in summer (July-August) when the temperature exceeds 30-35°C. Ferragut *et al.* (1987) showed that this species stops laying eggs at 32°C. Furthermore, in the two conventional orchards (2 and 3), this phytoseiid mite was present even when no Tetranychidae was collected on citrus trees. Other food resources could explain the second peak of *E. stipulatus* population in spring. This can be the presence of pollen since flowers were present during this period on citrus and on weeds. Several authors reported that the development rate of this species is higher fed on pollen than on phytophagous mites (Ferragut *et al.*, 1987, Zhimo and McMurtry, 1990). Villanueva and Childers (2004) reported that the peak abundance of predacious mites in Florida citrus orchards coincided with the flowering period of citrus species and many other plants which are commonly found around citrus orchards and may serve as pollen sources for predacious mites.

Other phytoseiid species were present on citrus leaves and can be considered as good candidates for biological control of phytophagous citrus in Tunisia: *N. californicus* and *P. persimilis*.

Phytoseiulus persimilis is known as a specialist predator with economic importance, especially in the bio-control of *T. urticae* mostly in greenhouses all over the world (McMurtry and Croft, 1997). *Neoseiulus californicus* prefers to feed on Tetranychidae (Escudero *et al.*, 2004; Greco *et al.*, 2005; Katayama *et al.*, 2006; Gomez *et al.*, 2009), but can also consume other mite species like the tarsonemid mite *Phytonemus pallidus* (Banks) (Easterbrook *et al.*, 2001) and small insects, such as thripidae species (Rodriguez *et al.*, 1992).

In the orchards (1) and (2) the most abundant phytoseiid species found in the covers belong to the genera *Neoseiulus*, *Typhlodromus* and *Euseius*. According to McMurtry and Croft's classification (1997), they belong to types III and IV. Several phytoseiid species in these categories were assumed as useful in conservation biological control strategies especially with perennial crops as citrus orchards (McMurtry and Croft, 1997). Few studies deal with the predation efficiency of the phytoseiid species herein recorded. For example, *N. barkeri* is able to control *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Rodriguez-Reina *et al.*, 1992), *Thrips tabaci* (Lindeman) (Hansen, 1988; Desgaard *et al.*, 1992), these thrips species are reported as common Thripidae species in Tunisian citrus orchards (Belaam and Boulahia, 2012). The phytoseiid species *T. (A.) rhenanoides* is a generalist species able to reproduce and

develop on *T. urticae* and the red mite *P. citri* (Tsolakis *et al.*, 2012), a key pest mites on citrus in Tunisia (Grissa and Khoufi, 2012).

Considerations on weed management effects

Many authors reported that the abundance of Phytoseiidae on ground cover vegetation in citrus orchards in Florida and Alabama is higher than on citrus leaves and suggested that the ground cover plants, may serve as overwintering plant hosts and alternative food sources for predacious mites (Childers, 1994; Fadamiro *et al.*, 2009). Our results showed that the Phytoseiidae start occurring on weed in spring (March). However, a higher number of phytoseiid was found on weeds than on citrus leaves only in the orchards (2) and (3), suggesting that ground cover management can affect Phytoseiidae diversity. In these two latter, it can be assumed that food resources was more varied and that plant composition offers higher sources of pollen than in the orchards (1); since in this latter the ground cover was dominated by weeds of the family Poaceae, known to be poorly colonized by Phytoseiidae mites (Moraes *et al.*, 1986).

Similarly, the higher diversity of Phytoseiidae observed in weeds can be explained by the higher diversity in weed plant composition in comparison with citrus trees in the three orchards, as shown by several authors (Tuovinen and Rokx, 1991; Coli *et al.*, 1994; Tuovinen, 1994; Aguilar-Fenollosa *et al.*, 2011).

Some plant species from ground cover seem to favor the phytoseiid abundance. For instance, *P. persimilis* was found associated with populations of *Tetranychus* sp. and highest densities were found on *Phaseolus vulgaris* L. and with two weed plants: *Malva* sp. and *Solanum nigrum* L. These species have a long reputation of being favorable host plants Tetranychidae mites (Aucejo *et al.*, 2003). *Neoseiulus californicus* seem to be favored by three weed species *M. annua*, *S. nigrum* and *Malva* sp. Several authors reported that Phytoseiidae occurrence on some plants is determined by physical and morphological leaf traits (McMurtry and Croft, 1997; Kreiter *et al.*, 2002; Villanueva and Childers, 2006).

Orchard management comparison

In the organic managed orchard, the species richness both on citrus and weeds was higher than in the two others. This observation agrees with general observations that arthropod

biodiversity is higher in organic farming systems (i.e. Altieri *et al.*, 2003; Bengtsson *et al.*, 2005; Hole *et al.*, 2005).

The evolution in time of the mite dynamics observed was different in the three orchards in citrus trees and on weeds. In the orchard (1) the densities of Tetranychidae observed in December on citrus trees seem to have increased the development of Phytoseiidae. In the two other orchards, no peak of phytoseiid mites was observed until the spring.

The very low numbers of mites on citrus in the orchard (3) with extensive use of pesticides seem to be a result of disturbed agricultural system. Negative effects of pesticides on phytoseiid mites have been reported in numerous studies. Pratt and Croft (2000) showed for instance, investigating the toxicity of several pesticides used in the nursery industry on four phytoseiid mite species; that insecticides were the most toxic to phytoseiid mites followed by herbicides. Pyrethroids, which are known to be highly toxic to predacious mites (Bostanian and Belanger, 1985; Hardmann *et al.*, 2007), were used in the orchard (3). Moreover, applications of some fungicides including benomyl and sulfur could have negatively impact predatory mite densities (Childers and Enns, 1975). In addition, imidaclopride (applied in orchard [2]) has been reported to be toxic for Phytoseiidae mites (Bostanian *et al.*, 2010).

However, even if preponderant, other factors than the pesticide use could have affected abundance of Phytoseiidae in the three orchards considered: climate, type of agricultural practices, cultivars, and diversity of vegetation near citrus crops that may serve as reservoir of natural enemies (Reis *et al.* 2000). Furthermore even if we cannot make deep assumptions on the absence of tetranychid mites in the two conventionally sprayed orchards (2 and 3), the use of pesticides and especially insecticides may have kill these pests. Furthermore, the citrus species “Clementine” planted in the orchards (1) and (2) is known in Tunisia to be one of the most sensitive citrus species to phytophagous mites and several other pests (Grissa and Khoufi, 2012).

In orchard (1) Tetranychidae were less abundant on weeds than the two other modalities, this could be explained by the fact that the plant species on ground cover are not favorable to Tetranychidae. Similarly, Tetranychidae were abundant in the orchard (3) on the inter cropped culture, *P. vulgaris* and in the orchard (2) Tetranychidae were observed just before the ground ploughing, then no more tetranychid mites was collected until July. These may give evidence that the composition of ground cover plants and the weed management modality play an important role on densities of Tetranychidae and Phytoseiidae on weeds.

The objective of this study was to assess the total abundance, family richness, and composition of phytoseiid and phytophagous mites in different farming systems and to examine the contributions of the vegetation present on Phytoseiidae abundance and composition. Our results help to give a more detailed picture of the mite community of Tunisian orchards and to increase the knowledge of acarofauna associated with this culture.

Even if the organic orchard presented the highest diversity of Phytoseiidae, this orchard is the one which presented serious damages of tetranychid mites on citrus trees.

Yet many questions remain about the effect of ground composition and weeding practices on phytoseiids. For example, is there an exchange of Phytoseiidae between the citrus trees and the ground covers? And how do the different techniques of weed management allow some phytoseiids to migrate from weeds to the trees? Answers to these questions may have implications on biological control. Further studies with replicates and experimentations are necessary to evaluate the effect of the agricultural practices on these mite communities.

Acknowledgements

We thank the citrus producers and the technicians of the CTA (Centre technique des agrumes) for their collaboration during the surveys.

References

- Abad-Moyano R.A., Pina T., Dembilio O., Ferragut F., Urbaneja A. --- 2009. Survey of natural enemies of spider mites (Acari: Tetranychidae) in citrus orchards in eastern Spain --- Exp. Appl. Acarol., 47: 49-61.
- Aguilar-Fenollosa E.F., Ibanez G.M.V., Pascual R.S., Hurtado M., Jacas J.A. 2011 --- Effect of ground cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in Clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms --- Biol. Control., 59: 171-179.
- Aguilar- Fenollosa E.F., Pascual R.S., Hurtado R.M., Jacas J.A. 2008 --- The effect of ground cover management on the biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Prostigmata) in Clementine --- Proceedings of the 3rd international symposium on biological control of Arthropods, New Zealand, 355-365.

- Altieri M.A., Nichols C.I. 2003 --- Biodiversity and pest management in agrosystems. NY --- by Haworth Press Inc.
- Altieri M.A., van Schoonhoven A., Doll J. 1977 --- The Ecological Role of Weeds in Insect Pest Management Systems: A Review Illustrated by Bean (*Phaseolus vulgaris*) Cropping Systems --- Tropical Pest Management, 23(2): 195-205.
- Aucejo S., Foó M., Gimeno E., Gómez-Cadenas A., Monfort R., Obiol F., Prades E., Ramis M., Ripollés J.L., Tirado V., Zaragoza L., Jacas J.A. Martínez-Ferrer M.T. 2003 --- Management of *Tetranychus urticae* in citrus in Spain: acarofauna associated to weeds --- OILB/WPRS Bull., 26: 213-220
- Barbar Z., Tixier M.-S., Kreiter S., Cheval B. 2005 --- Diversity of phytoseiid mites in uncultivated areas adjacent to vineyards: a case study in the south of France --- Acarologia, 43(2-3): 145-154
- Belaam I., Boulahia-Kheder S. 2012 --- Inventory of thrips species in citrus orchards and assessment of scarring fruits in two citrus-producing regions of Tunisia --- Tun. J. Plant Prot., 7: 45-53.
- Bengtsson J., Ahnstrom J., Weibull A.-C. 2005 --- The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis --- J. Appl. Ecol., 42 (2): 261-269.
- Bonafos R., Auger P., Guichou S., Kreiter S. 2008 --- Suitability of two laboratory testing methods to evaluate the side effects of pesticides on *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae) --- Pest Management Science, 64: 178-184.
- Bostanian N.J., Belanger A., Rivard I. 2012 --- Residues of four synthetic Pyrethroids and Azinphos-Methyl on apple foliage and their toxicity to *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae) --- Can. Entomol., 117 (02): 143-152.
- Bostanian, N.J., Hardman, J.M., Thistlewood, H.M.A., Racette G. 2010 --- Effects of six selected orchard insecticides on *Neoseiulus fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in the laboratory --- Pest Management Science, 66(11): 1263-1267. doi: 10.1002/ps.2010
- Chant D.A., McMurtry J.A. 2007 --- Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata) --- Michigan, Indira Publishing House, pp. 220.
- Chen T.-Y., French J. V., Liu T.-X., da Graça J.V. 2003 --- Residual Toxicities of Pesticides to the Predaceous Mite *Galendromus helveolus* (Acari: Phytoseiidae) on Texas Citrus --- Subtropical Plant Science, 55: 40-45.
- Childers C.C. 1994 --- Biological control of phytophagous mites on Florida citrus utilizing predatory arthropods, *In*: Rosen D., Bennet F., Capinera J. (eds.). Pest management in

- the subtropics: biological control --- Florida perspective. Intercept, Andover, United Kingdom, pp.255-288.
- Childers C.C., Aguilar H., Villanueva R., Abou-Setta M.M. 2001 --- Comparative residual toxicities of pesticides to the predator *Euseius mesembrinus* (Acari: Phytoseiidae) on citrus in Florida --- Fla. Entomol., 84(3): 391-401.
- Childers C.C., Enns W.R. 1975 --- Field evaluation of early season fungicide substitutions on Tetranychid mites and the predators *Neoseiulus fallacis* and *Agistemus fleschneri* in two Missouri apple orchards --- J. Econ. Entomol., 68: 719-724.
- Coli W.M., Ciurlino E.A., Hosmer T. 1994 --- Effect of understory and border vegetation composition on phytophagous and predatory mites in Massachusetts commercial apple orchards --- Agr. Ecosys. Environ., 50: 49-60.
- Desgaard B., Hansen L.S. 1992 --- Effect of *Amblyseius cucumeris* and *Amblyseius barkeri* as biological control agents of *Thrips tabaci* on glasshouse cucumbers --- BioCont. Sci. Techn., 2(3): 215-223.
- Duso C. 1992 --- Role of *Amblyseius aberrans* (Oud.), *Typhlodromus pyri* Scheuten and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) in vineyards. III. Influence of variety characteristics on the success of *A. abberans* and *T. pyri* releases --- J. Appl. Ecol. 114: 455-462.
- Easterbrook M.A., Fitzgerald J.D., Solomon M.G. 2001 --- Biological control of strawberry tarsonemid mite *Phytonemus pallidus* and two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* on strawberry in the UK using species of *Neoseiulus* (*Amblyseius*) (Acari: Phytoseiidae) --- Exp. Appl. Acarol., 25: 25-36.
- Escudero L.A., Ferragut F. 2004 --- Life-history of predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species as prey, with special reference to *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae) --- BioControl, 32: 378-384.
- Fadamiro H.Y., Xiao Y., Nesbitt M., Childers C.C. 2009 --- Diversity and seasonal abundance of predacious mites in Alabama Satsuma Citrus --- Ann. Entomol. Soc. Am. 102(4): 617-628.
- Ferragut F., Costa-Comelles J., Garcia-Mari F. 1988 --- Population dynamics of the phytoseiid *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) and its prey *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae), in Spanish citrus --- Bol. San. Veg., Plagas, 4(1): 45-54.

- Ferragut F., Garcia Mari F., Costa-Comelles J., Laborda R. 1987 --- Influence of food and temperature on development and oviposition of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus* --- Exp. Appl. Acarol., 3: 317-330.
- Ferragut F., Laborda R., Costa-Comelles J. 1992 --- Feeding behaviour of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus* on the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) --- Entomophaga, 37(4): 537-543.
- Ferragut F., Moreno I.P., Iraola V., Escudero A. 2009 --- Acaros Depredadores de la familia Phytoseiidae en las plantas cultivadas --- Ediciones Agrotecnicas S. L. pp. 202.
- Fitzgerald J.D., Solomon M.G. 2000 --- Phytoseiid mites from christmas tree (*Picea Abies* and *Abies nordmanniana*) plantations in England: Potential biocontrol agents of eriophyoid and tetranychid mites --- Int. J. Acarol. 26(2): 193-196.
- Gomez-Moya C.A., Ferragut F. 2009 --- Spatial distribution pattern and efficacy of *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) in the control of red spider mites on vegetables under semi-field conditions --- Bol. San. Veg., Plagas, 35(3): 377-390.
- Greco N.M., Sanchez N.E., Liljestro M.G.G. 2005 --- *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) as a potential control agent of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): effect of pest/predator ratio on pest abundance on strawberry --- Exp. Appl. Acarol., 37: 57-66.
- Grissa L.K., Khoufi A. 2012 --- Bio-ecology of phytophagous mites on Citrus --- 7th EURAAC Symposium Vienna-Austria, abstracts, 92.
- Hansen L.S. 1988 --- Control of *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on glasshouse cucumber using large introductions of predatory mites *Amblyseius barkeri* (Acarina: Phytoseiidae) --- Entomophaga, 33 (1): 33-42.
- Hardman J.M., Franklin J. L., Beaulieu F., Bostanian N. J. 2007 --- Effects of acaricides, pyrethroids and predator distributions on populations of *Tetranychus urticae* in apple orchards --- Exp. Appl. Acarol., 43:235-253 DOI 10.1007/s10493-007-9117-7
- Hardman J.M., Franklin J. L., Jensen K.I.N., Moreau D.L. 2006 --- Effects of pesticides on mite predators (Acari: Phytoseiidae) and colonization of apple trees by *Tetranychus urticae* --- Phytoparasitica, 34 (5): 449-462, DOI: 10.1007/BF02981199
- Hislop R.G., Prokopy R.J. 1981 --- Integrated management of phytophagous mites in Massachusetts (U.S.A.) apple orchards. Influence of pesticides on the predator *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions --- Prot. Ecol., 3:157-172.

- Hole D.G., Perkins A.J., Wilson J.D., Alexander I.H., Grice P.V., Evans A.D. 2005 --- Does organic farming benefit biodiversity? --- Biol. Conserv., 122(1): 113-130.
- Jaccard P. 1912 --- The distribution of the flora in the alpine zone --- New Phytol., 11: 37-50.
- Katayama H., Masui S., Tsuchiya M., Tatara A., Makoto D., Kaneko S., Saito T. 2006 --- Density suppression of the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) due to the occurrence of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on Satsuma mandarin --- Appl. Entomol. Zool., 41(4): 679-684.
- Kreiter S., Auger P., Lebdi Grissa K., Tixier M.-S., Chermiti B., Dali M. 2002 --- Plant inhabiting mites (Acari : Prostigmata & Mesostigmata) of some Northern Tunisian crops --- Acarologia, 42(4): 389-402.
- Kreiter S., Sentenac G., Barthes D., Auger P. 1998 --- Toxicity of four fungicides to the predaceous mite *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae) --- J. Econ. Entomol., 91 (4), 802-811.
- Kreiter S., Sentenac G., Valentin G., 1993 --- Interaction entre le désherbage chimique de la vigne et les populations d'acariens phytophages et prédateurs --- ANPP- 3^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture- Résultats de terrain. Montpellier, 821-830.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Bourgeois T. 2002 --- Do generalist phytoseiid mites (Gamasida: Phytoseiidae) have interactions with their host plants? --- Insect. Sci. Appl., 23(1): 35-50.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Sahraoui H., Lebdi Grissa K., Ben Chaabane S., Chatti A., Chermiti B., Khoualdia O., Ksantini M., 2010 --- Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) from Tunisia: Catalogue, biogeography and key for identification --- Tun. J. Plant Prot., 5(2): 151-178.
- Lorenzon M., Pozzebon A., Duso C. 2012 --- Effects of potential food sources on biological and demographic parameters of the predatory mites *Kampimodromus aberrans*, *Typhlodromus pyri* and *Amblyseius andersoni* --- Exp. Appl. Acarol., 58(3): 259-278.
- McMurtry J.A., 1977 --- Some predacious mites (Phytoseiidae) on citrus in the Mediterranean region --- Entomophaga, 22 (1):19-30.
- McMurtry J.A., Croft B.A. 1997 --- Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control --- Annu. Rev. Entomol., 42: 291-321.
- Mailloux J., Le Bellec F., Kreiter S., Tixier M.-S., Dubois P. 2010 --- Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupian citrus orchards --- Exp. Appl. Acarol., 52:275-290.

- Meyer G. A., Kovaleski A., Valdebenito-Sanhueza R.M. 2009 --- Pesticide selectivity used in apple crops *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) --- Revista Brasileira de Fruticultura, 31 (2): 381-387.
- Nyrop J., English-Loeb G., Roda A. 1998 --- Conservation biological control of spider mites in perennial cropping systems, pp. 307-333. In P. Barbosa (ed.), Conservation biological control --- Academic, San Diego, C. A.
- Papadoulis G., Emmanouel N.G., Kapaxidi E.V. 2009 --- Phytoseiidae of Greece and Cyprus --- Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, USA, pp. 171.
- Pereira N., Ferreira M.A., Sousa M.E., Franco J.C. 2006 --- Mites, Lemon trees and ground cover interactions in Mafra region --- Bulletin OILB/SROP, 29(3): 143-150.
- Pratt, P.D., Croft B.A. --- 2000. Toxicity of pesticides registered for use in landscape nurseries to the acarine biological control agent, *Neoseiulus fallacis* --- J. Environ. Hort., 18(4): 197-201.
- Reis P.R., Chiavegato L.G., Alves E.B., Sousa E.O. 2000 --- Mites of the Phytoseiidae Family Associated with Citrus in Lavras County, Southern Minas Gerais State, Brazil --- Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 29: 95-104.
- Rodriguez-Reina J.M., Garcia-Mari F., Ferragut F. 1992 --- Predatory activity of phytoseiid mites on different developmental stages of the Western flower thrips *Frankliniella occidentalis* --- Bol. San. Veg. Plagas, 18(1): 253-263.
- Rock G.C., Yeargan D.R., 1973 --- Toxicity of apple orchard herbicides and growth regulating chemicals to *Neoseiulus fallacis* and two spotted mite --- J. Econ. Entomol., 66: 1342-1343.
- Sahraoui H., Lebdi-Grissa K., Kreiter S., Douin M., Tixier M.-S., 2012 --- Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of Tunisian citrus orchards: Catalogue, biogeography and key for identification --- Acarologia, in press.
- Simpson E.H. 1949 --- Measurement of diversity --- Nature, 163: 688.
- Tsolakis H., Palomero R.J., Ragusa S. 2012 --- Predation of two Mediterranean phytoseiid species (Parasitiformes, Phytoseiidae) upon eggs of tetranychid mites (Acariformes, Tetranychidae) --- 7th EURAAC Symposium Vienna-Austria, abstracts, 113.
- Tuovinen T. 1994 --- Influence of surrounding trees and bushes on the phytoseiid mite fauna on apple orchard trees in Finland --- Agr. Ecosys. Environ., 50: 39-47.

- Tuovinen T., Rokx J.A.H. 1991 --- Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on apple trees and in surrounding vegetation in southern Finland: Densities and species composition --- Exp. Appl. Acarol. 12: 35-46.
- Villanueva R.T., Childers C.C. 2004 --- Phytoseiidae increase with pollen deposition on citrus leaves --- Fla. Entomol., 87: 609-611.
- Villanueva R.T., Childers C.C. 2006 --- Evidence for host plant preference by *Iphiseiodes quadripilis* (Acari: Phytoseiidae) on citrus orchards --- Exp. Appl. Acarol., 39: 243-256.
- Zhimo Z., McMurtry J. A. 1990 --- Development and reproduction of three *Euseius* (Acari: Phytoseiidae) species in the presence and absence of supplementary foods --- Exp. Appl. Acarol., 8 (4): 233-242. DOI: 10.1007/BF01202134

2.3 Conclusion

La diversité la plus importante a été observée sur les arbres et les plantes de couverture du verger conduit en agriculture biologique. Les densités des Phytoseiidae ont également été les plus importantes dans le verger biologique. Les différences de diversité et de densité de Phytoseiidae entre les trois vergers étudiés semblent être liées aux pratiques culturales et plus particulièrement, aux traitements phytopharmaceutiques. Cependant, même si le verger biologique a présenté la diversité de Phytoseiidae la plus élevée, ce verger est le seul qui présentait également des dégâts causés par les Tetranychidae. De plus, dans le verger biologique, les Tetranychidae étaient moins abondants sur les plantes adventices par rapport aux deux autres vergers. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les plantes de couverture du sol dans ce verger (famille des Poaceae) étaient peu favorables aux Tetranychidae.

Cependant, aucune différence n'a été observée dans la composition spécifique des Phytoseiidae sur les arbres puisque l'espèce dominante était *E. stipulatus* dans les trois vergers. *Euseius stipulatus* était présent dans les trois vergers pendant toute l'année, sauf en été (juillet et août), période durant laquelle les températures variaient entre 30°C et 38°C. Cette espèce était présente sur les arbres même en absence des Tetranychidae. La majorité des espèces collectées dans les trois vergers sont des prédateurs généralistes, ce qui explique leur abondance en absence d'acariens tétranyques. Enfin, une plus grande diversité de Phytoseiidae a été observée sur les plantes de couverture que sur les arbres.

Nos résultats ont permis de donner quelques informations sur les communautés d'acariens dans les vergers d'agrumes tunisiens. Il est devenu clair que l'utilisation des produits agropharmaceutiques influence la diversité et l'abondance de ces espèces, ce qui confirme les résultats de travaux précédents. Cependant, plusieurs hypothèses restent à discuter concernant l'effet de la gestion de l'enherbement sur les phytoséiides. Des expérimentations sur terrain, considérant différentes techniques de gestion de l'enherbement, sont donc nécessaires afin de pouvoir comprendre la liaison directe entre les plantes dans les inter-lignes et les arbres.

CHAPITRE V

ETUDE DE L'EFFET DU MODE DE GESTION DE L'ENHERBEMENT SUR L'ABONDANCE ET LA DIVERSITE DES PHYTOSEIIDAE

Les résultats obtenus précédemment ainsi que ceux recensés dans la littérature (chapitre 1) montrent que la diversité et l'abondance des Phytoseiidae dans les systèmes agricoles sont fortement influencées par le mode de gestion de l'enherbement. Dans le but d'étudier l'effet des techniques suivies par les agriculteurs tunisiens, deux expérimentations ont été réalisées, avec des dispositifs en blocs aléatoires dans deux parcelles différentes. La première parcelle est située dans la région de Sidi Thabèt au Nord de Tunis et est plantée avec trois variétés de citrus. La deuxième parcelle est située à Boumhel, région de Morneg et est plantée avec une seule variété. Deux dispositifs différents ont été adoptés et les mêmes types de pièges ont été utilisés dans les deux essais (voir chapitre 2). Pour les deux essais, les échantillonnages des arbres, des plantes adventices ainsi que le relevé des pièges ont été réalisés une fois par semaine sur une durée de 10 semaines. Chaque semaine et pour chaque bloc, 30 feuilles de citrus sont collectées au hasard et un échantillonnage des adventices présentes sous les arbres de citrus (quadrat de 30 cm x 30 cm jeté au sol au hasard) est réalisé.

1. ETUDE DE L'EFFET DE LA GESTION DE L'ENHERBEMENT SUR LA DIVERSITE ET L'ABONDANCE DES PHYTOSEIIDAE DANS TROIS ESPECES DE CITRUS

1.1 Introduction

Cette expérimentation avait pour objectif d'étudier l'effet de deux pratiques de gestion de l'enherbement (destruction des adventices par labour et pas de désherbage) sur la densité et la diversité des Phytoseiidae présents sur les arbres et les adventices et sur ceux se dispersant le long des troncs. Ce travail a été réalisé dans trois parcelles adjacentes, plantées avec trois espèces différentes de citrus, afin de déterminer comment la gestion de l'enherbement affectait les communautés des Phytoseiidae sur ces trois espèces d'agrumes. Les résultats seront présentés dans l'article 4 ci-après.

1.2 Article 4

Article 4- Abundance and diversity of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Tunisian citrus orchard: effect of weed management for three citrus species (Environmental Entomology, soumis)

H. Sahraoui^{1,2}, S. Kreiter², K. Lebdi-Grissa¹ and M.-S. Tixier²

1- Institut National Agronomique de Tunisie, Laboratoire de protection des plantes, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 –Tunis - Mahrajène, Tunisie

2- Montpellier SupAgro, Unité Mixte de Recherche CBGP (INRA/ IRD/ CIRAD/ SupAgro), Campus International de Baillarguet, CS 30 016, 34 988 Montferrier-sur-Lez cedex, France

* **Corresponding author to whom correspondence should be sent:** tixier@supagro.inra.fr

Abstract

This study was conducted in a Tunisian citrus orchard to determine the diversity of phytoseiid mites on three species of citrus (*Citrus sinensis* cv. maltaise, *Citrus clementina* and *Citrus limetta*) with and without weeding by ploughing the ground. The dispersal of phytoseiid mites from wild ground cover plants to trees was surveyed using traps around tree trunks. Fourteen species of Phytoseiidae were identified from 1,782 specimens collected on citrus trees and ground cover plants. The three most abundant phytoseiid species found on the citrus trees were: *Euseius stipulatus* (59 %), *Iphiseius degenerans* (23 %) and *Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus* (15 %). The predatory mite which dominated in weeds (52 %) and in traps (46 % of captured individuals) was *T. (T.) exhilaratus*. The ambulatory dispersal of Phytoseiidae between citrus trees and weeds was confirmed in this study. The effect of weeding by ploughing was observed on the diversity of the Phytoseiidae only on citrus trees of the species *Citrus limetta*. There was a positive correlation between the densities of phytoseiid mites in weeds and on citrus trees in the modality with weed management. Ploughing the ground between the citrus rows and keeping the weeds on the rows seems to favour Phytoseiidae dispersal from weeds to trees. This weeding strategy seems thus to conserve the benefits of ground cover as reservoir of predatory mites.

Keywords: citrus, variety, Phytoseiidae, dispersal, weeds, diversity

Introduction

Mites of the family Phytoseiidae are predators well known and largely studied for the ability of several species to control crop pests such as small insects and phytophagous mites (McMurtry and Croft 1997). The about 2, 200 species belonging to this family (Moraes *et al.* 2004; Chant & McMurtry 2007) have been classified by McMurtry and Croft (1997) into four main groups based on their feeding specialization: type I = predators selective of *Tetranychus* sp.; type II = predators with a preference for mites of the family Tetranychidae; type III = generalist predators of phytophagous mites and other arthropod species such as thrips and other food resources such as pollens; and type IV = specialized pollen feeders and generalists predators.

In perennial agro-ecosystems, like orchards, generalist phytoseiid species tend to be the most abundant species. It is the case in citrus orchards of the Mediterranean area where phytoseiid mite communities are characterized by the dominance of the following generalist Phytoseiidae species: *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot), *Neoseiulus californicus* (McGregor), *Amblyseius andersoni* (Chant), *Iphiseius degenerans* (Berlese), *Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus* Athias-Henriot and *Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus* Ragusa (McMurtry 1977, Kreiter *et al.* 2002a, Pereira *et al.* 2006, Abad-Moyano *et al.* 2009, Sahraoui *et al.* 2012a, 2012b). Generalist predators can feed on a wide range of food substances including various preys, pollen, plant exudates, fungi ... (McMurtry 1992, Duso *et al.* 1997, Castagnoli and Simoni 1999, Addison *et al.* 2000, Broufas and Koveos 2000, Kreiter *et al.* 2002b, Madinelli *et al.* 2002, Duso *et al.* 2003, Villanueva and Childers 2004, Bouras and Papadoulis 2005, Bermudez *et al.* 2010). Narrow relationships between generalist predatory mites and plant supports have been well documented, especially between species diversity and leaf characteristics (i.e. Walter 1992, Karban *et al.* 1995, Kreiter *et al.* 2002b, Villanueva and Childers 2006, Tixier *et al.* 2007). In this regard, plant management has been reported to affect the abundance and diversity of predatory mites in agro-ecosystems (Landis *et al.* 2000, Landis and Wratten 2002).

Several studies have for instance shown how the management of neighbouring vegetation around perennial crops could affect Phytoseiidae occurrence and improve biological control success (i.e. Tuovinen and Rokx 1991, Coli *et al.* 1994, Tuovinen 1994, Barbar *et al.* 2006, Tixier *et al.* 2006). Less numerous studies have shown how the management of plant diversity

inside the crops could affect abundance and diversity of Phytoseiidae (Nyrop *et al.* 1994, Aguilar-Fenollosa *et al.* 2008, Mailloux *et al.* 2010, De Villiers and Pringle 2011). However, few studies have focused on the effect of weed management practices on Phytoseiidae dynamics (Rock and Yeorgan 1973, Hislop and Prokopy 1981, Kreiter *et al.* 1993, Stanyard *et al.* 1997) and especially in citrus orchards (Pereira *et al.* 2006, Aguilar-Fenollosa *et al.* 2008, Mailloux *et al.* 2010, Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011, Sahraoui *et al.* 2012b).

The first objective of the present study was thus to compare abundance and diversity of phytoseiid mites in two weed managed systems (weeds destroyed by ploughing and not destroyed weeds) within a citrus orchard in Tunisia planted with three citrus species. One key factor of the effect of weed management on mite communities is the movements between trees and the inter-rows. The present study thus aims to determine how movements of both phytophagous and predatory mites can be affected by weed management.

Several authors have studied the effect of ground cover management on dispersal of phytophagous mites between ground cover and trees. Migration of phytophagous mites to trees seems to be enhanced by the presence and abundance of some plant species, favourable to those mites (Meagher and Meyer 1990, Flexner *et al.* 1991, Kreiter *et al.* 1991, Alston 1994). Furthermore, the use of herbicide has been shown to increase dispersal of phytophagous mites to trees (Flexner *et al.* 1991, Kreiter *et al.* 1991, 1993, Alston 1994, Hardman *et al.* 2005, 2011). However, very few studies deal with the effect of weeds management on the movements of Phytoseiidae between trees and weeds (Kreiter *et al.* 1991, 1993). The few works focusing on this topic, showed (i) a positive correlation between the densities of Phytoseiidae in ground cover and trees and (ii) that phytoseiid mites migration is affected by the ground cover composition and management (Johnson and Croft 1981, Alston 1994, Jung and Croft 2001, Sahraoui *et al.* 2012 b). These latter studies are however clearly still insufficient to completely characterize dispersal of phytoseiid mites and the effect of weed management on mite communities.

The present study thus aims to characterize these exchanges with a comparison between three citrus species crops with two different weeding modalities.

Material and methods

Citrus orchards considered

This study was conducted in a citrus orchard of the INPFCA (Institut National Pédagogique et de Formation Continue Agricole) of about 1 ha (planting density 3.5 x 4 meters) situated at Sidi Thabèt in the North of Tunis (Longitude 36°90' N, Latitude 10°04' E) in Tunisia. The orchard was planted with three citrus species (*Citrus sinensis* [L] Osbeck cv. maltaise, *Citrus clementina* Hort. ex Tanaka and *Citrus limetta* Risso). The climate of this region is dry to semi-arid marked by irregular precipitations, with an annual rainfall average ranging from 300 to 600 mm. This experiment was conducted during the summer season characterized by a relatively high temperature and low relative humidity (Fig. 1). No pesticide treatment was applied during the period of the experiment.

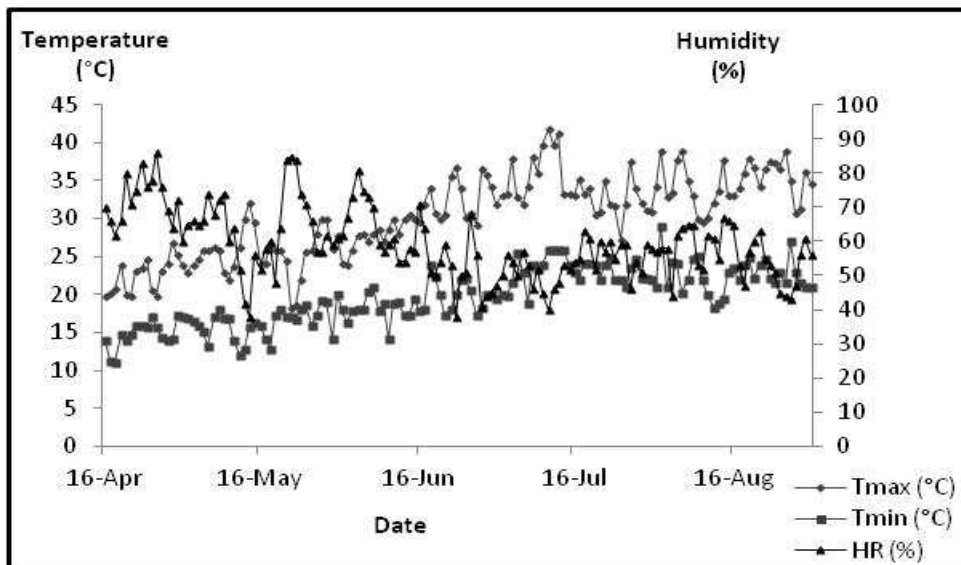


Figure 1. Climate data in the experimental orchard during the trial (station of Carthage), T_{\min} and T_{\max} indicate respectively the minimal and maximal temperatures and HR the relative humidity

Experimental design

The experimental orchard was divided in twelve plots of ten trees each (about 100 m²). Each of the three citrus species was planted in four of these twelve plots; two replicates of the two modalities of weed management studied were performed for each citrus species (Fig. 2). The weed management strategies studied were (i) modality 1: no weed management, and (ii) modality 2: weed destroyed by ploughing once, the 1st of June, 2011.

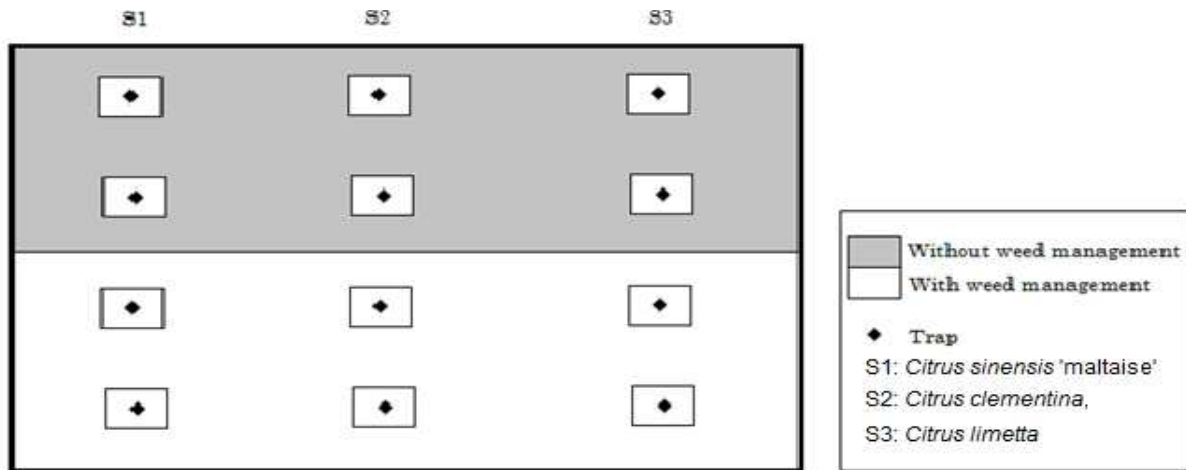


Figure 2. Experimental device showing the distribution of traps and experimental plots

Estimation of ground cover composition

Phytoseiid mites were sampled on plant species in the inter-rows. The table 1 lists the plants sampled and their occurrence. Occurrence was evaluated by dividing the number of quadrats in which the plant was present by the total number of quadrats multiplied by 100.

Table 1: Plants collected in the citrus orchard floor during the trial and their relative occurrence in the different experimental plots and the percentage of the presence of Phytoseiidae in each weed species. S1: *C. sinensis* cv. maltaise, S2: *C. clementina*, S3: *C. limetta*.

Weed species	Occurrence of the plant in the plots S1 (%)	Occurrence of the plant in the plots S2 (%)	Occurrence of the plant in the plots S3 (%)	Occurrence of Phytoseiidae on the plant (%)
<i>Chenopodium murale</i> L.	3	6	0	100
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	3	0	33	92
<i>Chenopodium album</i> L.	19	6	3	80
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Persoon.	11	8	11	82
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	56	58	39	65
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	17	11	0	90
<i>Phyllostachys</i> sp.	3	0	0	100
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	6	0	0	100
<i>Cyperus esculentus</i> L.	8	3	8	14
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	0	11	0	100
<i>Ecballium elatrium</i> (L.)	0	0	6	67
<i>Malva</i> sp.	0	22	3	60
<i>Solanum nigrum</i> L.	11	25	61	46
<i>Conyza canadensis</i> L.	3	3	11	83
<i>Arisarum vulgare</i> Targ.-Tozz.	0	0	6	50
<i>Hordeum murinum</i> L.	0	3	0	100
<i>Lolium</i> sp.	14	11	0	44
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	3	0	0	100
<i>Beta vulgaris</i> L. sub-sp. <i>maritima</i>	0	0	3	100

Mite sampling

Samplings were carried out once a week from 11-V-2011 to 30-VII-2011. In each of the twelve plots, 30 leaves were randomly collected on trees and all the weeds included in a quadrat of 30 x 30 cm randomly defined were sampled. One quadrat was collected for each plot at every sampling date, i.e. six quadrats for each weeding modality.

Citrus leaves and weeds were transported in plastic bags in freezing boxes to the laboratory. Mites were then collected from citrus leaves using a fine hair brush after counting the phytoseiid mites on each citrus leaf, and from weeds using the dipping-checking-washing-filtering method (Boller 1984). All the mites collected during the study were mounted on slides using Hoyer's medium for further identification with a phase contrast microscope (Leica DLMB, Leica Microsystems SAS, Rueil-Malmaison, France). The generic classification of Chant and McMurtry (2007) and other specific literature for species determination were used to identify the Phytoseiidae species (Ferragut *et al.* 2009, Papadoulis *et al.* 2009). Mites of the family Tetranychidae were counted but not identified in this study.

Traps

As a previous survey showed that dispersal between citrus trees and weeds occur essentially with an ambulatory way (Sahraoui *et al.* 2012 b), we only focused on this type of dispersal. It was surveyed by traps installed the 12-V-2011 around the tree trunks. A total of twelve traps were used (one per plot). The traps used are the same as those used and described in Sahraoui *et al.* (2012 b); they were first defined by Koike and Nemoto (2000) and then used and adapted by several authors to study the population's size of overwintering phytoseiid mites (Koike and Nemoto 2000, Kawashima and Amano 2006, Toyoshima *et al.* 2006). The traps were replaced every week, placed into plastic bags and transported in freezing boxes to the laboratory. Mites were counted using a stereoscopic microscope, then collected and identified.

Statistical analyses

The thirty citrus leaves collected in each plot were considered as replicates to compare the densities of mites between the different modalities and citrus species. Each quadrat was also considered as a replicate to compare the Phytoseiidae densities in weeds. Each trap represents a replicate to compare the captured Phytoseiidae numbers (six replicates for each weeding modality at each sampling date when the three citrus species are grouped).

A non-parametric ANOVA (Kruskal-Wallis) and a post-hoc mean comparison test were first carried out to determine the effect of citrus species on the number of phytoseiid mites independently of the weed management strategy. Then the effect of weed management strategies on Phytoseiidae abundance on trees, in weeds and caught (in both directions) was studied for all the species grouped and for each citrus species, separately. For this, non-parametric statistical tests of Mann–Whitney U-test were used. Then, simple regression tests between the mean Phytoseiidae densities on citrus trees, in weeds and captured were carried out first for the three citrus species grouped then for each citrus species. All the statistical analyses were performed using Statistica version 9 (Statsoft 2010).

Species richness (S: number of species), Simpson's diversity values (1-D) and evenness (E) (Simpson 1949) were used to evaluate and compare the diversity of Phytoseiidae on trees, weeds and in traps; these indexes were calculated using the free statistical software 'Past' (Hammer *et al.* 2001). The value of Simpson's diversity index ranges between 0 and 1, a value of 1 represents an infinite diversity and a value of 0, no diversity. The evenness (equitability) ranges between 0 and 1 with 1 being complete evenness.

Results

Phytoseiidae diversities

Fourteen Phytoseiidae species were identified from 1,782 (1,165 adults) specimens collected on citrus, wild cover and in traps (Table 2).

On citrus trees, seven species were identified. The three most abundant ones were *E. stipulatus* (251 specimens), *I. degenerans* (97 specimens) and *T. (T.) exhilaratus* (62 specimens). The four other species: *T. (T.) phialatus* (7 specimens), *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides* Athias-Henriot (1 specimen), *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (1 specimen) and *Neoseiulus barkeri* Hughes (7 specimens) were quite rare. The species richness (number of species) on the three citrus species was quite similar. The Simpson's diversity index was higher (0.79) on *C. limetta* than on the two other citrus species (0.37 and 0.31) showing a better equitability (Table 3). For the citrus species *C. sinensis* 'maltaise' and *C. clementina*, no effect of the weeding on the Phytoseiidae diversity was observed, *Euseius stipulatus* being the dominant species whatever the weed management strategy (table 3).

Table 2: List of Phytoseiidae and their associated host plants collected during the trial

Weed species	Phytoseiidae species
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (31), <i>E. stipulatus</i> (2), <i>P. persimilis</i> (1)
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (45), <i>E. stipulatus</i> (4), <i>I. degenerans</i> (3), <i>T. phialatus</i> (4), <i>N. cucumeris</i> (1)
<i>Chenopodium album</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (192), <i>E. stipulatus</i> (74), <i>T. phialatus</i> (19), <i>N. californicus</i> (1), <i>N. cucumeris</i> (6), <i>N. longilaterus</i> (5), <i>N. paspalivorus</i> (1)
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Persoon.	<i>T. exhilaratus</i> (4), <i>N. cucumeris</i> (6), <i>N. longilaterus</i> (3)
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (20), <i>E. stipulatus</i> (11), <i>I. degenerans</i> (10), <i>T. phialatus</i> (3), <i>P. persimilis</i> (22), <i>N. californicus</i> (7), <i>N. cucumeris</i> (2), <i>N. longilaterus</i> (1), <i>N. barkeri</i> (1)
<i>Emex spinosa</i> (L.) Campd.	<i>T. exhilaratus</i> (6), <i>E. stipulatus</i> (10)
<i>Phyllostachys</i> sp.	<i>T. exhilaratus</i> (1), <i>E. stipulatus</i> (1)
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (2)
<i>Cyperus esculentus</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (5), <i>T. phialatus</i> (4)
<i>Bromus rigidus</i> Roth.	<i>T. exhilaratus</i> (1), <i>E. stipulatus</i> (3), <i>N. californicus</i> (4), <i>N. longilaterus</i> (2)
<i>Ecballium elatrium</i> (L.)	<i>T. exhilaratus</i> (13)
<i>Malva</i> sp.	<i>T. exhilaratus</i> (8), <i>E. stipulatus</i> (1), <i>T. phialatus</i> (6), <i>P. persimilis</i> (1)
<i>Solanum nigrum</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (25), <i>E. stipulatus</i> (19), <i>I. degenerans</i> (69), <i>T. phialatus</i> (5), <i>P. persimilis</i> (3), <i>N. californicus</i> (1)
<i>Conyza canadensis</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (9), <i>T. phialatus</i> (4)
<i>Arisarum vulgare</i> Targ.-Tozz.	<i>E. stipulatus</i> (1), <i>I. degenerans</i> (2)
<i>Hordeum murinum</i> L.	<i>T. exhilaratus</i> (2)
<i>Lolium</i> sp.	<i>E. stipulatus</i> (2), <i>N. longilaterus</i> (1)
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<i>N. longilaterus</i> (1)
<i>Beta vulgaris</i> L. sub-sp. <i>maritima</i>	<i>I. degenerans</i> (4)

The phytoseiid mite diversity on the citrus species *C. limetta* was different in the two weed management modalities. In the modality where weeds were not destroyed, Simpson diversity index ($1-D = 0.25$) and the equitability index ($E = 0.35$) were low and the dominant species was *I. degenerans* (86 %). In the modality where weeds were ploughed, the diversity and evenness indices were higher ($1-D = 0.61$; $E = 0.78$) and the dominant species was *E. stipulatus* (52.3 %).

In the wild ground cover (weeds), the seven species found on citrus trees were also found with four other species: *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, *N. californicus*, *Neoseiulus longilaterus* Athias-Henriot and *Neoseiulus paspalivorus* (De Leon). The three most abundant species on weeds were those also prevailing on citrus. However the dominant species on

weeds was *T. (T.) exhilaratus* (52 %), instead of *E. stipulatus* (59 %) on citrus (Table 2). *Typhlodromus (T.) exhilaratus* was found on 15 plant species among the 19 collected in this trial. However, it was only especially abundant on some plants as *Chenopodium album* L., *Amaranthus retroflexus* L., and *Chenopodium murale* L. (Table 2). *Chenopodium album* was the richest plant; it sheltered seven phytoseiid species and almost 45 % of the total number of Phytoseiidae found in this trial (Table 1).

On weeds, the same Phytoseiidae species were found in the two modalities. However, the specific composition in the modality without weed management was more equilibrated ($E = 0.71$) and the diversity index higher ($1-D = 0.66$) in comparison with the modality with weed management ($E = 0.58$, $1-D = 0.56$) (Table 3). The most prevalent species in the modality without weed management were: *I. degenerans* (37 %) and *T. (T.) exhilaratus* (36 %) and with weed management *T. (T.) exhilaratus* become the dominant species (60 %).

Species caught

Five phytoseiid species were captured in the traps around the tree trunks: *T. (T.) exhilaratus* (19 specimens), *T. (T.) phialatus* (7 specimens), *Typhlodromus (A.) pegazzani* Ragusa and Swirski (10 specimens), *Typhlodromus (Anthoseius) foenilis* Oudemans (5 specimens), *Typhlodromus (T.) ernesti* Ragusa and Swirski (1 specimen) (table 3). All the stages were captured in traps (female: 80 %, male: 11 % and immature: 9 %).

The dominant species was *T. (T.) exhilaratus* (46 %) which was also the dominant species in weeds. It was captured in the three citrus species. No *I. degenerans* neither *E. stipulatus* specimens were caught in this experiment. The diversity of Phytoseiidae captured was the highest within the orchard planted with *C. limetta* with or without weed management (5 phytoseiid species).

Phytoseiidae densities

On citrus, Phytoseiid mites densities were not significantly different between the three citrus species considered ($Z = 0.79$, $P = 0.46$) (Fig. 3a).

Table 3: Species composition and diversity indices of Phytoseiidae with weed management (WM) and without WM in weeds, traps and citrus trees for the three citrus species (N: total number of adult individuals, S: species richness, 1-D: Simpson's diversity index, E: equitability index).

	Weeds		Citrus trees						Traps					
			<i>C. sinensis</i> 'maltaise'		<i>C. clementina</i>		<i>C. limetta</i>		<i>C. sinensis</i> 'maltaise'		<i>C. clementina</i>		<i>C. limetta</i>	
	without WM	with WM	without WM	with WM	without WM	with WM	without WM	with WM	without WM	with WM	without WM	with WM	without WM	with WM
<i>E. stipulatus</i>	21	105	31	68	37	60	1	56	0	0	0	0	0	0
<i>I. degenerans</i>	81	9	2	1	2	2	62	28	0	0	0	0	0	0
<i>T. exhilaratus</i>	78	286	13	11	6	5	8	21	1	3	1	5	1	8
<i>T. phialatus</i>	7	43	0	2	2	0	1	2	1	0	0	0	5	4
<i>N. barkeri</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N. cucumeris</i>	1	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N. californicus</i>	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>P. persimilis</i>	22	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N. longilaterus</i>	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N. paspalivorus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. rhenanoides</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>A. foenilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
<i>T. ernesti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>A. pegazzani</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
<i>N</i>	217	479	46	82	50	67	72	107	2	4	1	5	7	26
<i>S</i>	9	9	3	4	6	3	4	4	2	3	2	2	4	5
<i>1-D</i>	0.71	0.58	0.46	0.29	0.43	0.19	0.24	0.62	0.5	0.6	0.5	0.5	0.61	0.68
<i>E</i>	0.66	0.56	0.69	0.41	0.52	0.36	0.35	0.79	1	0.89	1	1	0.79	0.84

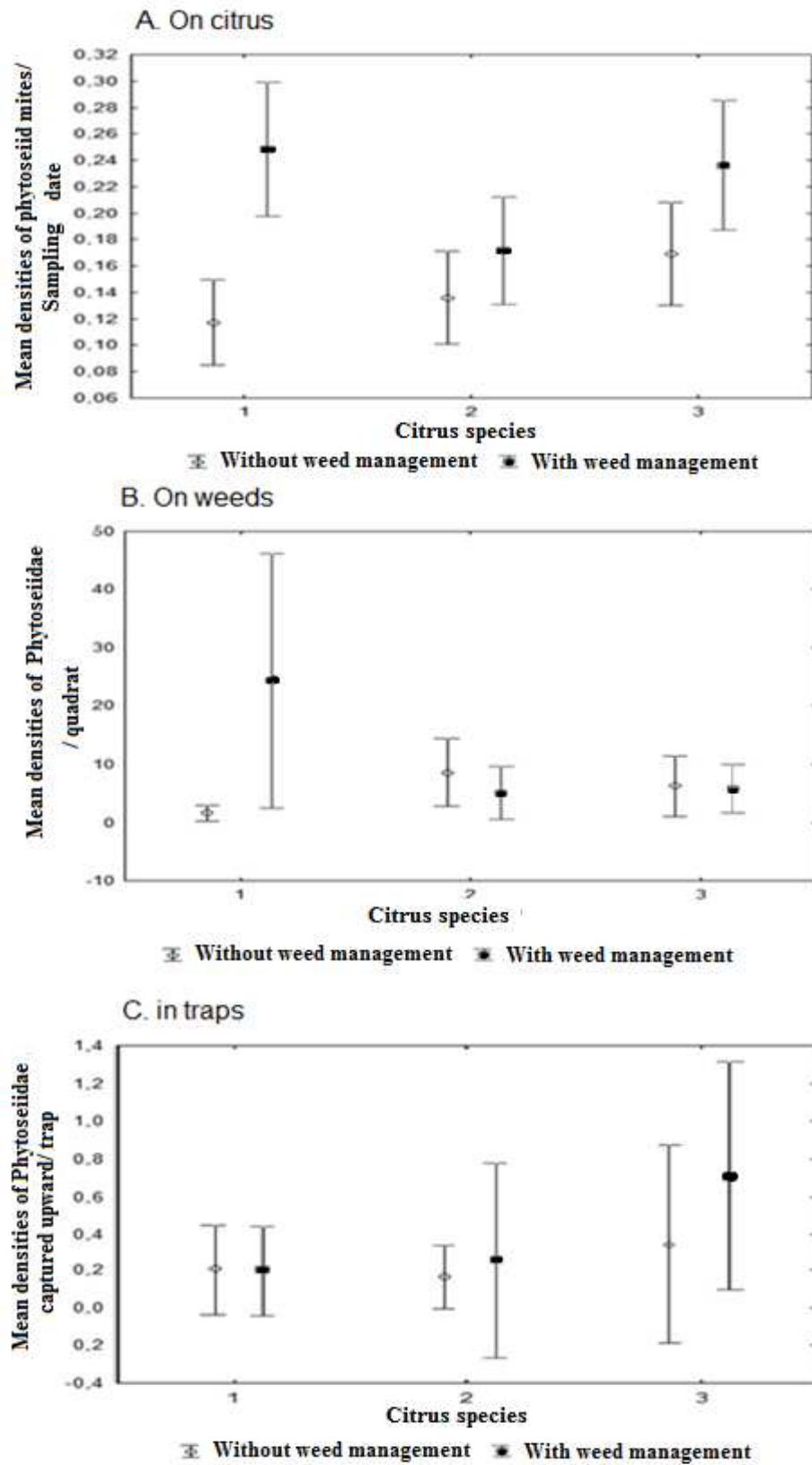


Figure 3. Mean Phytoseiidae densities with WM and without WM in weeds, traps and the three citrus species

Effect of weed management on citrus. Phytoseiidae mean densities on citrus trees (three species grouped) were significantly different according to the weed management modality ($Z = - 2.53, P = 0.011$). They were significantly higher when weeds were ploughed than they were not (Fig. 4). However, this effect was only observed for *C. sinensis* cv. maltaise ($Z = - 2.73, P = 0.006$) (for *C. clementina* $Z = - 0.66, P = 0.50$ and for *C. limetta* $Z = - 0.99, P = 0.32$), the mean number of Phytoseiid mites being significantly higher with weed management (0.24 Phytoseiid/leaf = Ph/ l) than without (0.11 Ph/ l) (Fig. 3a).

When the effect of weeding management is studied date by date, an effect of the modality was observed for some of them. During three weeks after the weeding (06-IV to 22-VI-2011), the mean densities of Phytoseiidae in orchards with ploughed weeds were significantly higher than in orchards with no ploughed weeds. For *C. sinensis* cv. maltaise this effect was observed on the 06-VI- 2011 ($Z = - 0.96, P = 0.04$) and 22-VI-2011 ($Z = - 2.43, P = 0.012$), for the species *C. clementina* on the 06-VI- 2011 ($Z = - 2.64, P = 0.008$) and for *C. limetta* on the 14-VI- 2011 ($Z = - 2.03, P = 0.04$).

Effect of weed management on weeds. Even if the number of Phytoseiidae on weeds was higher in the modality with ploughing ground (Fig. 3b), this difference was not significant when all the citrus were grouped ($Z = - 0.35, P = 0.72$) as well as for every citrus species (*C. sinensis* cv. maltaise: $Z = - 0.78, P = 0.43$; *C. clementina*: $Z = 0.71, P = 0.47$; *C. limetta*: $Z = - 0.25, P = 0.79$).

Effect of weed management on traps. The mean number of Phytoseiidae dispersing from weeds to trees was significantly higher than those dispersing from trees to weeds in the two weeding modality: with weeding ($Z = 4.80, P = 0.02$) and without weeding ($Z = 6.97, P = 0.008$). When analysing this dispersal in each citrus species, such difference was only observed for *C. sinensis* cv. maltaise ($Z = 6.39, P = 0.011$) and *C. clementina* ($Z = 4.15, P = 0.04$). For *C. limetta* no difference was observed ($Z = 2.68, P = 0.10$) (Fig. 3c).

No global significant effect of the weed management modalities was observed on the mean densities of Phytoseiidae dispersing from weeds to the trees ($Z = 0.033, P = 0.85$) or from trees to weeds ($Z = 0.035, P = 0.55$). An effect of the sampling date was observed for the number of phytoseiid mites rising up to the citrus trees ($Z = 29.89, P = 0.000$) which was

higher in the modality with weed management than without at the dates 06 and 14-VI-2011, i.e. 6 and 14 days after the ploughing (for the three citrus species grouped).

The unique significant correlation between the densities of Phytoseiidae in traps, trees and weeds was observed between the number of Phytoseiidae in citrus trees and on weeds ($R^2 = 0.26$, $F_{(1,24)} = 18.26$, $P = 0.008$) in the modality with weed management. However, this correlation was only observed in the species *C. sinensis* cv. maltaise ($R^2 = 0.58$, $F_{(1,16)} = 22.41$, $P = 0.0002$).

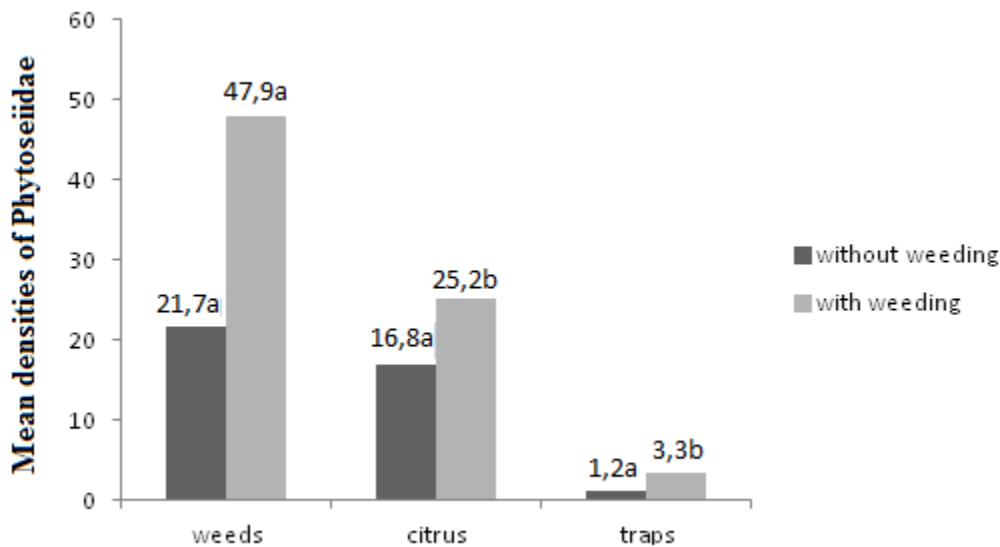


Figure 4. Mean densities of Phytoseiidae with and without weed management in the three levels: weeds, traps and citrus trees

Discussion

In this survey, 1,165 adult specimens of fourteen species of Phytoseiidae were identified on citrus trees, weeds (19 plant species) and in traps, most of them being generalist predators (McMurtry and Croft 1997) (table 2). The dominance of generalist Phytoseiidae in citrus orchards was observed by many authors in the Mediterranean countries (McMurtry 1977, Kreiter *et al.* 2002a, Pereira *et al.* 2006, Abad-Moyano *et al.* 2009, Sahraoui *et al.* 2012a, 2012b) and in studies carried out in Florida (Childers and Denmark 2011) both in citrus trees and ground covers. Two species dominated on citrus trees, *I. degenerans* on the species *C. limetta* and *E. stipulatus* on the two other citrus species. *Euseius stipulatus* (type IV predator) was also reported as the most abundant species in citrus orchards in Spain (Ferragut *et al.*

1992, Kreiter et al. 2002a, Aucejo *et al.* 2003, Abad-Moyano *et al.* 2009, Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011), in Mediterranean countries in general (McMurtry 1977) and especially in Tunisia (Kreiter et al. 2002a, Sahraoui *et al.* 2012a, 2012b). *Iphiseius degenerans* (type III predator), was recorded as much less abundant as *E. stipulatus* in the Tunisian citrus orchards (Sahraoui *et al.* 2012a). The species mainly caught was *T. (T.) exhilaratus*, and this species was also dominant on weeds in the inter-rows, suggesting thus a link between Phytoseiidae mites on weeds and those dispersing along the trees. However, the prevailing species dispersing on trees is not the prevailing that settle on citrus trees.

Higher diversity and abundance of Phytoseiidae were observed in weeds than on citrus. This can be explained by the fact that ground cover may constitute a more complex and less disturbed habitat, providing a higher diversity of alternative foods (Tuovinen and Rokx 1991, Barbar *et al.* 2005, Fadamiro *et al.* 2008, 2009). Weeding modality studied in this experiment did not significantly affect the Phytoseiidae densities on weeds even if the number of Phytoseiidae was higher in the weeds kept on the rows in the modality with weed management. This can be explained by the presence of some plant species as *C. album*, on which the number of Phytoseiidae collected was very high, independently of the weeding modality.

Indeed, some weed species have been found to be particularly favourable to Phytoseiidae especially *C. album*, *S. nigrum* and *C. arvensis*. In this trial, no tetranychid mite was collected on citrus trees neither caught but they were found in weeds especially on two plants: *S. nigrum* and *C. arvensis*, already reported to be favourable to Tetranychidae (Aucejo *et al.* 2003). The tetranychid mites found on *S. nigrum* (483 specimens) and *C. arvensis* (375 specimens) could thus explain the high number of phytoseiid mites observed on those two plant species and the presence of some specialist Phytoseiidae species (types I and II). However, the low number of Tetranychidae found on *C. album* (34 specimens) do not explain the high densities of phytoseiid mites on this plant (45 % of the total number of Phytoseiidae observed on weeds) suggesting the presence of other food resources such as pollen and thrips (Rodriguez *et al.* 2005) especially *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Miliczky and Horton 2011) a common Thripidae in the Tunisian citrus orchards (Belaam and Boulahia 2012) could affect Phytoseiidae density. Some plant species seem to be more suitable to some species of Phytoseiidae (table 2); especially *C. album*, *C. murale* and *A. retroflexus* for *T. (T.) exhilaratus* and *E. stipulatus* and *S. nigrum* for *I. degenerans*. Many authors reported that occurrence of Phytoseiidae on some plants is determined by narrow relationships between

Phytoseiidae and leaf characteristics (McMurtry and Croft 1997, Kreiter *et al.* 2002, Villanueva and Childers 2006) and/or pollen occurrence (Addison *et al.* 2000, Broufas and Koveos 2000, Boufras and Papadoulis 2005, Bermudez *et al.* 2010). However, *T. (T.) exhilaratus* was found on a large number of host plants with different leaf structures (15 among the 19 weed species identified), suggesting that this specific relationship is not necessary true for *T. (T.) exhilaratus* (Rezende and Lofego 2011). In the same way, Phytoseiidae species were different between the three citrus species presently studied; the species composition was similar in *C. clementina* and *C. sinensis* cv. maltaise with the dominance of *E. stipulatus* and was clearly different in the species *C. limetta* characterized by the dominance of *I. degenerans*.

A study carried out by Villanueva and Childers (2006) also showed quite similar results: preference of *Iphiseiodes quadripilis* (Banks) for *Citrus paradisi* (MacFadyen) compared with *C. sinensis*. However, factors affecting these relationships are unknown. *Iphiseius degenerans* feeds on a wide range of food such as thrips larvae (Messelink *et al.* 2005), spider mites (Nwilene and Nachman 1996, Vantornhout *et al.* 2004) and pollen (van Rijn *et al.* 1999). Spider mites were not found in this citrus variety during this trial, so the presence of other food resources such as thrips or pollen could be hypothesised (Conti *et al.* 2001, Vantornhout 2006). However, *E. stipulatus* can feed on this kind of food, as well. Furthermore, *Iphiseius degenerans* was the dominant species on *C. limetta* only in the modality without weed management. With weed management, an increase of the number of *E. stipulatus* was observed on the trees between 06 and 14-VII- 2011. Such an observation is not linked to the species trapped as no *E. stipulatus* was caught. The hypothesis that migration from weeds changed the diversity in the trees was not confirmed but also not excluded since the number of traps used may be insufficient to characterize the importance of the migrating phytoseiids.

The ambulatory dispersal of Phytoseiid mites between weeds and trees was emphasized in this study, confirming results obtained in some other experiments carried out in apple orchards (Johnson and Croft 1981, Alston 1994) and in citrus orchards (Sahraoui *et al.* 2012b). The present study confirmed also the results obtained by Sahraoui *et al.* (2012b), who showed that Phytoseiidae can move simultaneously in both directions and that the number of Phytoseiidae moved upward is higher than that moving downward. As in other studies (Johnson and croft 1981, Koike and Amano 2000, Sahraoui *et al.* 2012b), the sex-ratio of mites captured reflects that of the Phytoseiidae in the agro-systems, confirming that all the

stages have probably similar ambulatory dispersal ability along the trunk (Sahraoui *et al.* 2012b).

Considering the effect of the two weeding practices, the densities of Phytoseiidae in citrus trees were significantly higher in the ploughed ground modality, suggesting that this weeding strategy could enhance the migration of phytoseiid mites from the ground to the citrus trees during the two or three weeks after weeding. This confirms the results of a similar experiment carried out by Sahraoui *et al.* (2012b) in a Tunisian citrus orchard.

A correlation was found between the densities of Phytoseiidae on weeds and citrus trees in the modality with weed management, also confirming the results of some studies carried out in citrus orchards by Aguilar-Fenollosa *et al.* (2011) and Sahraoui *et al.* (2012b). Furthermore, the number of the prevailing species caught increased in citrus trees with weed management. Densities of Phytoseiidae moving upward were higher in the modality with ploughed ground only during the 2 weeks after the weeding. In the ploughed ground modality, phytoseiid mites could have escaped from unfavourable conditions and moved up on the trunk, explaining both the high densities of Phytoseiidae collected under the trees, trapped and also found on trees in this modality. Indeed, some studies have shown that the main factors affecting the ambulatory dispersal was the deprivation of food and high temperatures which result in an increase in the walking speed of mites (Johnson and Croft 1981, Auger *et al.* 1999).

Conclusion

This experiment provides some information about the effect of plant species on the phytoseiid mites present in the agro-ecosystem. Significant effects of citrus species and weeding practices have been showed both on the densities and the diversity of Phytoseiidae. The modality 'weeding by ploughing the ground' seems to favour the dispersal of phytoseiid mites from weeds to citrus trees and the densities of Phytoseiidae on citrus trees since the number of captured Phytoseiidae in this modality was significantly higher than in the modality without weed management. The effect of weeding on the diversity of Phytoseiidae observed only in *C. limetta* suggests that the response of Phytoseiidae according to the weeding strategies can vary according to the citrus species considered. Additional studies with more weeding modalities and for longer period are suggested to better understand the interaction of Phytoseiidae with their habitats and to study the effect of habitat management on biological

control success (effect of plantation of species with rich phytoseiid diversity or supporting high densities).

Acknowledgements

We thank Nesrine Tersim from the INAT for her support during the field experiment. We thank also Sabine Guichou and Martial Douin from UMR CBGP for their help during mountings and identifications of Phytoseiidae.

References

- Abad-Moyano, R.A., T. Pina, O. Dembilio, F. Ferragut and A. Urbaneja. 2009. Survey of natural enemies of spider mites (Acari: Tetranychidae) in citrus orchards in eastern Spain. *Exp. Appl. Acarol.* 47: 49-61.
- Addison, J.A., J.M. Hardmann and S.J. Walde. 2000. Pollen availability for predacious mites on apple: spatial and temporal heterogeneity. *Exp. Appl. Acarol.* 24: 1-18.
- Aguilar-Fenollosa, E.F., G.M.V. Ibanez, R.S. Pascual, M. Hurtado and J.A. Jacas. 2011. Effect of ground cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in Clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms. *Biol. Contr.* 59: 171-179.
- Aguilar- Fenollosa, E.F., R.S. Pascual, R.M. Hurtado and J.A. Jacas. 2008. The effect of ground cover management on the biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Prostigmata) in Clementine. *Proceedings of the 3rd international symposium on biological control of Arthropods, New Zealand*: 355-365.
- Alston, D.G. 1994. Effect of apple orchard floor vegetation on density and dispersal of phytophageous and predatory mites in Utah. *Agr. Ecosys. Environ.* 50: 73-84.
- Aucejo, S., M. Foó, E. Gimeno, A. Gómez-Cadenas, R. Monfort, F. Obiol, E. Prades, M. Ramis, J.L. Ripollés, V. Tirado, L. Zaragoza, J.A. Jacas and Martínez-Ferrer M.T. 2003. Management of *Tetranychus urticae* in citrus in Spain: acarofauna associated to weeds. *OILB/WPRS Bull.* 26: 213-220

- Auger, P., M.-S. Tixier, S. Kreiter and G. Fauvel. 1999. Factors affecting ambulatory dispersal in the predaceous mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 23 (3): 235-250.
- Barbar, Z., M.-S. Tixier, S. Kreiter and B. Cheval. 2005. Diversity of phytoseiid mites in uncultivated areas adjacent to vineyards: a case study in the south of France. *Acarologia* 43(2-3): 145-154
- Barbar, Z., M.-S. Tixier, B. Cheval and S. Kreiter. 2006. Effects of agroforestry on phytoseiid mite communities (Acari: Phytoseiidae) in vineyards in the South of France. *Exp. Appl. Acarol.* 40: 175-188.
- Belaam, I. and S. Boulahia-Kheder. 2012. Inventory of thrips species in citrus orchards and assessment of scarring fruits in two citrus-producing regions of Tunisia. *Tun. J. Plant. Prot.* 7: 45-53.
- Bermudez, P., R. Vargas, A. Cardemil and E. Lopez. 2010. Effect of pollen from different plant species on the development of *Typhlodromus pyri* (Sheuten) (Acari: Phytoseiidae). *Chilean journal of agricultural research* 70(3): 408-416.
- Boller, E.F. 1984. Eine Einfache Ausschwemm-methode zur schellen Erfassung von Raubmilben, Thrips und andren Kleinarthropoden im Weinbau. *Zeit. Obst. Weinbau* (120): 249-255.
- Bouras, S.L. and G.Th. Papadoulis. 2005. Influence of selected fruit tree pollen on life history of *Euseius stipulatus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 36 (1-2): 1-14.
- Broufas, G.D. and D.S. Koveos. 2000. Effect of Different Pollens on Development, Survivorship and Reproduction of *Euseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 29(4): 743-749.
- Castagnoli, M. and S. Simoni. 1990. Biological observations and life table parameters of *Amblyseius cucumeris* (Oud.) (Acarina: Phytoseiidae) reared on different diets. *Redia* 73 (2): 569-583.
- Chant, D.A. and J.A. McMurtry. 2007. Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata). Michigan, Indira Publishing House pp. 220.

- Childers, C.C. and H.A. Denmark. 2011. Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) within citrus orchards in Florida: species distribution, relative and seasonal abundance within trees, associated vines and ground cover plants. *Exp. Appl. Acarol.* 54: 331-371.
- Coli, W.M., E.A. Ciurlino and T. Hosmer. 1994. Effect of understory and border vegetation composition on phytophagous and predatory mites in Massachusetts commercial apple orchards. *Agr. Ecosys. Environ.* 50: 49-60.
- Conti, F., R. Tumminelli, C. Amico, R. Fisicaro, C. Frittitta, G. Perrotta and R. Marullo. 2001. Monitoring *Pezothrips kellyanus* on citrus in eastern Sicily. Thrips and tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera, CSIRO: 207-210.
- DeVilliers, M.de and K.L. Pringle. 2011. The presence of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its predators on plants in the ground cover in commercially treated vineyards. *Exp. Appl. Acarol.* 53: 121-137.
- Duso, C., V. Malagnini and A. Paganelli. 1997. Indagini preliminari sul rapporto tra polline e *Kampimodromus aberrans* (Acari: Phytoseiidae) su *Vitis vinifera* L. *Allionia* 35: 229-239.
- Duso, C., A. Pozzebon, C. Capuzzo, P.M. Bisol and S. Otto. 2003. Grape Downy Mildew Spread and Mite Seasonal Abundance in Vineyards: Evidence for the Predatory Mites *Amblyseius andersoni* and *Typhlodromus pyri*. *Biol. Contr.* 27: 229-241.
- Fadamiro, H.Y., Y. Xiao, T. Hargroder, M. Nesbitt and C.C. Childers. 2009. Diversity and seasonal abundance of predacious mites in Alabama Satsuma citrus. *Ann Entomol Soc Am* 102 (4): 617-628.
- Fadamiro, H.Y., Y. Xiao, T. Hargroder, M. Nesbitt, V. Umeh and C.C. Childers. 2008. Seasonal occurrence of key arthropod pests and associated natural enemies in Alabama satsuma citrus. *Environ. Entomol.* 2: 555-567.
- Ferragut, F., R. Laborda and C.J. Costa. 1992. Feeding behavior of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus* on the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Entomophaga* 37(4): 537-543.
- Ferragut, F., I.P. Moreno, V. Iraola and A. Escudero. 2009. Acaros Depredadores de la familia Phytoseiidae en las plantas cultivadas. Ediciones Agrotecnicas S. L. pp. 202.

- Flexner, J.L., P.H. Westigard, P. Gonsalves and R. Hilton. 1991. The effect of groundcover and herbicide treatment on two-spotted spider mite density and dispersal in southern Oregon pear orchards. *Entom. Exp. Appl.* 60: 111-123.
- Hammer, O., D.A.T. Harper and P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1). pp. 9. (<http://folk.uio.no/ohammer/past/intro.html>).
- Hardman, J.M., J.L. Franklin, N.J. Bostanian and H.M.A. Thistlewood. 2011. Effect of the width of the herbicide strip on mite dynamics in apple orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 53: 215-234.
- Hardman, J.M., K. Jensen, J. Franklin and D. Moreau. 2005. Effects of dispersal, predators (Acari, Phytoseiidae), weather, and ground cover treatments on populations of *Tetranychus urticae* (Acari, Tetranychidae) in apple orchards. *J. Econ. Entomol.* 98: 862-874.
- Hislop, R.G. and R.J. Prokopy. 1981. Integrated management of phytophagous mites in Massachusetts (U.S.A.) apple orchards. Influence of pesticides on the predator *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *Prot. Ecol.* 3: 157-172.
- Johnson, D.T. and B.A. Croft. 1981. Dispersal of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) in Apple ecosystem. *Environ. Entomol.* (10): 313-319.
- Jung, C. and B.A. Croft. 2001. Ambulatory and aerial dispersal among specialist and generalist predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 30 (6): 1112-1118.
- Karban, R., G. English-Loeb, M.A. Walker and J. Thaler. 1995. Abundance of phytoseiid mites on *Vitis* species: effects of leaf hairs, domatia, prey abundance and plant phylogeny. *Exp. Appl. Acarol.* 19 (4): 189-197.
- Kawashima, M. and H. Amano. 2006. Overwintering phenology of a predacious mite, *Typhlodromus vulgaris* (Acari: Phytoseiidae), on Japanese pear trees observed with Phyto traps. *Exp. Appl. Acarol.* 39: 105-114.
- Koike, A. and H. Nemoto. 2000. New trap for survey of species structure and seasonal dynamics of phytoseiid mites on Japanese pear trees (Acari: Phytoseiidae). *Japan. J. Appl. Entomol. Zool.* 44: 35-40.

- Kreiter S., Auger P., Lebdi Grissa K., Tixier M.-S., Chermiti B., Dali M. 2002a. Plant inhabiting mites of some northern tunisian crops. *Acarologia* 42 (4), 389-402.
- Kreiter, S., F. Brian, C. Magnien, G. Sentenac and G. Valentin. 1991. Spider mites and chemical control of weeds: interactions. *Modern Acarology* 2: 725-736.
- Kreiter, S., G. Sentenac and G. Valentin. 1993. Interaction entre le désherbage chimique de la vigne et les populations d'acariens phytophages et prédateurs. ANPP- 3^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture- Résultats de terrain. Montpellier: 821-830.
- Kreiter, S., M.-S. Tixier, B.A. Croft, P. Auger and Barret D. 2002b. Plants and leaf characteristics influencing the predaceous mite, *Kampimodromus aberrans*, in habitats surrounding vineyards. *Environ. Entomol.*, 31(4): 648-660.
- Landis, D. and S. Wratten. 2002. Conservation of biological controls. pp.138-140. *In: Encyclopedia of Pest Management* (Pimentel D Ed.). Marcel Dekker, New York, USA.
- Landis, D.A., S.D. Wratten and G.M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropods pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 175-201.
- Madinelli, S., N. Mori and V. Girolami. 2002. The importance of pollen from herbaceous cover for phytoseiid mites. *Informatore Agrario* 58 (15): 125-127.
- Mailloux, J., F. Le Bellec, S. Kreiter, M.-S. Tixier and P. Dubois. 2010. Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 52: 275-290.
- McMurtry, J.A. 1977. Some predacious mites (Phytoseiidae) on citrus in the Mediterranean region. *Entomophaga* 22 (1): 19-30.
- McMurtry, J.A. 1992. Dynamics and potential impact of generalist phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species. *Exp. Appl. Acarol.* 14: 371-382.
- McMurtry, J.A. and B.A. Croft. 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 291-321.
- Meagher, R.L. and J.R. Meyer. 1990. Influence of ground cover and herbicide treatments on *Tetranychus urticae* Koch populations. *Exp. Appl. Acarol.* 9: 149-158.

- Messelink, G.J., S.E.F. Van Steenpaal and P.M.J. Ramakers. 2005. Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *BioControl*, 51: 753-768.
- Miliczky, E. and D.R. Horton. 2011. Occurrence of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and potential predators on host plants in near-orchard habitats of Washington and Oregon (Thysanoptera: Thripidae). *J. Entomol. Soc. B.C.* 108: 11-28.
- Nwilene, F.E. and G. Nachman. 1996. Functional responses of *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus teke* (Acari: Phytoseiidae) to changes in the density of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). *Exp. Appl. Acarol.* 20(5): 259-271.
- Nyrop, J.P., J.C. Minns and C.P. Herring. 1994. Influence of ground cover on dynamics of *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina; Phytoseiidae) in New York apple orchards. *Agr. Ecosys. Environ.* 50: 61-72.
- Papadoulis, G., N.G. Emmanouel and E.V. Kapaxidi. 2009. Phytoseiidae of Greece and Cyprus. Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, USA. pp.171
- Pereira, N., M.A. Ferreira, M.E. Sousa and J.C. Franco. 2006. Mites, Lemon trees and ground cover interactions in Mafra region. *Bulletin OILB/SROP* 29(3): 143-150.
- Rezende, J.M. and A.C. Lofego. 2011. Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) on plants of central region of the Brazilian cerrado. *Acarologia* 51 (4): 449-463.
- Rock, G.C. and D.R. Yeagan. 1973. Toxicity of apple orchard herbicides and growth regulating chemicals to *Neoseiulus fallacis* and two spotted mite. *J. Econ. Entomol.* 66: 1342-1343.
- Rodriguez N.S., S.R. Terron, R. Pena-Martinez and A.A. Fierro. 2005. Lamb's-quarters, *Chenopodium album* L., (Chenopodiaceae) and Joseph's coat, *Amaranthum tricolor* L., (Amaranthaceae) and theirs associated entomofauna at Las Animas, Tulyehualco, Distrito Federal, Mexico. XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM) I Congreso Iberoamericano de Ciencia de las Malezas, IV Congreso Nacional de Ciencia de Malezas: 908-909
- Sahraoui, H., K. Lebdi-Grissa, S. Kreiter, M. Douin and M.-S. Tixier. 2012a. Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of Tunisian citrus orchards. *Acarologia*, in press.

- Sahraoui, H., M.-S. Tixier, K. Lebdi-Grissa, N. Tersim and S. Kreiter. 2012b. Effect of weed management on the density, diversity and dispersal of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in Tunisian citrus orchards. *Exp. Appl. Acarol.*, in press.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688. (<http://www.wku.edu/~smithch/biogeog/SIMP1949.html>)
- Stanyard, M.J., R.E. Foster and T.J. Gibb. 1997. Effects of orchard ground cover and mite management options on the population dynamics of European red mite (Acari: Tetranychidae) and *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in apple. *J. Econ. Entomol.* 90(2): 595-603.
- StatSoft, 2010. STATISTICA (logiciel d'analyse des données), version 9.1. www.statsoft.fr.
- Tixier, M.-S., S. Kreiter, Z. Barbar and B. Cheval. 2006. Abundance and diversity of phytoseiid mite communities in two arboreta in the south of France. *Acarologia* (3-4): 169-179.
- Tixier, M.-S., S. Kreiter, B. Thierry and B. Cheval. 2007. Factors affecting abundance and diversity of phytoseiid mite communities in two arboreta in the South of France. *J. Egypt Soc. parasitol.* 37 (2): 493-510.
- Toyoshima, M., F. Kadono, A. Shiota and H. Amano. 2006. Can the population size of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on Japanese pear trees be estimated by Phyto traps attached to the twigs? *Appl. Entomol. Zool.* (41-1): 145-150.
- Tuovinen, T. 1994. Influence of surrounding trees and bushes on the phytoseiid mite fauna on apple orchard trees in Finland. *Agr. Ecosys. Environ.* 50: 39-47.
- Tuovinen, T. and J.A.H. Rokx. 1991. Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on apple trees and in surrounding vegetation in southern Finland: Densities and species composition. *Exp. Appl. Acarol.* 12: 35-46.
- Van Rijn P.C.J and L.K. Tanigoshi. 1999. Pollen as food for the predatory mites *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae): dietary range and life history. *Exp. Appl. Acarol.* 23: 785-802.
- Vantornhout, I. 2006. Biology and ecology of the predatory mite *Iphiseius degenerans* (Berlese) (Acari: Phytoseiidae). PhD thesis, Ghent University, Belgium: 27-28

- Vantornhout, I., H. Minnaert, L. Tirry and P. De Clercq. 2004. Effect of pollen, natural prey and factitious prey on the development of *Iphiseius degenerans*. *BioControl* 49(6): 627-644.
- Villanueva, R.T. and C.C. Childers. 2004. Phytoseiidae increase with pollen deposition on citrus leaves. *Florida Entomologist* 87(4): 609-611.
- Villanueva, R.T. and C.C. Childers. 2006. Evidence for host plant preference by *Iphiseiodes quadripilis* (Acari: Phytoseiidae) on citrus orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 39: 243-256.
- Walter, D.E. 1992. Leaf Surface-Structure and the Distribution of Phytoseius Mites (Acarina, Phytoseiidae) in South-Eastern Australian Forests. *Australian Journal of Zoology* 40(6): 593-603.

1.3 Conclusion

Quatorze espèces de Phytoseiidae ont été identifiées. Trois espèces étaient dominantes sur les arbres: *E. stipulatus*, *I. degenerans* et, dans une moindre mesure, *T. (T.) exhilaratus*, alors qu'une espèce était prépondérante sur les plantes adventices et dans les pièges: *T. (T.) exhilaratus*. La dispersion ambulatoire des Phytoseiidae entre les arbres et les plantes dans le sol a été confirmée. Les Phytoseiidae peuvent se déplacer simultanément dans les deux directions et le nombre des Phytoseiidae se dispersant du sol vers la canopée est plus élevé que celui de ceux qui se déplacent vers le sens opposé dans la modalité avec désherbage. Tous les stades ont été capturés dans les pièges et semblent avoir une capacité de dispersion ambulatoire semblable.

Nous avons observé que le labour semblait favoriser la dispersion des Phytoseiidae des plantes adventices vers les arbres.

La dominance des Phytoseiidae généralistes dans les vergers d'agrumes a été également observée dans cette expérience. Deux espèces ont dominé sur les agrumes : *I. degenerans* sur *C. limetta* et *E. stipulatus* sur les deux autres espèces d'agrumes. Or, l'espèce principalement capturée dans les pièges était *T. (T.) exhilaratus* et c'est également cette espèce qui était dominante sur les plantes couvrant le sol, suggérant ainsi un lien entre les Phytoseiidae sur les adventices et ceux se dispersant le long des arbres. Cependant cette espèce n'était pas abondante sur les arbres ce qui soulève des interrogations sur l'existence d'une compétition avec les espèces dominantes qui pourrait empêcher cette espèce de s'installer sur les arbres. L'effet du labour a été observé sur une seule espèce d'agrumes « *Citrus limetta* » sur laquelle la densité d'*E. stipulatus* a significativement augmenté après le désherbage.

De même que pour les résultats présentés dans le chapitre 4, une diversité plus élevée et une plus grande abondance des Phytoseiidae ont été observées sur les plantes adventices que sur les arbres avec une préférence observée de quelques espèces de Phytoseiidae vis-à-vis de quelques espèces adventices. Afin de compléter les résultats obtenus, un deuxième essai a été réalisé, dans lequel d'autres moyens de gestion de l'enherbement ont été étudiés.

2. ETUDE DE L'EFFET DE QUATRE MODES DE GESTION DE L'ENHERBEMENT SUR LA DIVERSITE ET L'ABONDANCE DES PHYTOSEIIDAE

2.1 Introduction

Cette expérimentation a pour objectif de comparer l'effet de quatre modes de désherbage (chimique, fauchage, labour, couvert naturel) sur la diversité et la densité des Phytoseiidae, sur les arbres, sur la couverture herbacée entre les rangs et se dispersant le long des troncs des arbres. Les modes de conduite choisis sont ceux les plus utilisés par les producteurs d'agrumes tunisiens et donc considérés ici comme représentatifs, d'après l'enquête présentée dans le chapitre 4. Les résultats de cette expérimentation sont présentés dans l'article 5 ci-dessous.

2.2 Article 5

Article 5- Effect of weed management on the density, diversity and dispersal of predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in Tunisian citrus orchards (Experimental and Applied Acarologie, accepté)

Hajer Sahraoui^{1,2}, Marie-Stéphane Tixier², Kaouthar Lebdi Grissa¹, Nesrine Tersim¹, Serge Kreiter²

1- Institut National Agronomique de Tunisie, Laboratoire de protection des plantes, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisia

2- Montpellier SupAgro, Unité Mixte de Recherche CBGP (INRA / IRD / CIRAD / SupAgro), Campus International de Baillarguet, CS 30 016, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex, France

Corresponding author to whom correspondence should be sent: tixier@supagro.inra.fr

Abstract

The densities and diversity of Phytoseiidae were surveyed weekly during ten weeks in 2011 on citrus trees and weeds in an experimental Tunisian citrus orchard within four weed management strategies: spontaneous natural vegetation, weeds treated with herbicide glyphosate, mown weeds and ploughed ground. Aerial and ambulatory dispersal between trees and weeds was also assessed using water and trunk traps. Nine species of Phytoseiidae were found, the prevailing one being *Euseius stipulatus*, both on citrus trees (97 %) and in wild cover (62 %). It was also the main species caught in the ambulatory traps on the citrus trunk (67 %), suggesting the existence of ambulatory dispersal of Phytoseiidae between trees and weeds. This dispersal was observed in the two directions: trees to wild cover and wild cover to trees. Correlations between the densities of phytoseiid mites present in weeds, on citrus trees and captured in traps were observed. The densities of Phytoseiidae caught along the trunk were significantly higher in the modality ploughed ground. Lower Phytoseiidae densities on citrus trees were observed in the modality glyphosate, whereas no difference was observed between the three other modalities. Diversity of Phytoseiidae on trees and on weeds was not affected by weed management strategies. The modality ploughed ground was the most encouraging modality in regards to dispersal and the densities of Phytoseiidae on citrus trees. Additional studies during longer period and considering more traps are planned in order to better characterize the direct effect of managing the habitats on biological control.

Keywords: citrus; Phytoseiidae; dispersal; weed management; dispersal

Introduction

In Tunisia, citrus trees can be damaged by many serious pests, especially phytophagous mites. A survey in Tunisian citrus orchards (Kreiter *et al.* 2002) revealed the presence of four species of Tetranychidae mites (*Tetranychus urticae* Koch, *Panonychus citri* [McGregor], *Tetranychus turkestanii* Ugarov and Nicholski and *Eutetranychus orientalis* Klein), one Tenuipalpidae species (*Brevipalpus lewisi* McGregor) and two Eriophyidae species (*Aceria sheldoni* [Ewing], *Phyllocoptruta oleivorus* [Ashmead]). Several species of the family Phytoseiidae are known to be efficient natural enemies of phytophagous mites, thrips and other small insects in various crops all over the world, including citrus orchards (McMurtry and Croft 1997). The main Phytoseiid species reported on citrus in the Mediterranean region are *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot), *Neoseiulus californicus* (McGregor) and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot. Other species as *Paraseiulus talbii* (Athias-Henriot), *Iphiseius degenerans* (Berlese), *Typhlodromus (Typhlodromus) athiasae* Porath and Swirski and *Typhlodromus (Typhlodromus) phialatus* Athias-Henriot have also been reported from these agrosystems but in a lesser extent (McMurtry 1977; Abad-Moyano *et al.* 2009a; Sahraoui *et al.* 2012).

Phytoseiids are naturally present in agrosystems, most of them are generalist predators and can survive and develop when preys are absent, feeding on nectar and/or pollen (Ferragut *et al.* 1987; Castagnoli and Simoni 1990; van Rijn and Tanigoshi 1999; Madinelli *et al.* 2002; Vantornhout *et al.* 2004, 2005). Their presence can be affected by plant species and cultivars due to their narrow relationships with leaf characteristics of their plant support (i.e. Kreiter *et al.* 2002; Villanueva and Childers 2006; Rezende and Lofego 2011). Several studies have shown the positive impact of plant diversification within crops on the diversity of natural enemies (Altieri 1982, 1995), including Phytoseiidae in apple and citrus orchards (i.e. Tuovinen and Rokx 1991; Coli *et al.* 1994; Tuovinen 1994; Mailloux *et al.* 2010) and vineyards (i.e. Barbar *et al.* 2006; Tixier *et al.* 2006; De Villiers and Pringle 2011). Habitat management can thus be considered a subset of conservation biological control methods that alter habitats to improve availability of resources required by predators (Addison *et al.* 2000; Landis *et al.* 2000). Very few studies aimed to determine the impact of the inter-rows management on the abundance and diversity of Phytoseiidae. Some report a positive effect on the density and diversity of Phytoseiidae of plants sown or naturally occurring in the inter-rows in apple (Alston 1994; Coli *et al.* 1994; Nyrop *et al.* 1994; Tuovinen 1994; Stanyard *et*

al. 1997) and citrus orchards (Pereira *et al.* 2006; Aguilar-Fenollosa *et al.* 2008, 2011; Mailloux *et al.* 2010). Others have shown that the use of herbicides in inter-rows has directly detrimental effects on Phytoseiidae in apple orchards (Rock and Yeargan 1973; Hilsop and Prokopy 1981) and vineyards (Kreiter *et al.* 1993). Much less studies deal with the dispersal of Phytoseiidae between inter-rows and trees, even if it is known that Phytoseiidae disperse by ambulatory and aerial means, depending on many factors such as food availability, temperature and pesticide treatments (Johnson and Croft 1981; Hoy *et al.* 1985; Dunley and Croft 1990; Alston 1994; Auger *et al.* 1999; Escudero *et al.* 1999; Croft and Jung 2001; Rigamonti and Rena 2003; Skirvin and Fenlon 2003).

The present study aims thus to determine the impact of weed management in Tunisian citrus orchards on densities and diversity of Phytoseiidae and to assess dispersal of Phytoseiidae between trees and weeds in four modalities of weed management corresponding to the most used in Tunisia.

Material and methods

Experimental site

This study was carried out in an 11 years-old experimental citrus orchard (cv. Clementine) of about 2000 m² (planting density 3.5 x 4 meters), located in Boumhal, region of Morneg, Cap-Bon, Tunisia (Latitude: 36.72° N, Longitude 10.29° E).

The climate of this region is dry to semi-arid marked by irregular precipitations, with an annual rainfall average ranging from 250 to 400 mm (Fig. 1). No pesticide was applied during this experiment.

The experimental orchard was divided in 16 plots (80m² each) each containing nine trees. These plots correspond to the four replicates of the four modalities of weed management studied: Mod.1, spontaneous natural vegetation; Mod.2, weeds once sprayed (02 June 2011) with herbicide glyphosate applied in the strip between the citrus rows; Mod.3, mown weeds once (02 June 2011); Mod.4, ploughed ground on the strips between the citrus rows once (02 June 2011) (Fig. 2). The 16 plots were separated from each other by three or four meters and samplings performed in the center of the plots.

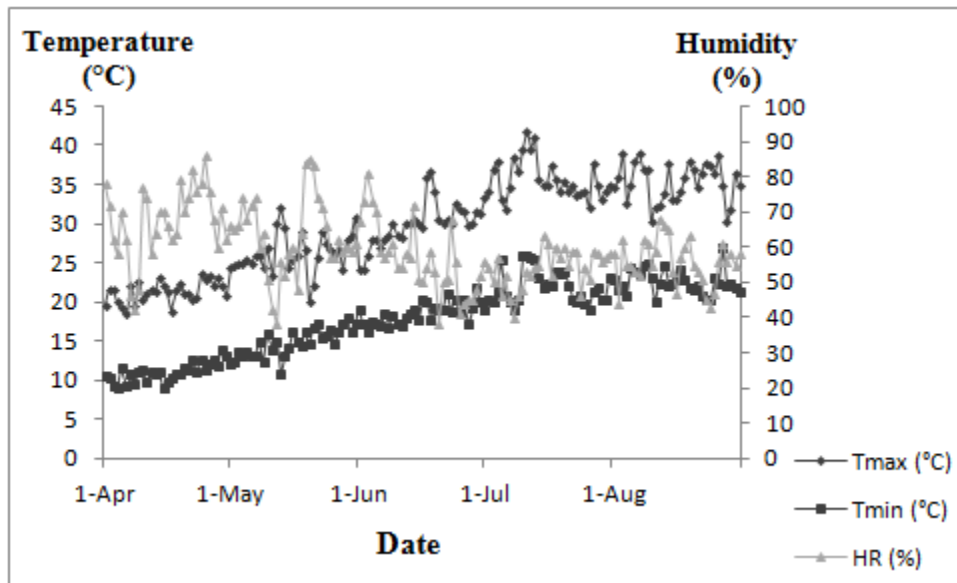


Figure 1. Climatic data in the experimental orchard during the trial (station météorologique de Mornag), Tmin and Tmax indicate respectively the minimal and maximal temperatures and HR the relative humidity.

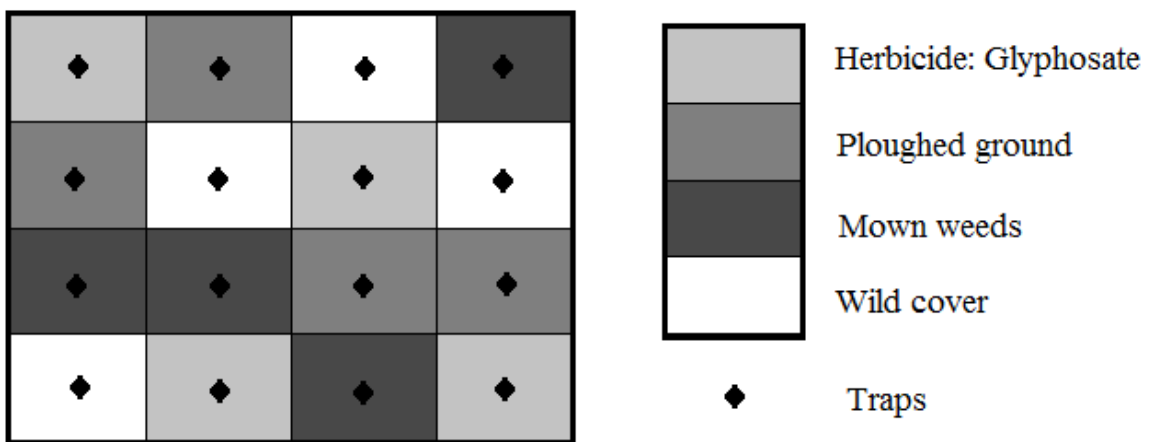


Figure 2. Schema of the experimental device and location of the traps within the experimental plot.

Samplings for determining Phytoseiidae density and diversity on trees and weeds

Samplings have been carried out once a week from 02 June 2011 (before weed treatments) to 18 August 2011. In each of the 16 plots, 30 leaves were randomly collected on trees, and all the weeds of the inter-rows included in a quadrat of 30 x 30 cm haphazardly defined, were sampled.

Leaves were transported in plastic bags the same day in freezing boxes to the laboratory. Mites were then counted and collected from citrus leaves using a fine hair brush. As it was impossible to observe the leaves of each weed species, we used the soaking-checking-washing-filtering method (Boller 1984) to extract mites separately from every weed species of each quadrat.

Traps for studying Phytoseiidae dispersal between weeds and trees

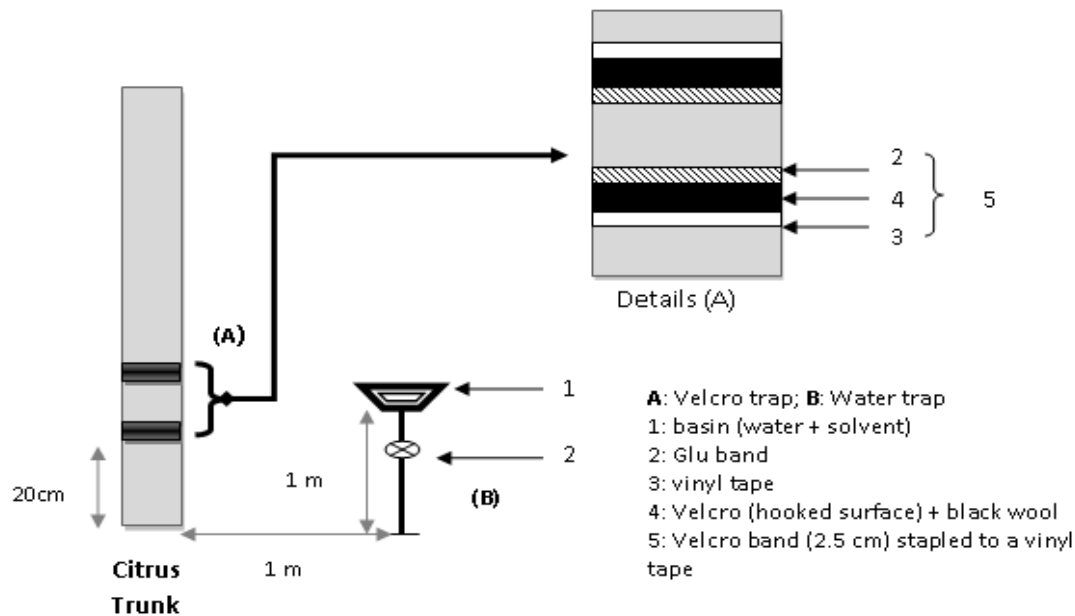
Dispersal of phytoseiid mites between weeds and citrus trees was assessed by two types of traps, both installed on 02 June 2011 (before weed treatments), aiming to characterize aerial and ambulatory dispersal. Water traps were used to characterize aerial dispersal from trees to weeds: they consist in basins filled with water, placed under one tree per plot (for a total of 16 traps) (Fig. 3B). These traps have already been used successfully in various studies to characterize Phytoseiidae aerial dispersal (i.e. Tixier *et al.* 1999, 2002, 2006). The traps were raised one meter above the ground and glue was added under the basin to avoid catching mites coming from weeds. Each week, the water contained in the traps was filtered on 100 μm sieves and mites collected, counted and mounted on slides for identification.

The second kind of trap consists in hooked bands Velcro®, similar to the phyto-traps described by Koike and Nemoto (2000) and used by several authors (Koike and Nemoto 2000; Kawashima and Amano 2006; Toyoshima *et al.* 2006) to study the population's size of overwintering phytoseiid mites. They consist in Velcro® (hooked surface) bands and black wool yarn attached to the Velcro®'s hooked surface, all of this stapled on a vinyl-tape (Fig. 3A). The main advantage of these traps comparing to glue systems for instance is that they allow the collection of live material making further identification easier. Two bands were placed around the trunk of 16 randomly selected trees (one per plot) (Fig. 2). The upper and downer bands were separated by glue to distinguish between phytoseiid mites coming from weeds from those coming from the citrus canopy. The Velcro®'s bands were replaced every week. They were placed into plastic bags and transported in freezing boxes to the laboratory. Mites were counted directly on the Velcro®'s bands using a stereoscopic microscope, then collected and identified.

Species identification

All the Phytoseiidae mites collected during the study were mounted on slides using Hoyer's medium for further identification with a phase contrast microscope (Leica DMLB, Leica Microsystems SAS, Reuil-Malmaison, France). The generic classification of Chant and McMurtry (2007) and more specific literature for species determination were used to identify the Phytoseiidae species (Ferragut *et al.* 2009; Papadoulis *et al.* 2009).

In order to determine how the presence of preys could affect Phytoseiidae densities, in all the samplings and in the traps, specimens belonging to the Tetranychidae family have been counted, but not determined at species level.



Data analyses

Mite density. Linear mixed effect model procedure was computed using a Poisson distribution in order to assess the influence of modalities on the mean number of mobile Phytoseiidae per leaf, the total number of Phytoseiidae on weeds and caught in traps with time as a random factor nested in blocks, to correct for pseudo-replication due to repeated measures.

ANOVAs, followed by Newman and Keuls tests when a significant difference was observed, were performed to compare the mean densities of predators between the different treatments

(on citrus trees, in weeds and traps). Finally, linear simple regression tests between the mean Phytoseiidae densities on citrus trees, in weeds and captured were carried out. All the statistical analyses were performed using Statistica version 9 (Statsoft 2010).

Mite diversity. To compare species diversity on weeds and trees, Simpson's diversity index was used. This index takes into account the number of species present as well as their relative abundance (Simpson 1949). The value of Simpson's diversity index ranges between 0 and 1, a value of 1 represents infinite diversity and a value of 0, no diversity.

Results

A total of 463 mites belonging to nine species and six genera were identified during the experiment, two of them being new for the Tunisian fauna (Kreiter *et al.* 2010): *Typhlodromus (Anthoseius) pegazzani* Ragusa and Swirski and *Amblyseius meridionalis* Berlese. Three species were found on citrus trees, eight on weeds (in the inter-rows) and four in the traps. *Euseius stipulatus* was the most abundant species on citrus trees, in wild cover and traps (table 1).

Table 1. Weed species on which the Phytoseiidae were collected in all the modalities

Plant species	Species of Phytoseiidae (and adult density)
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<i>E. stipulatus</i> (8), <i>N. californicus</i> (4), <i>T. (A.) rhenanoides</i> (2), <i>A.</i>
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Persoon.	<i>N. californicus</i> (12), <i>N. cucumeris</i> (1), <i>T. (A.) rhenanoides</i> (5)
<i>Bromus diandrus</i> Roth.	<i>E. stipulatus</i> (1)
<i>Hordeum murinum</i> L.	<i>N. californicus</i> (3)
<i>Solanum nigrum</i> L.	<i>E. stipulatus</i> (9), <i>P. persimilis</i> (2)
<i>Chenopodium murale</i> L.	<i>T. (A.) rhenanoides</i> (2)
<i>Beta vulgaris</i> var.	<i>E. stipulatus</i> (19)
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	<i>E. stipulatus</i> (35), <i>T. (A.) rhenanoides</i> (2), <i>N. californicus</i> (3)
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<i>N. californicus</i> (1), <i>N. barkeri</i> (1)
<i>Conyza canadensis</i> L.	<i>E. stipulatus</i> (12), <i>N. californicus</i> (6)
<i>Malva</i> sp.	<i>E. stipulatus</i> (1), <i>T. (A.) rhenanoides</i> (2), <i>T. (T.) exhilaratus</i> (5)
<i>Mercurialis annua</i> L.	<i>E. stipulatus</i> (5)
<i>Strobilanthes</i> sp.	<i>E. stipulatus</i> (2), <i>N. californicus</i> (2)

Phytoseiidae and Tetranychidae on citrus trees

Densities. Pooling the data obtained for all the dates, Phytoseiidae mean densities were significantly different in the four modalities considered ($F_{(3, 3,4796)} = 7.47, P = 0.000$). The mean densities were significantly lower on the trees of the Mod. 2 (herbicide treatment) (Fig. 4a). These differences were mainly due to the densities observed on the 09 June ($F_{(3, 476)} = 8.19, P = 0.000$) and 23 June ($F_{(3, 476)} = 3.65, P = 0.01$). After this latter date, phytoseiid mite densities decreased in all the modalities (Fig. 5a) and no significant difference in Phytoseiidae densities was observed between the four modalities.

Only three females of Tetranychidae were found on the citrus trees in all the modalities.

Phytoseiidae diversity. Three phytoseiid mite species were found on citrus trees: *E. stipulatus*, *N. californicus* and *Typhlodromus (Anthoseius) rhenanoides* Athias-Henriot (Table 2). The most abundant species was *E. stipulatus* (97 %) whatever the inter-rows management.

The Simpson's diversity indexes were low in the four weed management modalities and not notably different. Weed management strategies did not presently affect Phytoseiidae diversity on citrus.

Phytoseiidae and Tetranychidae on weeds

Densities. Although the total number of phytoseiid mites collected during all the experiment was higher in the modalities wild cover (Mod. 1) and mown weeds (Mod. 3), Phytoseiidae mean densities were not statistically different between the four modalities considered ($F_{(3, 156)} = 2.31, P = 0.08$) (Fig. 4b). No significant difference was either observed considering each date, separately (Fig. 5b).

Tetranychidae were present in weeds for all the modalities but only on some plants (especially *Malva* sp. and *Convolvulus arvensis* L.) (Fig. 6).

Phytoseiidae diversity. Eight species of Phytoseiidae have been collected on the 13 weeds collected (Tables 1, 2). The three more abundant species were those also found on citrus trees and in traps (see below). *Euseius stipulatus*, which is the most abundant species on weeds, was found on nine plants; among them *Amaranthus retroflexus* L. showed the highest densities in all the plots considered. *Neoseiulus californicus* was collected on seven plants and

was particularly abundant on *Cynodon dactylon* (L.) Persoon. Finally, *T. (A.) rhenanoides* was collected on five plant species. The other phytoseiid mites encountered *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans), *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, *Typhlodromus (Typhlodromus) exhilaratus* Ragusa, *Neoseiulus barkeri* Hughes, *A. meridionalis* were much less abundant and only observed on one weed species.

The highest number of species was observed on weeds collected in the modality wild cover. However, the Simpson indices in the different modalities are quite similar, suggesting little effect of weed management strategies on phytoseiid diversity in the inter-rows.

Table 2. Total number of Phytoseiidae / species collected in the four weeding modalities, and the relative value of Simpson's diversity indices in citrus trees, weeds and traps. MOD1: wild cover, MOD2: glyphosate, MOD3: mown weeds, MOD4: ploughed ground

Phytoseiid species	In citrus				In weeds				In traps			
	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4
<i>E. stipulatus</i>	50	16	38	50	23	18	38	11	2	3	4	7
<i>N. californicus</i>	0	1	1	0	15	4	10	1	0	1	1	0
<i>T. (A.) rhenanoides</i>	1	0	0	1	5	1	8	0	3	0	1	1
<i>A. meridionalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>N. cucumeris</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>T. (T.) pegazzani</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>N. barkeri</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>P. persimilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>T. (T.) exhilaratus</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Immatures	41	15	35	48	22	21	29	14	3	0	2	0
Simpson's diversity Index (1-D)	0.04	0.11	0.05	0.04	0.61	0.53	0.49	0.51	0.66	0.56	0.66	0.22

Phytoseiidae and Tetranychidae captured

Densities. No Phytoseiid mite was captured in the aerial traps, whereas Phytoseiidae were caught in the bands placed on the tree trunks (in the two dispersal directions) (Fig. 4c). Higher densities of Phytoseiidae were captured in the direction “weeds to trees” than in the direction “trees to weeds” ($F_{(1, 318)} = 9.14, P = 0.002$). Considering each modality separately, these differences were significant for two modalities, the mod. 1 (wild cover) ($H_{(1, 78)} = 4.01, P = 0.04$) and the mod. 4 (ploughed ground) ($H_{(1,78)} = 4.33, P = 0.04$). These significant differences were observed at the date 09 June ($F_{(1, 30)} = 4.44, P = 0.04$).

Only for the mod. 4 (ploughed ground) that phytoseiid mites moving upward were significantly different between the dates ($F_{(9, 30)} = 3.06, P = 0.009$), the highest densities being trapped on the 09 and 16 June (Figure 5c).

The densities of phytoseiids dispersing downward were not significantly different in the four modalities ($F_{(3, 156)} = 0.74, P = 0.52$) nor between the 10 dates ($F_{(9, 150)} = 1.52, P = 0.14$). The densities captured were very low and no specimen has been trapped in the mod. 4 (ploughed ground) (Table 2). No Tetranychidae was found in traps.

Phytoseiidae diversity. Twenty-nine specimens, belonging to four species, were captured. Female was the most captured stage (75 %); 4 % and 21 % of specimens captured were males and immature, respectively. The three most abundant species found on trees and weeds were also captured on the trunks, the most abundantly captured species being *E. stipulatus* (67 %) (Table 2). Species dispersing down and up the trunks were the same.

Relationships between Phytoseiidae densities on trees, weeds and in traps

Densities of Phytoseiidae on trees and weeds. Variations over time of Phytoseiidae densities in trees and weeds were similar. A positive correlation was observed between mean densities of Phytoseiidae on the citrus trees and those in inter-rows only in the Mod. 1 (wild cover) (Table 3).

Densities of Phytoseiidae in traps and on weeds. A positive correlation was found between the mean phytoseiid densities on weeds and those moving upward in the Mod. 3 (mown weeds) ($R^2 = 0.42, P = 0.03$) and Mod. 4 (ploughed ground) ($R^2 = 0.53, P = 0.01$) (Table 3). No significant correlation was observed between Phytoseiidae mean densities in weeds and those moving downward, whatever the modality considered.

Densities of Phytoseiidae in traps and on trees. For the phytoseiid mites moving downward the unique significant correlation was observed for the Mod. 1 (wild cover) ($R^2 = 0.57, P = 0.01$). A positive significant correlation was also found between the Phytoseiidae mean densities on trees and those moving upward for the Mod. 2 (glyphosate) ($R^2 = 0.59, P = 0.00$) and the Mod. 4 (ploughed ground) ($R^2 = 0.59, P = 0.00$) (Table 3).

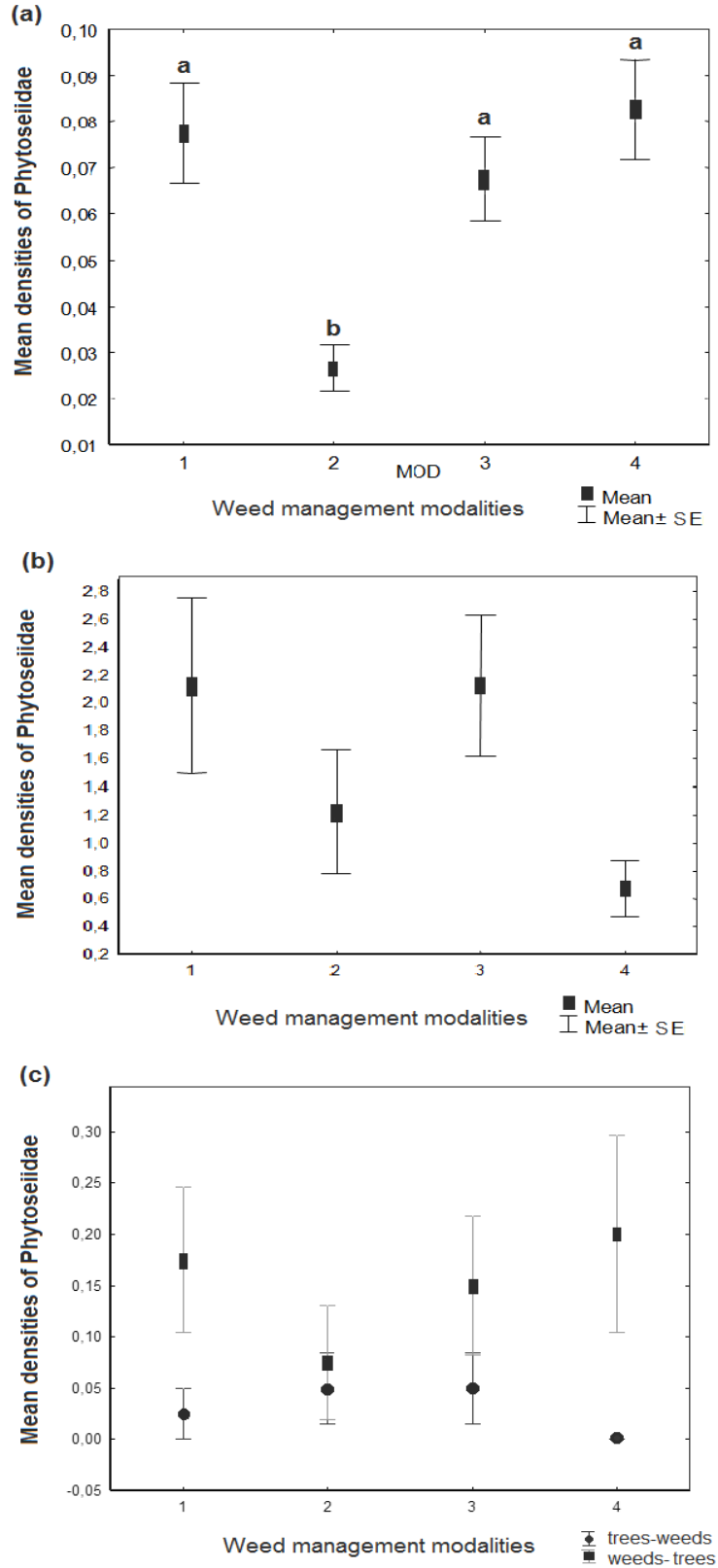


Figure 4. Mean Phytoseiidae densities in the four modalities. Mod.1: Wild cover; Mod.2: treated with herbicide glyphosate; Mod.3: Mown weeds; Mod.4: Ploughed ground. (a): in citrus trees (mean density / leaf); (b): in weeds (mean density / quadrat); (c): in traps (mean density / trap).

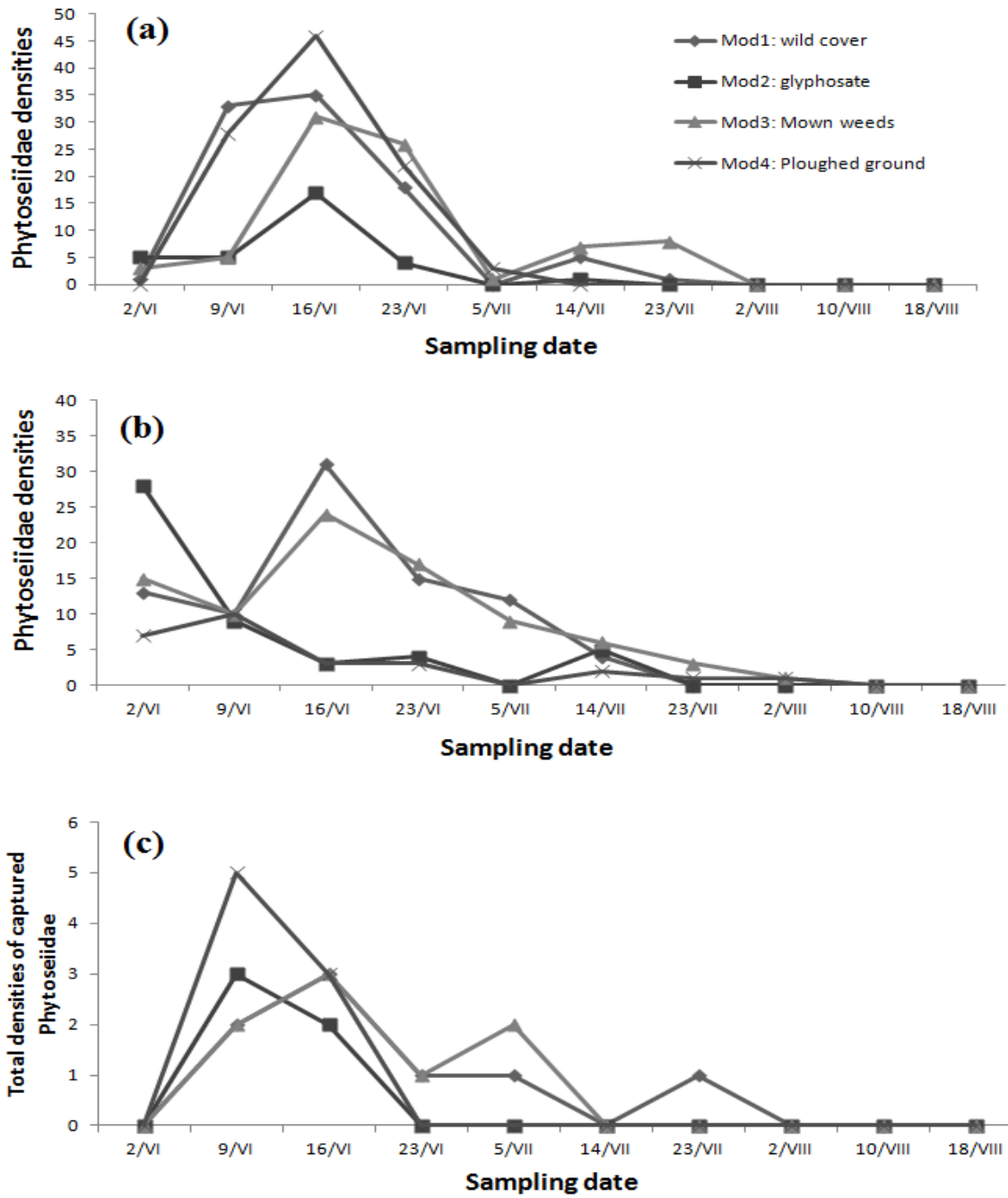


Figure 5. Variations over time of the total Phytoseiidae densities in the four weed management modalities (a) in citrus trees, (b) in weeds and (c) in ambulatory traps (in the two directions).

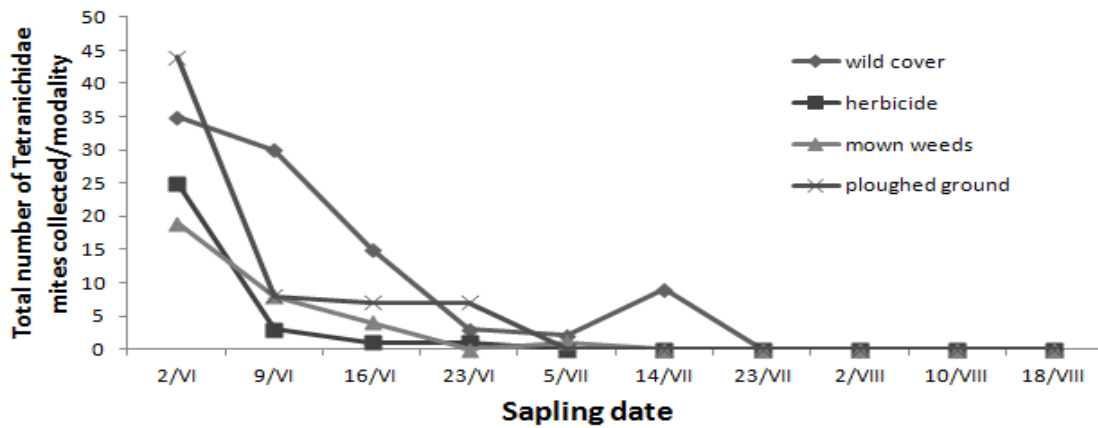


Figure 6. Variations over time of the total densities of *Tetranychus* sp. on weeds in the four weed management modalities

Table 3. Correlation coefficients between phytoseiid densities in trees, traps (upward and downward) and weeds for the four considered modalities 1: wild cover, 2: glyphosate, 3: mown weeds, 4: ploughed ground

Correlation	Modality	R ²	P
Trees-Weeds	1	0.51	0.018
	2	0.06	0.482
	3	0.39	0.052
	4	0.12	0.314
Weeds-Traps downward	1	0.37	0.059
	2	0.01	0.75
	3	0.19	0.206
	4	-	-
Weeds-Traps upward	1	0.06	0.477
	2	0.02	0.67
	3	0.42	0.039
	4	0.53	0.015
Trees-Traps downward	1	0.57	0.010
	2	0.29	0.10
	3	0.13	0.29
	4	-	-
Trees-Traps upward	1	0.34	0.073
	2	0.59	0.008
	3	0.35	0.070
	4	0.59	0.009
Traps downward-upwards	1	0.01	0.75
	2	0.87	0.00
	3	0.31	0.09
	4	-	-

Discussion

Phytoseiidae mites were collected from citrus trees but also on 13 weed species in all the experiment. Tetranychidae mites were poorly encountered on trees and only observed on some plants in the inter-rows, especially *Malva* sp. and *C. arvensis*. As already noted by some authors (i.e. Aucejo *et al.* 2003), such plants have a long reputation of mite harboring weeds and should be eliminated from agrosystem to avoid the presence of pests. However, in regards to the low densities on citrus trees, the weed strategies did not seem to have affected the densities of Tetranychidae on citrus, unlike the results emphasized by Hardman *et al.* (2011) who showed that the dimension of inter-row strips affect the nutritional composition of apple leaf and thus the development of *T. urticae*. Furthermore no specimen of this latter family has been captured. Nevertheless, several authors, studying the effect of weed management on the pest mite *T. urticae*, showed that it can migrate from weeds to trees (Boller *et al.* 1985; Meagher and Meyer 1990; Flexner *et al.* 1991; Alston 1994; Hardman *et al.* 2005, 2011). The absence of Tetranychidae dispersal presently observed can be due to the low densities observed in all the plots (Fig. 6).

As low pest densities was equally encountered on citrus trees in all the modalities and because the Phytoseiidae species mainly found are generalist predators, one can assume that Tetranychidae densities would not affect Phytoseiidae dynamics in the orchards presently considered. This conclusion was also emphasized in Aucejo *et al.* (2003) who found no correlation between *T. urticae* and *E. stipulatus* populations in citrus orchards in Spain.

Phytoseiidae diversity was higher on weeds than on citrus certainly because of the higher plant diversity in the inter-rows. Furthermore, some plant species have been found to be more favorable to some Phytoseiidae species (*A. retroflexus* for *E. stipulatus*; *C. dactylon* for *N. californicus*). Again, we can note that these plant species are not those on which the highest number of Tetranychidae was found. As already largely documented in literature (i.e. McMurtry and Croft 1997, Kreiter *et al.* 2002), occurrence of Phytoseiidae on some plants seem to be essentially determined by narrow relationships between Phytoseiidae and the leaf characteristics of their plant support. Such an observation could furthermore be helpful for further inter-rows management especially to choose the species to be planted or managed in inter-rows (Kreiter *et al.* 2002; Villanueva and Childers 2006; Rezende and Lofego 2011). Some recent studies suggest that inter-rows management can affect diversity of Phytoseiidae in the associated crop. However, these studies are still insufficient and till now, the direct

effect of ground cover management on Phytoseiidae communities on both weeds and trees is not characterized. Furthermore, little is known on putative dispersal between weeds and trees and the factors that can affect these exchanges. We are thus going to discuss some elements supported by the present results to answer these latter questions.

Does the dispersal of Phytoseiidae between citrus trees and inter-rows exist?

In the present trial, no Phytoseiidae was found to aerially disperse from trees to weeds. Yet, Tixier *et al.* (1999, 2002, 2006) showed aerial dispersal of Phytoseiidae from surrounding uncultivated areas to vineyards, supported by wind. Hoy *et al.* (1985) also showed that the aerial dispersal of *Galendromus (Galendromus) occidentalis* (Nesbitt) in apple orchards is affected by weather conditions (relative humidity, high wind speed and low temperatures). Unfavorable climatic conditions (high temperatures, low wind and low relative humidity) could be hypothesized to explain the presently observed absence of aerial dispersal. Some Phytoseiidae were captured on trunks and as the three phytoseiid species found on the citrus trees were the most abundant in weeds, exchanges between these two compartments of the agrosystem could be hypothesized. Even the number of Phytoseiidae captured was low and additional traps would be necessary to better characterize ambulatory dispersal, it seems that in the present case dispersal of Phytoseiidae between trees and weeds essentially occurs in an ambulatory way (Strong *et al.* 1999). This confirms the results of experiments carried out in apple orchards (Johnson and Croft 1981; Alston 1994) in which Phytoseiidae mites were captured on traps placed on the trunks.

The present study also shows that Phytoseiidae can move simultaneously in both directions (ground to canopy and canopy to ground). However, more Phytoseiidae mites have been captured in the direction from weeds to trees (than the opposite direction). This can thus suggest a possible effect of ground cover on densities and diversity on trees (see below). Some positive correlations between Phytoseiidae densities on trees, weeds and trapped also support this hypothesis. Johnson and Croft (1981) proposed several factors to explain colonization of trees by phytoseiid mites from the ground cover (density of Phytoseiidae in the ground cover, food availability on trees and temperatures).

In the present study, as the main species considered is *E. stipulatus*, a pollen feeder generalist predator, the occurrence of prey is certainly not the key factor (Aucejo *et al.* 2003). However, the effect of temperature and pollen availability (blooming period of the citrus) could be

proposed. Aucejo *et al.* (2003), who found *E. stipulatus* as the main species on citrus and weeds in the inter-rows, also suggested dispersal of this species between the two compartments of the agrosystems.

As in other studies (Johnson and croft 1981; Koike and Amano 2000), the most common stage dispersing in this trial was the adult female. However, the sex-ratio of mites captured reflects the sex ratio of the Phytoseiidae in the agrosystem (citrus trees: 86 % female and 14 % male; weeds: 75 % female and 25 % male), suggesting that all the stages have probably similar ambulatory dispersal ability along the trunk.

Do weed management strategies affect the densities of Phytoseiidae in citrus trees and weeds?

No effect of the modalities wild cover, mown weeds and ploughed ground was observed on the Phytoseiidae densities on citrus trees. On the opposite, the densities were much lower when weeds were treated with glyphosate. These results match with those obtained by Pereira *et al.* (2006) who demonstrated that the densities of phytoseiid mites on lemon trees were lower when herbicide was applied in inter-rows than when the vegetation was not destroyed (resident vegetation and ground cover sown with selected plant species). However, a study on citrus orchards in Spain (Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011) showed no significant effect of herbicide application on the phytoseiid densities on trees. These different effects of herbicide could depend on the application period and the densities of Phytoseiidae present on weeds and trees before the herbicide application. The low densities of Phytoseiidae mites after herbicide treatment in the weeds coupled with the low dispersal moving up observed could explain the low densities of Phytoseiidae on these trees.

Unexpectedly, weed management modalities herein considered did not significantly affect the Phytoseiidae densities on weeds. However, the lowest densities of Phytoseiidae were found on weeds in the modalities where they have been destroyed (herbicide, ploughed ground). After herbicide application, phytoseiid mites were much lower (effect of toxicity) than in the other modalities but still present on weeds. This suggests that glyphosate did not kill the totality of Phytoseiidae on weeds. Kreiter and Le Menn (1993) have also showed a survival rate of *N. californicus* treated with glyphosate of about 87 % after 72 hours in laboratory conditions. Also, an indirect effect of herbicide application could be hypothesized. Weeds disappearance after glyphosate treatment could indeed affect the habitat of Phytoseiidae and

thus their presence. However, this disappearance is not immediate and can take out from 7 to 14 days (Gauvrit 1996), delaying thus the disappearance of Phytoseiidae. In the present study, it was impossible to clearly determine the existence of this indirect effect (even if the phytoseiid density was the lowest) since the density of Phytoseiidae decreased four weeks after the treatment in all the modalities, on weeds and also trees, due certainly to the high temperatures.

In the other modality where weeds have been destroyed « ploughed ground », phytoseiid mites have been also observed on weeds (even if in low quantities). Actually, the plough destroyed weeds in the inter-rows but not the ones present on the rows. This occurrence could thus explain why no difference in Phytoseiidae densities on weeds was observed between this modality and the ones where plants were not destroyed.

Do weed management strategies affect the dispersal of Phytoseiidae?

The lowest and the highest quantity of Phytoseiidae moving upward were observed in the modalities “glyphosate” and “ploughed ground”, respectively. Yet, the weeds are assumed to have been destroyed in these two treatments. First, this result could thus be explained by the direct effect (toxicity) of the herbicide on the Phytoseiidae on weeds (decreasing so the number of phytoseiid moving upward). Secondly, in the modality ploughed ground, live specimens present on “disturbed weeds” could have escape and move up on the trunk, explaining both the high quantity of Phytoseiidae trapped and subsequent high quantities found on trees in this modality. Auger *et al.* (1999), studying a specialist species of Phytoseiidae, *N. californicus*, showed that the main factors affecting the ambulatory dispersal was the deprivation of food and high temperatures which result in an increase in the walking speed of mites. In the present experiment, one can assume that the destruction of habitat would have induced mite dispersal.

Do the weed management strategies affect the diversity of Phytoseiidae?

Euseius stipulatus, the most abundant species found in this experiment, was also reported as the most abundant species in citrus orchards in Spain (Ferragut *et al.* 1992; Abad-Moyano *et al.* 2009a; Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011), in Mediterranean countries in general (McMurtry 1977) and especially in Tunisia (Sahraoui *et al.* 2012). Its dominance in citrus orchards seems facilitated by its broad diet range, smooth leaf characteristics and good dispersal ability (Abad-Moyano *et al.* 2010). It is a generalist predator and specialized pollen feeder “Type

IV” (McMurtry and Croft 1997). This species feeds also on pest mites such as *P. citri* (Ferragut *et al.* 1988, 1992), *T. urticae* (Abad-Moyano *et al.* 2009b) and eriophyid mites (Ferragut *et al.* 1987). It was also the main species in the weeds of the inter-rows as emphasized in citrus orchards sampled in Aucejo *et al.* (2003).

In this study, Phytoseiidae diversity was not affected by weed management modalities. However, the diversity in citrus trees and in weeds seems to be correlated since the most abundant species present in weeds and on trees are the same. However, studies carried out in citrus orchards by Aguilar-Fenollosa *et al.* (2011) showed differences in Phytoseiidae diversity of weeds and trees; *E. stipulatus* was dominant on citrus but not on weeds where Phytoseiidae type II and III were especially abundant in the ground cover: *Festuca arundinacea* Schreber. The presence of pollen on citrus trees and the high competitive potential of *E. stipulatus* (Abad-Moyano *et al.* 2010) were the hypotheses developed by these authors to explain such results.

Conclusion

These results provide some information on how weed could be managed to ensure predator occurrence and efficiency. Significant insights have been provided, especially concerning dispersal between weeds and trees. The modality mown weeds seems to be the least disturbing for Phytoseiidae densities both on citrus trees and weeds since there was no significant difference compared to the wild cover; the modality ploughed ground seems to be the most encouraging modality in regards to dispersal and the densities of Phytoseiidae on citrus trees since the number of captured Phytoseiidae in this modality was higher than in the other three ones. Success of management strategies by conservation biological control depends however on a better understanding of the behavior of the phytoseiid species and their interaction with their habitat. Additional studies for longer period, considering more traps and more weed management strategies (especially inter-row dimensions) are thus necessary to understand the direct effect of managing the habitats on biological control.

Acknowledgements

We thank all the Staff of CTA (Centre Technique des Agrumes) in Tunisia and especially Salma Ben Romdhan ‘Principal Engineer’ for her important support during the experiment.

References

- Abad-Moyano RA, Pina T, Dembilio O, Ferragut F, Urbaneja A (2009a) Survey of natural enemies of spider mites (Acari: Tetranychidae) in citrus orchards in eastern Spain. *Exp Appl Acarol* 47: 49-61.
- Abad-Moyano RA, Pina T, Ferragut F, Urbaneja A (2009b) Comparative life-history traits of three phytoseiid mites associated with *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) colonies in Clementine orchards in eastern Spain: implications for biological control. *Exp Appl Acarol* 47: 121-132.
- Abad-Moyano RA, Urbaneja A, Schausberger P (2010) Intraguild interactions between *Euseius stipulatus* and the candidate biocontrol agents of *Tetranychus urticae* in Spanish Clementine orchards: *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*. *Exp Appl Acarol* 50: 23-34.
- Addison JA, Hardmann JM, Walde SJ (2000) Pollen availability for predacious mites on apple: spatial and temporal heterogeneity. *Exp Appl Acarol* 24: 1-18.
- Aguilar-Fenollosa EF, Ibanez GMV, Pascual RS, Hurtado M, Jacas JA (2011) Effect of ground cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in Clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms. *Biol contr* 59: 171-179.
- Aguilar- Fenollosa EF, Pascual RS, Hurtado RM, Jacas JA (2008) The effect of ground cover management on the biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Prostigmata) in Clementine. *Proceedings of the 3rd international symposium on biological control of Arthropods, New Zealand*: 355-365.
- Altieri MA (1995) *Agroecology: The science of Sustainable Agriculture*. Inc., Colorado. pp 283-307.
- Altieri MA, Letrouneau DK (1982) Vegetation management and biological control in agrosystems. *Crop Protection* 1: 405-430.
- Alston DG (1994) Effect of apple orchard floor vegetation on density and dispersal of phytophageous and predatory mites in Utah. *Agr Ecosys Environ* 50: 73-84.
- Aucejo S, Foó M, Gimeno E, Gómez-Cadenas A, Monfort R, Obiol F, Prades E, Ramis, M, Ripollés JL, Tirado V, Zaragoza L, Jacas JA and Martínez-Ferrer MT (2003) Management of *Tetranychus urticae* in citrus in Spain: acarofauna associated to weeds. *OILB/WPRS Bull.* 26: 213-220

- Auger P, Tixier MS, Kreiter S, Fauvel G (1999) Factors affecting ambulatory dispersal in the predaceous mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 23 (3): 235-250.
- Barbar Z, Tixier MS, Cheval B, Kreiter S (2006) Effects of agroforestry on phytoseiid mite communities (Acari: Phytoseiidae) in vineyards in the South of France. *Exp Appl Acarol* 40: 175-188.
- Boller EF (1984) Eine Einfache Ausschwemm-methode zur schnellen Erfassung von Raubmilben, Thrips und anderen Kleinarthropoden im Weinbau. *Zeit. Obst. Weinbau* (120): 249-255.
- Castagnoli M, Simoni S (1990) Biological observations and life table parameters of *Amblyseius cucumeris* (Oud.) (Acarina: Phytoseiidae) reared on different diets. *Redia* 73 (2): 569-583.
- Chant DA, McMurtry JA (2007) Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata). Michigan, Indira Publishing House, pp 220.
- Coli WM, Ciurlino EA, Hosmer T (1994) Effect of understory and border vegetation composition on phytophagous and predatory mites in Massachusetts commercial apple orchards. *Agr Ecosys Environ* 50: 49-60.
- Croft BA, Jung C (2001) Phytoseiid dispersal at plant to regional levels: a review with emphasis management of *Neoseiulus fallacis* in diverse agrosystems. *Exp Appl Acarol* 25(10-11):763-84.
- DeVilliers M de, Pringle KL (2011) The presence of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and its predators on plants in the ground cover in commercially treated vineyards. *Exp Appl Acarol* 53: 121-137.
- Dunley JE, Croft BA (1990) Dispersal between and colonization of apple by *Metaseiulus occidentalis* and *Typhlodromus pyri* (Acarina: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 10: 137-149.
- Escudero LA, Rosello J, Alexandre E, Bramardi S, Ferragut F (1999) Colonization and dispersal of mites in protected horticultural ecosystem: characteristics and controlling factors. *Bol San Veg Plagas* 25 (2): 143-155.
- Ferragut F, Costa CJ, Garcia MF (1988) Population dynamics of the phytoseiid *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot) and its prey *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae), in Spanish citrus. *Bol San Veg Plagas* 4(1): 45-54.

- Ferragut F, Garcia MF, Costa CJ, Laborda R (1987) Influence of food and temperature on development and oviposition of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus*. *Exp Appl Acarol* 3: 317-330.
- Ferragut F, Laborda R, Costa CJ (1992) Feeding behavior of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromus phialatus* on the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Entomophaga* 37(4): 537-543.
- Ferragut F, Moreno IP, Iraola V, Escudero A (2009) Acaros Depredadores de la familia Phytoseiidae en las plantas cultivadas. Ediciones Agrotecnicas S. L. pp202.
- Gauvrit C. (1996) Efficacité et sélectivité des herbicides. Institut national de recherche agronomique. Du laboratoire au terrain, INRA. pp 160.
- Hardman JM, Franklin JL, Bostanian NJ, Thistlewood HMA (2011) Effect of the width of the herbicide strip on mite dynamics in apple orchards. *Exp Appl Acarol* 53: 215–234.
- Hoy MA, Groot JJR, Baan HE (1985) Influence of aerial dispersal on persistence and spread of pesticide-resistant *Metaseiulus occidentalis* in California almond orchards. *Entomol Exp Appl* 37 (1): 17-31.DOI: 10.1007/BF00366804.
- Hislop RG, Prokopy RJ (1981) Integrated management of phytophagous mites in Massachusetts (U.S.A.) apple orchards. Influence of pesticides on the predator *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *Prot Ecol* 3:157-172.
- Johnson DT, Croft BA (1981) Dispersal of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) in Apple ecosystem. *Environ Entomol* (10): 313-319.
- Jung C, Croft BA (2001) Ambulatory and aerial dispersal among specialist and generalist predatory mites (Acari: Phytoseiidae). *Env Entomol* 30 (6): 1112-1118.
- Kawashima M, Amano H (2006) Overwintering phenology of a predacious mite, *Typhlodromus vulgaris* (Acari: Phytoseiidae), on Japanese pear trees observed with Phyto traps. *Exp Appl Acarol* 39:105-114.
- Koike A, Nemoto H (2000) New trap for survey of species structure and seasonal dynamics of phytoseiid mites on Japanese pear trees (Acari: Phytoseiidae). *Japan J Appl Entomol Zool* 44: 35-40.
- Kreiter S, Auger P, Lebdi Grissa K, Tixier M-S, Chermiti B, Dali M (2002) Plant inhabiting mites (Acari : Prostigmata & Mesostigmata) of some Northern Tunisian crops. *Acarologia* 42(4): 389-402.
- Kreiter S, Le Menn V (1993) Interaction entre le désherbage chimique de la vigne et les populations d'acariens phytophages et prédateurs. ANPP- 3^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture- Résultats de laboratoires. Montpellier: 821-830.

- Kreiter S, Sentenac G, Valentin G (1993) Interaction entre le désherbage chimique de la vigne et les populations d'acariens phytophages et prédateurs. ANPP- 3^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture- Résultats de terrain. Montpellier: 821-830.
- Kreiter S, Tixier MS, Bourgeois T (2002) Do generalist phytoseiid mites (Gamasida: Phytoseiidae) have interactions with their host plants? *Insect Sci Appl* 23(1): 35-50.
- Kreiter S, Tixier M-S, Sahraoui H, Lebdi Grissa K, Ben Chaabane S, Chatti A, Chermiti B, Khoualdia O, Ksantini M (2010) Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) from Tunisia: Catalogue, biogeography and key for identification. *Tun J Plant Prot* 5(2): 151-178.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropods pests in agriculture. *Annu Rev Entomol* 45: 175-201.
- Madinelli S, Mori N, Girolami V (2002) The importance of pollen from herbaceous cover for phytoseiid mites. *Informatore Agrario* 58 (15): 125-127.
- Mailloux J, Le Bellec F, Kreiter S, Tixier MS, Dubois P (2010) Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupian citrus orchards. *Exp Appl Acarol* 52:275-290.
- McMurtry JA (1977) Some predacious mites (Phytoseiidae) on citrus in the Mediterranean region. *Entomophaga* 22 (1):19-30.
- McMurtry JA, Croft BA (1997) Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu Rev Entomol* 42: 291-321.
- Nyrop JP, Minns JC, Herring CP (1994) Influence of ground cover on dynamics of *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina; Phytoseiidae) in New York apple orchards. *Agr Ecosys Environ* 50: 61-72.
- Papadoulis G, Emmanouel NG, Kapaxidi EV (2009) Phytoseiidae of Greece and Cyprus. Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, USA. pp 171.
- Pereira N, Ferreira MA, Sousa ME, Franco JC (2006) Mites, Lemon trees and ground cover interactions in Mafra region. *Bulletin OILB/SROP* 29(3): 143-150.
- Rezende JM, Lofego AC (2011) Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) on plants of central region of the Brazilian cerrado. *Acarologia* 51 (4): 449-463.
- Rigamonti IE, Rena S (2003) Survey on aerial dispersal of Phytoseiids (Acarina: Phytoseiidae) in a vineyard in Northern Italy. *Bulletin OILB/SROP* 26(8): 269-272.
- Rock GC, Yeagan DR (1973) Toxicity of apple orchard herbicides and growth regulating chemicals to *Neoseiulus fallacis* and two spotted mite. *J Econ Entomol* 66: 1342-1343.

- Sahraoui H, Lebdi-Grissa K, Kreiter S, Douin M, Tixier M-S (2012) Phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) of Tunisian citrus orchards. *Acarologia*, in press.
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
(<http://www.wku.edu/~smithch/biogeog/SIMP1949.htm>)
- Skirvin D, Fenlon J (2003) Of mites and movement: the effect of plant connectedness and temperature on movement of *Phytoseiulus persimilis*. *Biol Contr* 27: 242:250.
- Stanyard MJ, Foster RE, Gibb TJ (1997) Effects of orchard ground cover and mite management options on the population dynamics of European red mite (Acari: Tetranychidae) and *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in apple. *J Econ Entomol* 90(2): 595-603.
- StatSoft (2010) STATISTICA (logiciel d'analyse des données), version 9.1. www.statsoft.fr.
- Tixier MS, Kreiter S, Auger P (2002) How can molecular data contribute to the analysis of the colonization of vineyards by *Kampimodromus aberrans* (Acari: Phytoseiidae)?. *Acari Phylogeny and Evolution, Adaptation in Mites and Ticks (Proceedings of the IV Symposium of the European Association of Acarologists)*: 331-340.
- Tixier MS, Kreiter S, Auger P, Strafile D, Weber M (1999) La colonisation des parcelles de vigne par les acariens prédateurs Phytoseiidae. Bilan de trois années d'étude, résultats et perspectives en Languedoc. *Comptes rendus de la 5^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier, Annales ANPP 2*: 397-407.
- Tixier MS, Kreiter S, Barbar Z, Cheval B (2006b) Abundance and diversity of phytoseiid mite communities in two arboreta in the south of France. *Acarologia* (3-4): 169-179.
- Tixier MS, Kreiter S, Cheval B, Guichou S, Auger P, Bonafos R (2006a) Immigration of phytoseiid mites from surrounding uncultivated areas into a newly planted vineyard. *Exp Appl Acarol* 39: 227-242.
- Toyoshima M, Kadono F, Shiota A, Amano H (2006) Can the population size of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on Japanese pear trees be estimated by Phyto traps attached to the twigs? *Appl Entomol Zool* (41-1): 145-150.
- Tuovinen T (1994) Influence of surrounding trees and bushes on the phytoseiid mite fauna on apple orchard trees in Finland. *Agr Ecosys Environ* 50: 39-47.
- Tuovinen T, Rokx JAH (1991) Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on apple trees and in surrounding vegetation in southern Finland: Densities and species composition. *Exp Appl Acarol* 12: 35-46.

- Van Rijn PCJ, Tanigoshi LK (1999) Pollen as food for the predatory mites *Iphiseius degenerans* and *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae): dietary range and life history. *Exp Appl Acarol* 23: 785-802.
- Vantornhout I, Minnaert H, Tirry L, DeClercq P (2004) Effect of pollen, natural prey and factitious prey on the development of *Iphiseius degenerans*. *BioControl* 49(6): 627-644.
- Vantornhout I, Minnaert HL, Tirry L, DeClercq P (2005) Influence of diet on life table parameters of *Iphiseius degenerans* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 35: 183-195.
- Villanueva RT, Childers CC (2006) Evidence for host plant preference by *Iphiseiodes quadripilis* (Acari: Phytoseiidae) on citrus orchards. *Exp Appl Acarol* 39: 243-256.

2.3 Conclusion

Neuf espèces de Phytoseiidae ont été trouvées durant cet essai, l'espèce dominante étant *E. stipulatus*, aussi bien sur les arbres que sur les adventices. C'était aussi l'espèce majoritaire capturée dans les pièges ambulatoires sur le tronc des arbres. La dispersion ambulatoire a été confirmée par cette expérience, dans les deux directions : des arbres vers les plantes adventices et vice-versa.

Des corrélations positives ont été observées entre les densités des phytoséiides présents sur les adventices, sur les arbres et ceux capturés dans les pièges. La densité des Phytoseiidae collectés était significativement plus élevée dans les blocs labourés, ce qui confirme les résultats obtenus au cours de l'expérience précédente.

Un effet significatif de la modalité « désherbage chimique » a été observé sur la densité des Phytoseiidae qui était plus faible sur citrus, tandis qu'aucune différence n'a été observée entre les trois autres modalités.

La diversité des Phytoseiidae sur les arbres et sur les plantes de couverture n'a pas été affectée par les stratégies de gestion de l'enherbement testées.

Les stratégies de gestion de l'enherbement testées n'ont pas eu d'effet sur la densité des Tetranychidae sur les arbres. De plus, aucun spécimen de cette dernière famille n'a été capturé. La majorité des Phytoseiidae trouvés dans cet essai sont aussi des prédateurs généralistes, ce qui explique pourquoi leurs densités ne sont pas affectées par celles des Tetranychidae.

La diversité des Phytoseiidae était plus élevée sur les plantes adventices que sur les arbres comme dans l'expérience précédente, certainement du fait de la diversité des plantes qui était plus élevée dans la couverture herbacée du sol. De plus, certaines espèces des herbacées dans les inter-lignes ont été trouvées favorables pour certaines espèces de Phytoseiidae (*A. retroflexus* pour *E. stipulatus*; *C. dactylon* pour *N. californicus*). Une telle observation pourrait en outre être utile pour une gestion de l'enherbement.

DISCUSSION GENERALE, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1- RAPPEL DES OBJECTIFS ET DES RESULTATS OBTENUS

- **Objectif 1.** Déterminer la composition spécifique des acariens phytoséiides, tant sur les arbres que sur les plantes adventices et sur la végétation environnant les vergers d'agrumes tunisiens.

Cette étude réalisée dans quarante-six vergers a permis d'identifier vingt-six espèces appartenant à dix genres. Parmi ces espèces, onze sont nouvelles pour la faune tunisienne et six ont été trouvées sur les arbres. *Euseius stipulatus* était l'espèce la plus abondante sur les arbres suivie par *P. persimilis*, *N. californicus*, *T. (A.) rhenanoides* et *T. (T.) phialatus*. Ces espèces ont également été les espèces les plus abondantes collectées sur les adventices, ce qui laissait penser que des échanges de Phytoseiidae existaient entre ces plantes qui couvrent le sol et les arbres. Cette étude n'a cependant pas permis de conclure sur ces échanges. D'autres travaux ont donc été conduits pour tester l'hypothèse de dispersions entre la végétation du sol et les arbres et pour déterminer les facteurs affectant la diversité et l'abondance des Phytoseiidae dans ces vergers.

- **Objectif 2.** Déterminer l'effet de certaines pratiques agricoles sur la densité et la diversité des Phytoseiidae sur les arbres et la couverture naturelle du sol dans les vergers de citrus en Tunisie.

Pour mener à bien cet objectif, deux travaux de recherche ont été conduits :

- Dans un premier temps, des enquêtes chez les agrumiculteurs et des échantillonnages de Phytoseiidae et Tetranychidae ont été réalisés dans quarante et un vergers d'agrumes situés dans les plus importantes régions agrumicoles de la Tunisie. Des données sur les pratiques agricoles ont été collectées auprès des producteurs (traitements phytopharmaceutiques appliqués, gestion de l'enherbement, âge des arbres, espèces cultivées, système d'irrigation et existence de cultures intercalaires). Les résultats obtenus suggèrent que deux facteurs

influencent la densité et la diversité des Phytoseiidae: la technique de gestion de la végétation du sol et l'utilisation des pesticides. Les densités et diversités les plus basses de Phytoseiidae ont été observées dans les vergers dont les plantes adventices étaient traitées avec un herbicide. De même, la densité des Tetranychidae sur les arbres était plus basse lorsque le glyphosate était utilisé. Une corrélation négative a été trouvée entre la densité des Phytoseiidae et le nombre de pesticide appliqué.

- Dans un deuxième temps, l'effet de trois conduites culturales contrastées a été étudié dans trois vergers: le premier verger était conduit en agriculture biologique; le deuxième en agriculture raisonnée et le troisième en agriculture conventionnelle avec une utilisation intensive de pesticides.

La diversité et la densité les plus importantes sur les arbres ont été observées dans la parcelle biologique. De même, une diversité plus importante sur les végétations dans le sol a été observée dans cette dernière parcelle. Cette observation est en accord avec l'idée générale que la biodiversité est plus forte dans des systèmes conduits en agriculture biologique.

Les différences observées dans la diversité et la densité des Phytoseiidae dans les trois vergers étudiés semblent être liées aux pratiques culturales et particulièrement aux traitements agropharmaceutiques. Cependant, aucune différence substantielle n'a été trouvée dans la composition spécifique des Phytoseiidae dans des arbres d'agrumes puisque l'espèce de phytoséiide dominante sur citrus était *E. stipulatus* dans les trois vergers.

Euseius stipulatus était présent dans les trois vergers pendant toute l'année sauf en été (juillet et août) où la température variait entre 30 et 38 ° C. De plus, cette espèce était présente sur des arbres d'agrumes en présence ou en absence de Tetranychidae. La présence du pollen a probablement joué un grand rôle dans le maintien de cette espèce étant donné que les pics de densités de cette espèce ont été observés entre avril et mai, période qui correspond à la floraison des arbres. De plus, *E. stipulatus* est signalé comme un prédateur généraliste préférant le pollen (Croft & McMurtry 1997). Enfin, la majorité des espèces collectées dans les trois vergers sont des prédateurs généralistes, ce qui expliquerait leur abondance en absence des acariens tétranyques.

Bien que les densités de Phytoseiidae aient été plus élevées dans le verger biologique, ce verger est le seul qui ait présenté des dégâts causés par les Tetranychidae sur les agrumes. Deux hypothèses explicatives peuvent être avancées : (i) les traitements agropharmaceutiques

appliqués ont limité les tétranyques dans les parcelles en agriculture raisonnée et conventionnelle, (ii) la sensibilité variétale pourrait avoir affecté les densités de Tetranychidae étant donné que la variété de clémentine « Nour » plantée dans le verger biologique est particulièrement sensible aux acariens phytophages. Enfin, dans le verger biologique, les Tetranychidae était moins abondants sur les plantes adventices que dans les deux autres vergers. Le fait que les plantes de couverture présentes dans ce verger (famille des Poaceae) fussent peu favorables aux Tetranychidae pourrait expliquer une telle observation.

Ces premiers résultats ont permis de déterminer les espèces de Phytoseiidae dans les vergers d'agrumes tunisiens et certains facteurs affectant leur présence et abondance. Cependant, des études plus approfondies devaient être conduites afin de mieux caractériser ces facteurs et notamment l'impact des modalités d'enherbement dans un même contexte cultural, afin de ne tester que l'effet isolé d'un seul facteur : le système d'enherbement des vergers. De plus, il est apparu également important de caractériser les échanges de Phytoseiidae entre les arbres et les plantes du sol. Des essais expérimentaux, comprenant des modalités bien précises et suivant un dispositif permettant des traitements statistiques pour caractériser l'effet de différentes modalités d'enherbement, ont été donc réalisés.

- **Objectif 3.** Etudier l'effet de la gestion de l'enherbement sur les acariens Phytoseiidae.

Pour mener à bien cet objectif, deux expérimentations différentes ont été réalisées sur le terrain :

La première expérimentation a consisté à examiner la diversité et la démographie des acariens Phytoseiidae dans trois vergers plantés avec trois espèces d'agrumes (*Citrus sinensis* cv. maltaise, *Citrus clementina* et *Citrus limetta*) avec et sans désherbage (labour). La dispersion ambulatoire des phytoséiides entre la strate herbacée et les arbres a été examinée en utilisant des pièges placés autour des troncs des arbres et des pièges aériens.

La deuxième expérimentation a consisté à examiner la densité et la diversité des Phytoseiidae sur les arbres et les plantes du sol dans un verger d'agrumes présentant quatre stratégies de gestion de l'enherbement : végétation naturelle spontanée non détruite, désherbage chimique avec l'herbicide glyphosate, fauchage des herbes du sol et désherbage par labour. La dispersion ambulatoire entre les arbres et les adventices a été aussi évaluée en utilisant les mêmes pièges que dans l'essai précédent. Les résultats obtenus ont permis de répondre aux questions suivantes :

Existe-t-il une dispersion des Phytoseiidae entre les arbres et les inter-rangs ?

Dans le premier essai, trois espèces étaient particulièrement abondantes sur les arbres: *E. stipulatus*, *I. degenerans* et *T. (T.) exhilaratus*, alors que l'espèce prédominante sur les adventices et dans les pièges était *T. (T.) exhilaratus*. Dans le second essai, une espèce était dominante, *E. stipulatus*, aussi bien sur les arbres que sur les plantes adventices et dans les pièges. De plus, des corrélations positives entre la densité des phytoséiides dans la strate herbacée et sur les arbres ont été aussi observées, suggérant ainsi un lien entre les Phytoseiidae dans les adventices et ceux se dispersant le long des arbres.

Les pièges ont confirmé l'existence d'une dispersion des Phytoseiidae entre les arbres et les plantes dans le sol. Cette dispersion semble s'effectuer essentiellement d'une façon ambulatoire, ce qui a confirmé les résultats d'expériences effectuées dans des vergers de pommier (Johnson et Croft 1981, Alston 1994). De plus, les Phytoseiidae se déplaçaient dans les deux directions. Cependant, le nombre de Phytoseiidae se dispersant des plantes adventices vers les arbres était plus élevé que celui de ceux qui se dispersaient dans le sens opposé. La sex ratio des acariens capturés reflétait celui du Phytoseiidae dans les agro-systèmes, suggérant que tous les stades ont la même capacité de dispersion ambulatoire.

Les stratégies de gestion de l'enherbement affectent-elles la densité des Phytoseiidae sur les arbres et les plantes adventices ?

Des corrélations positives ont été observées entre les densités de phytoséiides sur plantes herbacées des inter-rangs, sur arbres d'agrumes et ceux capturés dans les pièges. Dans le deuxième essai, un effet significatif de la modalité « désherbage chimique » a été observé sur la densité des Phytoseiidae sur citrus, tandis qu'aucune différence n'a été observée entre les trois autres modalités. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Pereira *et al.* (2006) qui ont démontré que la densité des phytoséiides sur des citronniers était inférieure quand un herbicide était appliqué dans les inter-rangs en comparaison à une situation sans destruction de végétation. Cependant, une étude sur vergers d'agrumes en Espagne (Aguilar-Fenollosa *et al.* 2011) n'a montré aucun effet significatif de l'application d'herbicide sur la densité des phytoséiides sur les arbres. Ces effets différents de l'herbicide pourraient dépendre de la période d'application et de la densité de Phytoseiidae présents dans les herbes du sol et les arbres avant l'application de l'herbicide.

De plus, nous avons montré que le labour semble favoriser la dispersion des Phytoseiidae des plantes adventices vers les arbres. La méthode de désherbage testée dans les deux essais, qui consiste à labourer entre les lignes ou laisser les adventices sur la ligne, semble ainsi conserver les avantages de la couverture du sol comme réservoirs d'acariens prédateurs.

Les stratégies de gestion de l'enherbement testées n'ont pas eu d'effet sur la densité des Tetranychidae sur les arbres, En outre, aucun spécimen de cette dernière famille n'a été capturé. Néanmoins, plusieurs auteurs, ont montré que *T. urticae* peut migrer vers les arbres (ou la vigne) après l'utilisation d'herbicides (Meagher et Meyer 1990, Flexner *et al.* 1991, Kreiter *et al.* 1991, Alston 1994, Hardman *et al.* 2005, 2011). De plus, la majorité des espèces de Phytoseiidae collectées dans les deux essais appartiennent au groupe des prédateurs généralistes, ce qui explique pourquoi leurs densités ne sont pas affectées par celles des Tetranychidae ce qui est en accord avec les travaux d'Aucejo *et al.* (2003) qui n'ont trouvé aucune corrélation entre les populations de *T. urticae* et d'*E. stipulatus* dans les vergers d'agrumes en Espagne.

Les stratégies de gestion des adventices affectent-elles la dispersion des Phytoseiidae ?

Un nombre plus élevé de Phytoseiidae se déplaçant vers les arbres a été observé après le labour dans les deux expérimentations et ceci durant les deux ou trois semaines après cette pratique. Dans cette modalité, la perturbation des habitats semble avoir causé une fuite des Phytoseiidae, expliquant aussi bien la quantité de Phytoseiidae capturés dans les pièges que ceux trouvés sur les arbres. Dans les deux expérimentations réalisées, on peut supposer que la destruction des habitats aurait suscité la dispersion des Phytoseiidae (Auger *et al.* 1999).

Dans le deuxième essai, les densités faibles de Phytoseiidae après le traitement herbicide sur les herbes du sol ont été associées avec une faible dispersion et de faibles densités de Phytoseiidae sur les arbres. La dispersion après l'application d'herbicide est inférieure à celle observée dans les autres modalités probablement à cause d'un effet toxique du désherbant sur les Phytoseiidae.

La modalité « fauchage » semble être la moins perturbante pour les populations des Phytoseiidae tant sur des arbres d'agrumes que des adventices, étant donné qu'aucune différence significative n'a été observée comparée à la modalité « sans désherbage ».

Les stratégies de gestion des plantes du couvre sol affectent-elles la diversité des Phytoseiidae ?

L'effet du labour sur la diversité des Phytoseiidae a été observé seulement sur une seule espèce d'agrumes « *Citrus limetta* » dans la première expérimentation dans laquelle la densité d'*E. stipulatus* a significativement augmenté après le désherbage. .

En revanche, au niveaux de la deuxième expérimentation, la diversité des Phytoseiidae sur les arbres et les plantes adventices n'a pas été affectée par les stratégies de gestion de l'enherbement testées. *Euseius stipulatus*, l'espèce la plus abondante trouvée dans les deux expérimentations, a été aussi signalée comme l'espèce la plus abondante dans des vergers d'agrumes des pays méditerranéens (McMurtry 1977). Sa dominance dans les vergers d'agrumes semble être facilitée par son régime alimentaire très diversifié, son haut potentiel compétitif et sa bonne capacité de dispersion (Abad-Moyano *et al.* 2010). C'est un prédateur généraliste polliniphage de "Type IV" (McMurtry et Croft 1997) mais qui s'alimente aussi sur des acariens ravageurs comme *P. citri*, *T. urticae* et des Eriophyidae.

Dans le premier essai, l'espèce dominante sur les adventices, et dans les pièges, *T. (T.) exhilaratus*, semble ne pas pouvoir bien s'installer sur les arbres en présence de l'espèce dominante *E. stipulatus* ce qui laisse penser à une compétition entre ces espèces. Les études effectuées en vergers d'agrumes par Aguilar-Fenollosa *et al.* (2011) ont également montré la présence d'espèces de Phytoseiidae différentes dans les herbes et sur les arbres; *E. stipulatus* était aussi dominant sur les arbres, mais pas sur les plantes adventices.

Pour les deux essais, la diversité des Phytoseiidae était plus élevée sur les herbes que sur les arbres, certainement à cause de la diversité végétale plus élevée dans les inter-rangs. De plus, certaines espèces adventices ont été trouvées comme favorables à certaines espèces de Phytoseiidae. De même, une préférence a été observée chez *I. degenerans* pour *C. limetta*.

2- CONCLUSION GENERALE

Parmi les modalités de gestion de l'enherbement testées, l'utilisation de l'herbicide semble défavoriser la biodiversité des Phytoseiidae d'où la nécessité d'opter pour d'autres techniques plus favorables à ces espèces.

D'après les résultats obtenus, il semblerait que le désherbage par « fauchage » soit le moins perturbant pour les populations des Phytoseiidae tant sur les arbres que sur les adventices, cette technique permet de diminuer la quantité des herbes dans les vergers tout en conservant les habitats et donc préserver les bienfaits des plantes du sol comme réservoirs d'arthropodes auxiliaires. Plusieurs travaux ont démontré les bienfaits du fauchage sur la biodiversité (Landis *et al.* 2000, Cizek *et al.* 2012)

En deuxième lieu, le travail du sol, qui permet d'éliminer les plantes adventices, ne semble pas pour autant trop affecter les densités de Phytoseiidae qui sont capables de fuir, durant les deux ou trois semaines qui suivent le labour, de la couverture herbacée vers les arbres qui leur serviront de refuge. Plusieurs études ont été effectuées afin d'étudier l'effet du travail du sol de type 'labour' sur la biodiversité dans les agrosystèmes. Les résultats sont variés et parfois contradictoires et les effets de cette pratique semblent être liés aux caractéristiques propres de chaque espèce considérée. Le travail du sol semble avoir un effet direct de mortalité sur les organismes du fait du passage de l'engin et indirecte du fait d'une modification ou suppression des habitats (Thorbek et Bilde 2004). De ce fait, cet effet peut varier selon la distribution des prédateurs, leur sensibilité à la compaction et leur capacité de dispersion (Baguette et Hance 1997, Thorbek et Bilde 2004). Ainsi, contrairement à ce qui a été observé ici, cette technique a été signalée comme ayant un effet négatif sur la diversité de certains groupes d'arthropodes (Stinner et House 1990, Baguette et Hance 1997, Krooss et Schaefer 1998, Shuster et Edwards 2003, Krogh 2007). Thorbek et Bilde (2004) ont par exemple démontré que le labour et le fauchage causaient des mortalités et des migrations des arthropodes généralistes et particulièrement les araignées, avec des effets variables selon les espèces et la date d'application.

Le recours à d'autres méthodes plus simples et qui permettent la diversification des plantes et la protection du sol est aussi proposé par plusieurs travaux. Il s'agit de l'utilisation des plantes de couvertures, de la plantation de haies ou de bandes fleuries, favorables à la richesse et abondance des arthropodes auxiliaires. Cependant, dans le cas des Phytoseiidae dans les agrosystèmes agrumicoles, des études complémentaires doivent être développées afin de

pouvoir proposer à terme des méthodes alternatives qui permettent une gestion intégrée des agrosystèmes.

Les espèces les plus abondantes dans la couverture naturelle du sol étaient aussi présentes dans les arbres. Avec la confirmation des échanges entre les deux compartiments : arbres et plantes des inter-rangs, et vu que ces échanges peuvent être influencés par le mode de gestion de l'enherbement et aussi par la diversité des espèces de plantes présentes sous les arbres, il s'avère nécessaire d'opter pour une stratégie de gestion qui favorise les populations de Phytoseiidae.

Les résultats obtenus ont permis de mieux comprendre les interactions entre les Phytoseiidae et leurs habitats et leur comportement en fonction de quelques pratiques de gestion de l'enherbement. L'ensemble de ces informations peuvent servir de base pour orienter les pratiques permettant un meilleur contrôle biologique des acariens ravageurs. De même, l'ensemble des résultats obtenus pourront servir de base pour le développement de telles études dans d'autres agrosystèmes pérenns

3- IMPLICATIONS AGRONOMIQUES ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES

Plusieurs espèces de Phytoseiidae collectées au cours de ce travail dans les vergers d'agrumes peuvent être considérées comme des candidats pour la lutte biologique contre les ravageurs des agrumes en Tunisie. Dans cette perspective, il est nécessaire de conserver et promouvoir ces prédateurs, moyennant des techniques culturales intégrées avec des utilisations raisonnées de pesticides et la substitution du désherbage chimique par d'autres moyens ayant moins d'impact négatifs sur ces communautés, comme le fauchage et le labour. Ceci constitue un défi important pour l'agrumiculture tunisienne, puisque parmi les 46 parcelles étudiées, environ 70 % étaient désherbées chimiquement, 25 % par le travail du sol, 5 % sans désherbage et seulement un seul agriculteur utilisait le fauchage mécanique.

Les Tetranychidae n'ont pas été trouvés sur les arbres durant les essais mais trouvés en densités importantes dans quelques espèces de plantes adventices sous les arbres, particulièrement *Malva* sp., *S. nigrum*, *M. annua* et *C. arvensis*. Comme déjà noté par quelques auteurs (Aucejo *et al.* 2003), ces plantes sont connues pour être favorables aux

acariens phytophages et devraient donc être éliminées des vergers pour éviter la présence de ces nuisibles.

Bien que les Phytoseiidae soient des prédateurs, ils sont fortement liés à leur plante support. Or, durant tous les suivis réalisés lors de cette thèse, on a pu remarquer que quelques espèces de plantes de la couverture naturelle du sol semblaient être favorables aux Phytoseiidae. Cette observation peut être considérée comme importante pour proposer un programme de lutte intégrée, et dans le cadre de la lutte par gestion et conservation des habitats. Il est en effet intéressant de savoir quelles plantes favorisent quelles espèces de prédateurs, ceci afin de les conserver et de favoriser leur installation dans le verger. On a remarqué aussi que la diversification de la végétation favorise la diversité et l'abondance des Phytoseiidae comme cela est cité dans la littérature. De ce fait, il semble nécessaire de réaliser des études complémentaires afin de déterminer comment l'introduction de plantes de couverture pourrait permettre le développement de nouvelles stratégies de gestion de l'enherbement.

Le succès des stratégies de gestion par la conservation des habitats dépend également d'une meilleure compréhension du comportement des espèces phytoséiides et de leurs interactions avec leurs habitats. Le système de piègeage utilisé a permis d'avoir des informations importantes sur les échanges entre les deux compartiments arbres et les adventices. Cependant, d'autres expérimentations avec davantage de pièges et testant davantage de stratégies de gestion des inter-rangs sont encore nécessaires afin de mieux comprendre l'effet direct de ces stratégies et leurs implications dans la lutte biologique. Enfin, l'intégration d'autres méthodes comme le marquage moléculaire (génétique des populations) permettrait également de mieux caractériser les échanges des populations des Phytoseiidae entre les différents compartiments de l'agrosystème aux échelles de la parcelle mais aussi des paysages de la micro-région.

REFERENCES

- Abad-Moyano R.A., Urbaneja A., Schausberger P., 2010. Intraguild interactions between *Euseius stipulatus* and the candidate biocontrol agents of *Tetranychus urticae* in Spanish Clementine orchards: *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus*. *Experimental and Applied Acarology*, 50: 23-34.
- Addison J.A., Hardmann J.M., Walde S.J., 2000. Pollen availability for predacious mites on apple: spatial and temporal heterogeneity. *Experimental and Applied Acarology*, 24: 1-18.
- Aguilar-Fenollosa E.F., Ibanez G.M.V., Pascual R.S., Hurtado M., Jacas J.A., 2011. Effect of ground cover management on spider mites and their phytoseiid natural enemies in Clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms. *Biological Control*, 59: 171-179.
- Aguilar- Fenollosa E.F., Pascual R.S., Hurtado R.M., Jacas J.A., 2008. The effect of ground cover management on the biological control of *Tetranychus urticae* (Acari: Prostigmata) in Clementine. *Proceedings of the 3rd international symposium on biological control of Arthropods, New Zealand*: 355-365.
- Altieri M.A., Whitcomb W.H., 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *Horticultural Science*, 14: 12-18.
- Alston D.G., 1994. Effect of apple orchard floor vegetation on density and dispersal of phytophagous and predatory mites in Utah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50: 73-84.
- Amano H., Chant D.A., 1977. Life history and reproduction of two species of predacious mites, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot and *Amblyseius andersoni* (Chant) (Acarina: Phytoseiidae). *Canadian Journal of Zoology*, 55: 1978-1983.
- Athias-Henriot C., 1968. L'appareil d'insémination Laelapoïde (acariens anactinotriches: Laelapoidea). Premières observations, possibilités d'emploi à des fins taxonomiques. *Bulletin scientifique de Bourgogne*, 25: 230-274.
- Athias-Henriot C., 1975. Nouvelles notes sur les Amblyseiini. II. Le relevé organotaxique de la face dorsale adulte Gamasides protoadéniques, Phytoseiidae. *Acarologia*, 17: 20-29.
- Athias-Henriot C., 1977. Nouvelles notes sur les Amblyseiini. III. Sur le genre *Cydnodromus*: Redéfinition, composition (Parasitiformes, Phytoseiidae). *Entomophaga*, 22: 61-73.

- Aucejo S., Foo M., Gimeno E., Gomez-Cadenas A., Monfort R., Obiol F., Prades E., Ramis M., Ripollés J.L., Tirado V., Zaragoza L., Jacas J.A., Martinez-Ferrer M.T., 2003. Management of *Tetranychus urticae* in citrus in Spain: acarofauna associated to weeds. OILB/WPRS Bull. 26: 213-220
- Auger P., Tixier M.S., Kreiter S., Fauvel G., 1999. Factors affecting ambulatory dispersal in the predaceous mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). Experimental and Applied Acarology, 23 (3): 235-250.
- Badii M.H., McMurtry J.A., Flores A.E., 1999. Rates of development, survival and predation of imature stages of *Phytoseiulus longipes* (Acari: Mesostigmata: Phytoseiidae). Experimental and Applied Acarology, 23: 611-621.
- Baguette M., Hance T., 1997. Carabid beetles and agricultural practices: Influence of soil ploughing. Biological Agriculture and Horticulture, 15(1-4): 185-190.
- Barbar Z., Tixier M.-S., Kreiter S., Cheval B., 2005. Diversity of phytoseiid mites in uncultivated areas adjacent to vineyards: a case study in the south of France. Acarologia, 43(2-3): 145-154
- Barret D., Kreiter S., 1992. Rôle des relations morphométriques dans la coopération entre certaines plantes et les acariens prédateurs Phytoseiidae. Bulletin de la Société d'Ecophysiologie 17: 129-143.
- Bermudez P., Vargas R., Cardemil A., Lopez E., 2010. Effect of pollen from different plant species on the development of *Typhlodromus pyri* (Sheuten) (Acari: Phytoseiidae). Chilean journal of agricultural research 70(3): 408-416.
- Bouras S.L., Papadoulis G.Th., 2005. Influence of selected fruit tree pollen on life history of *Euseius stipulatus* (Acari: Phytoseiidae). Experimental and Applied Acarology, 36 (1-2): 1-14.
- Broufas G.D., Koveos D.S., 2000. Effect of Different Pollens on Development, Survivorship and Reproduction of *Euseius finlandicus* (Acari: Phytoseiidae). Environmental Entomology, 29(4): 743-749.
- Bugg R.L., Ellis R.T., 1990. Insects associated with cover crops in Massachusetts. Biological Agriculture and Horticulture, 7: 47-68.
- Bugg, R.L., Ellis R.T., 1989. Ichneumonidae (Hymenoptera) using extrafloral nectar of Faba bean (*Vicia faba* L, Fabaceae) in Massachusetts. Biological Agriculture and Horticulture, 6 (2): 107-114.

- Castagnoli M., Simoni S., 1990. Biological observations and life table parameters of *Amblyseius cucumeris* (Oud.) (Acarina: Phytoseiidae) reared on different diets. *Redia*, 73 (2): 569-583.
- Chant D.A., 1955. Notes on mites of the genus *Typhlodromus* Scheuten, 1857 (Acarina: Laelaptidae), with descriptions of the males of some species and the female of a new species. *The Canadian Entomologist*, 87(11): 496-503.
- Chant D.A., 1959. Observations sur la famille des Phytoseiidae. *Acarologia*, 1(1): 11-23.
- Chant D.A., 1985. External Anatomy. *In* Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control. World Crop Pest. Vol. 1B, Helle W, Sabelis MW eds., Elsevier, 5-9.
- Chant D.A., McMurtry J.A., 1994. A review of the sub-families Phytoseiinae and Typhlodrominae Acari: Phytoseiidae. *International Journal of Acarology*, 204: 223-310.
- Chant D.A., McMurtry J.A., 2003. A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): Part I. Neoseiulini new tribe. *International Journal of Acarology*, 29(1): 3-46.
- Chant D.A., McMurtry J.A., 2007. Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata). Michigan, Indira Publishing House, pp. 220.
- Cizek O., Zamecnik J., Tropek R., Kocarek P., Konvicka M., 2012. Diversification of mowing regime increases arthropods diversity in species-poor cultural hay meadows. *Journal of Insect Conservation*, 16:215-226.
- Coli W.M., Ciurlino E.A., Hosmer T., 1994. Effect of understory and border vegetation composition on phytophagous and predatory mites in Massachusetts commercial apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50: 49-60.
- Conway G.R., Pretty J., 1991. *Unwelcome Harvest: Agriculture and Pollution*. Earthscan, London.
- Croft B.A., Shearer P., Fields G., Riedl H., 1990. Distribution of *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) and *Typhlodromus pyri* Scheuten (Parasitiformes: Phytoseiidae) in apple orchards of the Hood River Valley, Oregon. *Canadian Entomologist*, 122(1-2): 5-14.
- Croft B.A., Zhang Z.Q., 1994. Walking, feeding and intraspecific interaction of larvae of *Metaseiulus occidentalis*, *Typhlodromus pyri*, *Neoseiulus fallacis* and *Amblyseius andersoni* held with and without eggs of *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology* 18 (10): 567-580, DOI: 10.1007/BF00051719

- CTA, Centre Technique des Agrumes, 2012. Tunisie, www.cta.tn/
- Denmark H.A., Welbourn W.C., 2002. Revision of the genera *Amblydromella* Muma and *Anthoseius* De Leon (Acari: Phytoseiidae). *International Journal of Acarology*, 28(4), 291-316.
- Dunley J.E., Croft B.A., 1990. Dispersal between and colonization of apple by *Metaseiulus occidentalis* and *Typhlodromus pyri* (Acarina: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 10: 137-149.
- Duso C., Malagnini V., Paganelli A., 1997. Indagini preliminari sul rapporto tra polline e *Kampimodromus aberrans* (Acari: Phytoseiidae) su *Vitis vinifera* L. *Allionia* 35: 229-239.
- Duso C., Malagnini V., Paganelli A., Aldegheri L., Bottini M., Otto S. 2004. Pollen availability and abundance of predatory phytoseiid mites on natural and secondary hedgerows. *Biocontrol* 49: 397-415.
- Duso C., Pasqualetto C., 1993. Factors affecting the potential of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) as biocontrol agents in North-Italian vineyards. *Experimental and Applied Acarology*, 17(4): 241-258.
- Duso C., Pozzebbon A., Capuzzo C., Bisol P.M., Otto S., 2003. Grape Downy Mildew Spread and Mite Seasonal Abundance in Vineyards: Evidence for the Predatory Mites *Amblyseius andersoni* and *Typhlodromus pyri*. *Biological Control*, 27: 229 - 241.
- Edland T., Evans G.O., 1998. The genus *Typhlodromus* (Acari: Mesostigmata) in Norway. *European Journal of Entomology*, 95: 275-295.
- Escudero L.A., Ferragut F., 2005. Life-history of predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) on four spider mite species as prey, with special reference to *Tetranychus evansi* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 32: 378-384.
- Evans G.O., 1953. On some mites of the genus *Typhlodromus* Scheuten, 1857, from S.E. Asia. *Annual Magazine of Natural History, London*, 6: 449-467.
- Ferragut F., Moreno I.P., Iraola V., Escudero A., 2009. Acaros Depredadores de la familia Phytoseiidae en las plantas cultivadas. Ediciones Agrotecnicas S. L. pp. 202.
- Ferreira J., Eshuis B., Janssen A, 2008. Domatia reduce larval cannibalism in predatory mites. *Ecological Entomology*, 33: 374-379.
- Flaherty D.L., 1969. Ecosystem trophic complexity and densities of Willamette mite, *Eotetranychus willamettei* Ewing (Acarina: Tetranychidae). *Ecology* 50: 911-916.

- Flaherty D.L., Lynn C., Jensen F., Hoy M.A., 1972. Spider mite populations in southern San Joaquin vineyards. *California Agriculture*, 26: 10-12.
- Flexner J.L., Westigard P.H., Gonsalves P., Hilton R., 1991. The effect of ground cover and herbicide treatment on two-spotted spider mite density and dispersal in southern Oregon pear orchards. *Entomologia Experimentalis Applicata* 60: 111-123.
- Gharbi N., 2006. Étude de la bio-écologie de l'acarien phytophage, *Tetranychus urticae* Kock (Prostigmata, Tetranychidae) et de ses prédateurs, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot et *Neoseiulus californicus* (Mc Gregor) (Mesostigmata, Phytoseiidae) et lutte intégrée en vergers d'agrumes. Thèse, Institut national agronomique de Tunisie, pp. 200.
- Grime J.P., 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley and Sons, Chichester, U.K. pp. 222.
- Grissa L.K., 2010. Etude de base sur les cultures d'agrumes et de tomates en Tunisie. FAO: regional Integrated Pest Management Program in the Near East, 13-50.
- Grissa L.K., Khoufi A., 2012. Bio-ecology of phytophagous mites on Citrus. 7th EURAAC Symposium, Vienna, Austria, abstracts, 92.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1). pp. 9 (http://folk.uio.no/o_hammer/past/intro.html).
- Hardman J.M., Franklin J.L., Bostanian N.J., Thistlewood H.M.A., 2011. Effect of the width of the herbicide strip on mite dynamics in apple orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 53: 215-234.
- Hardman J.M., Jensen K., Franklin J., Moreau D., 2005. Effects of dispersal, predators (Acari, Phytoseiidae), weather, and ground cover treatments on populations of *Tetranychus urticae* (Acari, Tetranychidae) in apple orchards. *Journal of Economic Entomology* 98: 862-874.
- Helle W., Pijnacker L.P., 1985. Parthenogenesis, chromosomes and sex. In *Spider mites - Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol 1A. Edité par Helle W. et Sabelis M.W., Elsevier, Amsterdam, Pays Bas: 129-139.
- Helle W., Sabelis M.W., 1985. *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. IB. Elsevier, Amsterdam, pp. 458.

- Hislop R.G., Prokopy R.J. 1981. Integrated management of phytophagous mites in Massachusetts (U.S.A.) apple orchards. Influence of pesticides on the predator *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *Protection Ecology* 3: 157-172.
- Hodek I., Honek A., 1996. *Ecology of Coccinellidae*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands, pp. 464.
- Hoy M.A., Groot J.J.R., Baan H.E., 1985. Influence of aerial dispersal on persistence and spread of pesticide-resistant *Metaseiulus occidentalis* in California almond orchards. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 37 (1): 17-31. DOI: 10.1007/BF00366804.
- Hoy M.A., van de Baan H.E., Groot R.J.J., Field R.P., 1984. Aerial movements of mites in almonds: implications for pest management. *California Agriculture*, 9: 21-24.
- Huffaker C.B., Van de Vrie M., Mcmurtry J.A., 1970. Ecology of Tetranychid mites and their natural enemies: a review. Tetranychid populations and their possible control by predators: an evaluation. *Hilgardia* 40: 391-458.
- Jaccard, P. 1912. The distribution of the ora in the alpine zone. *New Phytol.* 11: 37-50.
- Johnson, D.T., Croft B.A., 1981. Dispersal of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae) in Apple ecosystem. *Environmental Entomology* (10): 313-319.
- Jung C., Croft B.A., 2001. Aerial dispersal of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae): estimating falling speed and dispersal distance of adult females. *Oikos*, 94: 182-190.
- Karban R., English-Loeb G., Walker M.A., Thaler J., 1995. Abundance of phytoseiid mites on *Vitis* species: effects of leaf hairs, domatia, prey abundance and plant phylogeny. *Experimental and Applied Acarology*, 19 (4): 189-197.
- Keddy P.A., 1992 Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 3: 157-164.
- Koike A., Nemoto H., 2000. New trap for survey of species structure and seasonal dynamics of phytoseiid mites on Japanese pear trees (Acari: Phytoseiidae). *Japanese Society of Applied Entomology and Zoology*, 44: 35-40.
- Kong C., FEI H., Xiaohua X., Maoxin Z., Wenju L., 2005. Volatile allelochemicals in the *Ageratum conyzoides* intercropped citrus orchard and their effects on mites *Amblyseius newsami* and *Panonychus citri*. *Journal of Chemical Ecology*, (31): 2193-2203.
- Krantz G.W., 1978. *A manual of Acarology*, second edition. Oregon State University Book Stores, INC. Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 509.

- Kreiter S., 1991. Les caractéristiques biologiques des acariens prédateurs d'acariens et leur utilisation en lutte biologique. Programme Agriculture Viticulture. 108(11): 247-261.
- Kreiter S., 1994. Les caractéristiques biologiques des acariens prédateurs d'acariens et leur utilisation en lutte biologique. 9ème Cours International d'Acarologie, Montpellier, 152-176.
- Kreiter S., Auger P., Lebdi Grissa K., Tixier M.-S., Chermiti B., Dali M, 2002a. Plant inhabiting mites (Acari : Prostigmata & Mesostigmata) of some Northern Tunisian crops. *Acarologia* 42(4): 389-402.
- Kreiter S., Brian F., 1987. Les Phytoseiidae de la vigne en France. Proceedings of International Conference of Pests in Agriculture, 6(3): 241-249.
- Kreiter S., De La Bourdonnaye X., 1993. Les typhlodromes acariens prédateurs : clef simplifiée d'identification des principales espèces des cultures de plein-champs en France. *In* : Comptes rendus du Colloque sur les acariens des cultures. AFPP : 405-410.
- Kreiter S., Sentenac G., Valentin G., 1993. Interaction entre le désherbage chimique de la vigne et les populations d'acariens phytophages et prédateurs. ANPP- 3^{ème} conférence internationale sur les ravageurs en agriculture- Résultats de terrain. Montpellier: 821-830.
- Kreiter S., Tixier-Garcin S., Auger Ph., Bonafos R., Guichou S., Cheval B., 2000. Les acariens ravageurs et auxiliaires des plantes; Rapport de stage- Ecole Nationale supérieure agronomique de Montpellier: 37-43.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Bonafos R., Auger P., Guichou S., Cheval B., Bourgeois T., Laporte M., Caumette S., 2003a. Les acariens ravageurs et auxiliaires des plantes. Formation continue, journée 'Formation-Information', pp. 160.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Bourgeois T., 2003b. Do generalist phytoseiid mites (Gamasida: Phytoseiidae) have interactions with their host plants? *Insect Sciences and Applications*, 23(1): 35-50.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Croft B.A., Auger P., Barret D., 2002b. Plants and leaf characteristics influencing the predaceous mite, *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) in habitats surrounding vineyards (Acari: Phytoseiidae). *Environmental Entomology*, 31: 648-660.
- Kreiter S., Tixier M.-S., Ferragut F., Allam L., Lebdi G.K., 2004. Preliminary observations on the diversity of phytoseiid mites in the Maghreb and comparisons to the fauna of Gran Canaria. *Phytophaga*, XIV: 477-484.

- Krogh P.H., Griffiths B., Demsar D., Bohanec M., Debeljak M., Andersen M.N., Sausse C., Birch A.N.E., Caul S., Holmstrup M., Heckmann L.H., Cortet J., 2007. Responses by earthworms to reduced tillage in herbicide tolerant maize and Bt maize cropping systems. *Pedobiologia*, 51(3): 219-227.
- Krooss S., Schaefer M., 1998. The effect of different farming systems on epigeic arthropods: a five-year study on the rove beetle fauna (Coleoptera: Staphylinidae) of winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69: 121-133.
- Landis D., Wratten S., 2002. Conservation of biological controls. *In*: Pimentel D., (ed.), *Encyclopedia of Pest Management*. Marcel Dekker, New York, USA: 138-140.
- Landis D.A., Wratten S.D., Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175-201.
- Liang W.G., Huang M.D., 1994. Influence of citrus orchard ground cover plants on arthropod communities in China: a review. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 50(1): 29-37.
- Lindquist E.E., Evans G.W., 1965. Taxonomic concepts in the Ascidae, with a modified setal nomenclature for the idiosoma of the Gamasina (Acarina: Mesostigmata). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 47 pp. 64.
- Lindquist E.E., Krantz G.W., Walter D.E., 2009. Classification. *In*: G.W. Krantz and D.E. Walter, Editors, *A Manual of Acarology*, Texas Tech University Press, Lubbock, pp. 97-103.
- Madinelli S., Mori N., Girolami V., 2002. The importance of pollen from herbaceous cover for phytoseiid mites. *Informatore Agrario*, 58 (15): 125-127.
- Mailloux J., Le Bellec F., Kreiter S., Tixier M.S., Dubois P., 2010. Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupian citrus orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 52: 275-290.
- Marshall E.J.P., 2001. Biodiversity, herbicides and non-target plants. *In*: BCPC Conference Weeds 2001, pp. 855-862. BCPC, Farnham, UK.
- McMurtry J.A., 1977. Some predacious mites (Phytoseiidae) on citrus in the Mediterranean region. *Entomophaga*, 22 (1): 19-30.
- McMurtry J.A., 1982. The use of phytoseiids for biological control: progress and future prospects. *In*: Hoy, M.A. (Ed.), *Recent advances in knowledge of the Phytoseiidae*. Division of Agricultural Sciences, University of California, USA, Publ. 3284, pp. 48.

- McMurtry J.A., 1992. Dynamics and potential impact of generalist phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species. *Experimental and Applied Acarology*, 14: 371-382.
- McMurtry J.A., Croft B.A., 1997. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42: 291-321.
- Meagher R.L., Meyer J.R., 1990. Influence of ground cover and herbicide treatments on *Tetranychus urticae* Koch populations. *Experimental and Applied Acarology*, 9: 149-158.
- Monaghan M.T., Balke M., Gregory T.R., Vogler A.P., 2005. DNA-based species delineation in tropical beetles using mitochondrial and nuclear markers. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 360: 1925-1933.
- Moraes G.J. de, McMurtry J.A., Denmark H.A., Campos C.B., 2004. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. *Zootaxa*, pp. 494.
- Muma M.H., 1961. The influence of cover crop cultivation on populations of injurious mites in Florida citrus groves. *Florida Entomology*, 44: 61-68.
- Nihoul Ph., Hance Th., Van Impe G., Lebrun Ph., 1992. Contrôle intégrée des acariens tétranyques en serre. *Revue de l'Agriculteur*, 45: 272-280.
- Nyrop J.P., Minns J.C., Herring C.P., 1994. Influence of ground cover on dynamics of *Amblyseius fallacis* Garman (Acarina; Phytoseiidae) in New York apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50: 61-72.
- Okassa M., 2012. Congruence entre différenciation morphologique et moléculaire (Barcode moléculaire) pour sept espèces de la famille des Phytoseiidae (Acari : Mesostigmata). Thèse, Montpellier Supagro, pp. 295.
- Papadoulis G., Emmanouel N.G., Kapaxidi E.V., 2009. *Phytoseiidae of Greece and Cyprus*. Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, USA, pp. 171.
- Peet R.K., 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 258-307.
- Pereira N., Ferreira M.A., Sousa M.E., Franco J.C., 2006. Mites, Lemon trees and ground cover interactions in Mafra region. *Bulletin OILB/SROP* 29(3): 143-150.
- Pielou, E. C. 1969. *An introduction to Mathematical Ecology* (Witley-Interscience ed.). New York: Witley-Interscience.

- Ragusa S., Athias-Henriot C., 1983. Observations on the genus *Neoseiulus* Hughes (Parasitiformes, Phytoseiidae). Redefinition. Composition. Geography. Description of two new species. *Revue Suisse de Zoologie*, 90(3): 657-678.
- Rock G.C., Yeargan D.R., 1973. Toxicity of apple orchard herbicides and growth regulating chemicals to *Neoseiulus fallaxis* and two spotted mite. *Journal of Economic Entomology*, 66: 1342-1343.
- Rowell H.J., Chant D.A., Hansell R.I.C., 1978. The determination of setal homologies and setal patterns on the dorsal shield in the family Phytoseiidae. *The Canadian Entomologist*, 110: 859-876.
- Risch S.J., Andow D., Altieri M.A., 1983. Agroecosystem Diversity and Pest Control: Data, Tentative Conclusions, and New Research Directions. *Environmental Entomology*, 12 (3): 625-629.
- Sabelis MW, 1985. Development. In: *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control*. World Crop Pest. Vol. 1, Helle BW and Sabelis MW (eds.), Elsevier. Amsterdam, 43-53.
- Sabelis M.W., 1999. Evolution of Plant-Predator Mutualisms. In: *Acarology IX* (Needham, G.R., R. Mitchell, D.J. Horn and W.C. Welbourn, Eds). Volume 2, Symposia. Ohio Biological Survey, Columbus, Ohio, pp. 205-213.
- Sabelis M.W., Bakker F.M. 1992. How predatory mites cope with the web of their tetranychid prey: a functional view on dorsal chaetotaxy in the Phytoseiidae. *Experimental and Applied Acarology*, 16: 203-25.
- Sabelis M.W., Dicke M., 1985. Long range dispersal and searching behaviour. *Spider Mites, Their Biology, Natural Enemies and Control* (eds W., Helle & M. W.Sabelis), pp. 141-160. Elsevier. Amsterdam. IX Symposia Ohio Biological Survey, Ohio, 205-213.
- Schausberger P., 1998. Population growth and persistence when prey is diminishing in single-species and two-species systems of the predatory mites *Euseius finlandicus*, *Typhlodromus pyri* and *Kampimodromus aberrans*. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 88: 275-286.
- Schicha E., 1987. Phytoseiidae of Australia and neighboring areas. Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, USA, pp. 187.
- Schulten G.G.M., 1985. Pseudo-Arrhenotoky. In *Spider mites, Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol 1B. Eds. Helle W. and Sabelis M.W., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: 67-71.

- Shuster W.D., Edwards C.A., 2003. Interactions between tillage and earthworms in Agroecosystems. *In* Soil tillage in Agroecosystems, (El-Titi A., ed.), Press, CRC, London: 229-260.
- Simpson 1949: Measurement of diversity. *Nature*, 163:688.
- Stanyard M.J., Foster R.E., Gibb T.J., 1997. Effects of orchard ground cover and mite management options on the population dynamics of European red mite (Acari: Tetranychidae) and *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in apple. *Journal of Economic Entomology*, 90(2): 595-603.
- Statistiques de l'Office National de l'Agriculture : ONAGRI, (2012). www.onagri.tn
- Stinner B.R., House G.J., 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology*, 35: 299-318.
- Swirski E., Ragusa S., Tsolakis H., 1998. Keys to the phytoseiid mites (Parasitiformes: Phytoseiidae) of Israel. *Phytophaga*, 8: 85-154.
- Takahashi F., Chant D.A., 1992. Adaptive strategies in the genus *Phytoseiulus* Evans (Acari : Phytoseiidae). I. Developmental times. *International Journal of Acarology*, 18, 171-176.
- Tanigoshi L.K., Hoyt S.C., Croft B.A., 1983. Basic biology and management components for mite pests and their natural enemies, pp. 153-202. *In* B.A. Croft and S.C. Hoyt (eds.), *Integrated Management of Insect Pests of Pome and Stone Fruits*. John Wiley and Sons, New York.
- Thorbek P., Bilde T., 2004. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*, 41(3): 526-538.
- Tixier M.S, Guichou S., Kreiter S. 2008. Morphological variation in the biological control agent *Neoseiulus californicus* McGregor Acari: Phytoseiidae: consequences for diagnostic reliability and synonymies. *Invertebrate systematics*, 22: 453-469.
- Tixier M.S., Kreiter S., Auger P., 2000. Colonization of vineyards by phytoseiid mites: their dispersal patterns in the plot and their fate. *Experimental and Applied Acarology*, 24: 191-211.
- Tixier M.S., Kreiter S., Auger P., Weber M., 1998. Colonization of Languedoc vineyards by phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae): influence of wind and crop environment. *Experimental and Applied Acarology*, 22: 523-542.

- Tixier M.S., Kreiter S., Barbar Z., Ragusa S., Cheval B. 2006a. The status of two cryptic species: *Typhlodromus exhilaratus* Ragusa and *Typhlodromus phialatus* Athias-Henriot Acari: Phytoseiidae: consequences for taxonomy. *Zoologica Scripta*, 35: 115-122.
- Tixier M.S., Kreiter S., Cheval B., Auger P., 2003. Morphometric variation between populations of *Kampimodromus aberrans*. Implications for the taxonomy of the genus. *Invertebrate Systematics*, 17: 349-358.
- Tixier M.S., Kreiter S., Cheval B., Guichou S., Auger P., Bonafos R., 2006b. Immigration of phytoseiid mites from surrounding uncultivated areas into a newly planted vineyard. *Experimental and Applied Acarology*, 39: 227-242
- Tixier M.-S., Kreiter S., Douin M., Moraes G.J. de, 2012. Rates of description of Phytoseiidae mite species (Acari: Mesostigmata): space, time and body size variations. *Biodiversity and Conservation*, 21: 993–1013.
- Tixier M.-S., Kreiter S., Thierry B., Brigitte C., 2007. Factors affecting abundance and diversity of phytoseiid mite communities in two arboreta in the South of France. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology* 37 (2): 493-510.
- Tscharntke T., Rand T.A., Bianchi F., 2005. The landscape context of trophic interactions: insect spillover across the crop-non crop interface. *Annales Zoologici Fennici*, 42: 421-432.
- Tuovinen T., 1994. Influence of surrounding trees and bushes on the phytoseiid mite fauna on apple orchard trees in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50: 39-47.
- Tuovinen T., Rokx J.A.H., 1991. Phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on apple trees and in surrounding vegetation in southern Finland: Densities and species composition. *Experimental and Applied Acarology*, 12: 35-46.
- Villanueva R.T., Childers C.C., 2004. Phytoseiidae increase with pollen deposition on citrus leaves. *Florida Entomologist* 87(4): 609-611.
- Villanueva R.T., Childers C.C., 2006. Evidence for host plant preference by *Iphiseiodes quadripilis* (Acari: Phytoseiidae) on citrus orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 39: 243-256.
- Walter D.E., 1992. Leaf surface-structure and the distribution of *Phytoseius* mites (Acarina, Phytoseiidae) in South-Eastern Australian forests. *Australian Journal of Zoology*, 40(6) 593- 603.

- Woodward F.I., Diament, A.D., 1991. Functional approaches to predicting the ecological effects of global change. *Functional Ecology*, 5: 202-212.
- Yaninek J.S., Hanna R., 2003. Cassava green mite in Africa: a unique example of successful classical biological control of a mite pest on a continental scale, pp. 61-291. *In*: Neuenschwander P., Borgemeister C., Langewald L., (eds.), *Biological control in IPM systems in Africa*. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom.
- Yaninek J.S., Moraes G.J., Markham R.H., 1989. Handbook on the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* on Africa: A guide to their biology and procedures for implementing classical biological control. IITA Publication Series, Benin, pp. 140.
- Zhang Z.Q., 2003. Mites of greenhouses. Identification, Biology and Control. CABI, London, pp. 244.
- Zoebelein G., 1988, Long-term field studies about pesticide effects on ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomologia Generalis*, 13(3-4): 175-187.

ANNEXES

1- ANNEXE 1 Résumé de la communication orale présentée au Colloque National des Entomophagistes, May 2012, Montpellier, France.

Diversité des acariens prédateurs Phytoseiidae (Acari : Mesostigmata) dans les vergers d'agrumes tunisiens

Sahraoui Hajer¹, Lebdi Grissa Kaourthar², Kreiter Serge¹, Tixier Marie-Stéphane¹

¹ CBGP, Campus International de Baillarguet, 34988 Montferrier-sur-Lez cedex . France

² Institut National Agronomique de Tunisie, 43, Avenue Charles Nicolle 1082. Tunisie

Cette étude avait pour objectifs la détermination de la biodiversité et de l'abondance des acariens prédateurs Phytoseiidae dans les vergers d'agrumes en Tunisie et l'étude de l'effet de plusieurs pratiques culturales sur la densité et la diversité de ces acariens. A ces fins, (i) des collectes ont été effectuées en 2009-2010 dans des vergers situés dans les régions les plus productrices d'agrumes en Tunisie, et (ii) un suivi a été réalisé durant une année dans 3 parcelles conduites avec des pratiques culturales différentes (une parcelle certifiée biologique et deux parcelles conventionnelles une avec conduite raisonnée et l'autre avec usage intensif des pesticides). Vingt-cinq espèces appartenant à dix genres ont été trouvées, parmi lesquelles onze sont nouvelles pour la faune tunisienne. L'espèce la plus abondante était *Euseius stipulatus* (48%). Cette espèce a été observée dans 70% des parcelles échantillonnées. Cette espèce a en outre été trouvée aussi bien sur les arbres que sur les mauvaises herbes dans les inter-rangs. La deuxième espèce majoritaire était *Phytoseiulus persimilis* (21%), présente dans 29 % des parcelles échantillonnées. Cette espèce était aussi présente sur les arbres et sur les mauvaises herbes dans les inter-rangs. Les plus grandes diversités sur citrus et dans les inter-rangs sont été observées dans la parcelle conduite en agriculture biologique (8 espèces sur citrus et 8 espèces sur mauvaises herbes). En revanche, pour la parcelle conduite avec désherbage chimique et traitements phytosanitaires intensifs, seulement trois et quatre espèces de Phytoseiidae ont été observées respectivement sur les mauvaises herbes et les arbres. Les différences observées en termes de diversité et densité des Phytoseiidae dans les 3 parcelles étudiées soulignent l'importance des pratiques culturales notamment les techniques de gestion de l'enherbement et des traitements phytosanitaires.

Références :

Chant DA, McMurtry JA (2007) Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata). Michigan, Indira Publishing House.

Ferragut F, Moreno IP, Iraola V, Escudero A (2009) Acaros Depredadores de la familia Phytoseiidae en las plantas cultivadas. Ediciones Agrotecnicas S. L. pp202.

Mots-clés : citrus, Phytoseiidae, diversité, gestion de l'enherbement, traitements phytosanitaires

Auteur représentant : Hajer Sahraoui, hajersahraoui@yahoo.fr

2- **ANNEXE 2** Résumé de la communication orale du « 7th Symposium of the European Association of Acarologists, July 2012, Vienne, Autriche ».

Population and Community Ecology

Diversity of phytoseiid mites (Acari: Mesostigmata) in Tunisian citrus orchards: influence of agricultural practices

H. Sahraoui^{1,2}, K. Lebdi Grissa¹, S. Kreiter², M.-S. Tixier²

¹Institut National Agronomique de Tunisie, Laboratoire de protection des plantes: 43, Avenue Charles Nicolle 1082, Tunis Mahrajène, Tunisie; ²Montpellier SupAgro, Unité Mixte de Recherche CBGP (INRA/ IRD/ CIRAD/ SupAgro) Campus International de Baillarguet, CS 30 016, 34988 Montpellier-sur-Lez, France. Email: hajersahraoui@yahoo.fr

This study aims to (i) determine the species composition and relative abundance of phytoseiid mites both on citrus trees and inter-rows grasses, and (ii) to study the effect of some agricultural practices, especially the weeds management, on the density and diversity of phytoseiid mites. Surveys were carried out during one year (September 2009 - August


59

7th EURAAC Symposium, July 9-13 2012, Vienna, Austria: Abstracts


2010) in 46 citrus orchards located in the greatest regions of citrus production in Tunisia. Twenty five species belonging to ten genera were found among which eleven are new for the Tunisian fauna. The most abundant species was *Euseius stipulatus* (Athias-Henriot). This species was reported in 70% of the sampled plots, in which it constituted about 48 % of the diversity. Furthermore, this species was found both on citrus trees and weeds. The second species was *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, present in 29% of the sampled plots representing a mean of 21 % of the species encountered. This species was also present on citrus trees and weeds. The value of the global equitability index is average, equal to 0.5 revealing a diversity which is not so balanced. The Simpson index was equal to 0.7 (close to 1) indicating a low diversity of Phytoseiidae in the Tunisian citrus orchards. The results obtained in this study suggest the importance of the weed management for ensuring diversity of Phytoseiidae. Finally, some weed species seem to be highly favorable host plants for Phytoseiidae.

3- ANNEXE 3 Poster présenté lors de la 9^{ème} Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, octobre 2011, Montpellier, France.

9^{ème} Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture



Influence de la gestion de l'enherbement sur les effectifs d'acariens prédateurs (Acari: Phytoseiidae) dans une parcelle de Citrus en Tunisie.



Sahraoui H.^{1,2}, Tixier M-S², Lebdi-Grissa K.¹, Tersim N.¹ et Serge Kreiter²

1- Institut National Agronomique de Tunisie, Tunisie
2- Montpellier SupAgro, UMR CBGP, Montpellier France

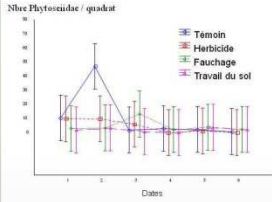
Contexte et objectifs

L'utilisation des acariens prédateurs de la famille des Phytoseiidae est un enjeu fondamental pour réduire l'utilisation des acaricides dans la lutte contre les acariens ravageurs. Ainsi, de nombreuses études s'intéressent à la présence de ces prédateurs dans les agrosystèmes. Certaines études encore peu nombreuses visent à déterminer comment les mauvaises herbes présentes dans les inter-rangs peuvent affecter l'abondance et la diversité des Phytoseiidae dans les cultures (Flemer et al. 1991, Hardman et al. 2000, Aguilu et al. 2008 et 2011). Dans ce contexte, ce travail s'intéresse à la caractérisation des échanges de Phytoseiidae entre les arbres et le couvert végétal dans des vergers de Citrus conduits selon 4 modes de gestion de l'enherbement. Ce travail a pour objectifs de répondre aux questions suivantes:

- Existe-t-il un échange de Phytoseiidae entre les arbres et la couverture du sol ?
- Si il existe, quel est son ampleur et est-il influencé par les pratiques de gestion des inter-rangs ?

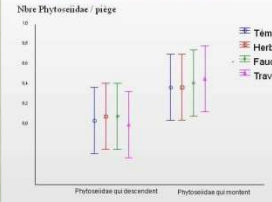
Résultats

• **Les Phytoseiidae dans les inter-rangs**



Bien que le nombre de Phytoseiidae soit plus important dans la modalité témoin, il n'y a pas eu de différentiel significatif de la modalité sur le nombre de Phytoseiidae dans les mauvaises herbes quelle que soit la date. $H(3,36)=1.73$ $P=0.83$.

• **Les Phytoseiidae capturés**

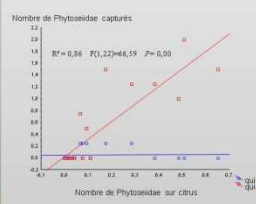


Le déplacement des Phytoseiidae se fait dans les deux sens: du sol vers l'arbre et de l'arbre vers le sol.

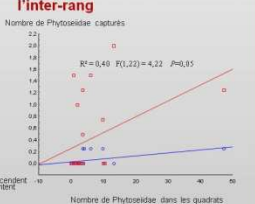
Le nombre d'acariens capturés (qui montent et qui descendent) n'est pas différent selon les modalités quelle que soit la date. $H(3,36)=2.29$ $P=0.51$, $H(3,36)=0.57$ $P=0.97$.

Quelle que soit la modalité le nombre d'acariens qui montent est supérieur au nombre d'acariens qui descendent. $H(1,192)=9.08$ $P=0.013$.

• **Relations entre les effectifs de Phytoseiidae piégés et sur Citrus**



• **Relations entre les effectifs de Phytoseiidae piégés et dans l'inter-rang**



Plus le nombre d'acariens sur Citrus est important, plus le nombre d'acariens qui montent est élevé. $R^2=0.58$ $F(1,22)=6.59$ $P=0.00$.

Plus le nombre d'acariens dans les mauvaises herbes est important, plus le nombre d'acariens qui montent est élevé. $R^2=0.40$ $F(1,22)=4.22$ $P=0.05$.

Matériel et Méthodes

1. **Site d'étude**

La parcelle étudiée (1 ha, variété Clémentine) est située en Tunisie dans la région de Morneg. La couverture végétale variée et homogène est composée essentiellement de plantes annuelles de saison. Cette étude s'est déroulée du 02/06/2011 au 14/08/2011.

2. **Méthodologie**

Les quatre modalités considérées sont les suivantes:

- Modalité 1 : Couverture naturelle spontanée (Témoïn)
- Modalité 2 : Désherbage chimique [1 seul traitement le 02/06/2011]
- Modalité 3 : Fauchage [1 seul fauchage le 02/06/2011]
- Modalité 4 : Désherbage mécanique [1 seul passage le 02/06/2011]


Les échantillonnages:

Pour chaque bloc (10 arbres) toutes les semaines:

- ** 30 feuilles de Citrus ont été collectées.
- ** Des mauvaises herbes ont été prélevées (quadrat de 30 cm x 30 cm jeté au sol au hasard) à raison d'un quadrat par bloc.

16 pièges installés sur les arbres ont été relevés toutes les semaines.

- > La bande de velcro en haut: capture des Phytoseiidae descendant des arbres.
- > La bande de velcro en bas: capture des Phytoseiidae montant dans les arbres.



Résultats

• **Les Phytoseiidae sur Citrus**

Le nombre de Phytoseiidae sur Citrus a été significativement plus faible dans la modalité où un désherbage chimique a été appliqué, quelle que soit la date. $H(3,2880)=14.19$ $P=0.002$.

Densités moyennes de Phytoseiidae sur Citrus	Modalité de désherbage
0,06 b	Herbicide
0,13 a	Fauchage
0,13 a	Témoïn
0,18 a	Travail du sol



La date 1 correspond à la date de désherbage. Dès la date 2, les effectifs dans la modalité désherbée sont plus faibles. A la date 4, plus aucune différence significative n'est observée certainement du fait des températures élevées qui freinent le développement des Phytoseiidae.

Conclusion

1/ Il existe une dispersion des Phytoseiidae le long du tronc des Citrus. Les effectifs capturés sur les troncs ont été plus importants que ceux trouvés dans les pièges aériens, suggérant que la dispersion des Phytoseiidae entre l'arbre et les mauvaises herbes s'opérerait essentiellement de façon ambulatoire par le tronc.

Le déplacement des acariens se fait simultanément dans les deux sens (sol-arbre et arbre-sol, quelle que soit la modalité de désherbage utilisée. Cependant, le nombre d'acariens qui montent est plus important que celui de ceux qui descendent, quelle que soit la modalité de désherbage.

2/ Le nombre de Phytoseiidae qui montent semble être lié à celui présent dans les mauvaises herbes et sur les arbres mais pas à la modalité de désherbage.

3/ L'effectif de Phytoseiidae sur les Citrus est le plus faible dans la modalité « désherbage chimique », bien que le nombre d'acariens capturés qui montent sur les arbres ne soit pas significativement différent de celui des autres modalités.

Références

Alphei P.Z., Peraldo-Rios M., Bernal-Rico, J.A. 2009. The effect of ground cover management on the biological control of *Stenobothrus urticae* (ACARI: Tetranychidae) in Citrus: Persistence of the 2nd international symposium biological control of arthropods, vol 2009, 255-262.

Alphei P.Z., B. Peraldo-Rios, M. Bernal-Rico, J.A. 2011. Effect of ground cover management on spider mite and leaf thrips natural enemies in Citrus: a meta-analysis. *Biological Control* 59: 103-110.

Philon L.L., F. McQuinn, P. Gosselin, S. Bédard 2001. The effect of ground cover and herbicide treatment on spider mite (Acari: Tetranychidae) and Citrus Red Mite (Acari: Tetranychidae) in apple orchards. *Entomologia Experimentalis Applicata* 99: 103-110.

Balthasar 191, L.H. Dixon, J.L. Miles, S. Franklin 2005. Effects of ground cover, Phytoseiidae (Acari: Phytoseiidae), and Citrus on the population of *Stenobothrus urticae* (Acari: Tetranychidae) in apple orchards. *Entomologia Experimentalis Applicata* 99: 103-110.

Carraher 2011, H. 2009. *Chemical ecology of spider mites, Tetranychidae* (Acari: Phytoseiidae) in agroecosystems, vol 104, pp 179-204. *Springer*.

Chapuis, G. 2009. *Biological control of citrus thrips and natural enemies of Phytoseiidae in agroecosystems*. *Springer*.

Flemer, P. 1991. *Biological control of citrus thrips and natural enemies of Phytoseiidae in agroecosystems*. *Springer*.

Hardman, R. 2000. *Can the population size of Phytoseiidae (Acari: Phytoseiidae) in agroecosystems be increased by the use of biological control agents?* *Applied Entomology* 31: 143-150.

Email de l'auteur: sahraoui.h@inat.tn
Tel: 0033(0)430630421

Adresse: CBGP, Campus International de Ballaouet, CS 30016 - 34088 Montpellier-sur-Léz cedex, France