



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ABDELHAMID IBN BADIS

جامعة عبد الحميد بن باديس

DE MOSTAGANEM

مستغانم

Faculté des Sciences exactes et des sciences de la Nature et de la Vie      كلية علوم الحياة الطبيعية و المادة  
Département d'Agronomie      قسم العلوم الزراعية

**THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE  
DOCTEUR EN SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE MOSTAGANEM**

**Discipline : Protection des végétaux**

**Présentée et soutenue publiquement par :  
BOUALEM Malika**

**ETUDE BIOECOLOGIQUE DE *PHYLLOCNISTIS CITRELLA*  
STANTON (LEPIDOPTERA : GRACILLARIIDAE) ET DE SON  
COMPLEXE PARASITAIRE DANS LA REGION DE MOSTAGANEM**

**Membres du Jury**

<b>M. BERKANI Abdallah</b>	<b>Encadreur</b>	Pr. Univ. A. Hamid Ben Badis, Mostaganem
<b>Mme VILLEMANT Claire</b>	<b>Co-Encadreur</b>	M.C. M. N. H. N., Paris
<b>M. ADDOU Ahmed</b>	<b>Président</b>	Pr. Univ. A. Hamid Ben Badis, Mostaganem
<b>Mme DOUMANDJI-MITICHE Bahia</b>	<b>Examinatrice</b>	Pr. I. N. A. El Harrach, Alger
<b>M. BOUHRAOUA Rachid Tarik</b>	<b>Examineur</b>	Pr. Univ. Abou-Bekr Belkaïd, Tlemcen
<b>M. YUCEF BENKADA Mokhtar</b>	<b>Examineur</b>	M.C. Univ. A. Hamid Ben Badis, Mostaganem
<b>M. LOTMANI Brahim</b>	<b>Examineur</b>	M.C. Univ. A. Hamid Ben Badis, Mostaganem

**Année Universitaire : 2008/2009**

## *Remerciements*

Je tiens tout d'abord à remercier mon Directeur de thèse le Professeur Abdallah Berkani pour la confiance qu'il m'a témoigné en acceptant de diriger ce travail, de m'avoir intégré dans son équipe de recherche, et de m'avoir inculqué les connaissances scientifiques indispensable pendant toutes ces années passées au laboratoire de protection des végétaux qu'il dirige.

Mes sincères et vifs remerciements vont également à Madame Claire Villemant Maître de conférences au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, qui m'a accueilli dans son laboratoire, je la remercie pour ses précieux conseils, sa patience, sa disponibilité malgré son emploi du temps très chargé, et surtout pour m'avoir permis de découvrir le monde si passionnant de la systématique des hyménoptères.

Mes remerciements et reconnaissances s'adressent au membre de jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail de thèse :

À, Monsieur Ahmed Addou Professeur au département de chimie de l'université de Mostaganem d'avoir eu l'amabilité d'accepté de présider le jury de soutenance malgré ses nombreuses responsabilités.

À, Mme Bahia Doumandji-Mitiche Professeur à l'INA El Harrach qui me fait l'honneur d'examiner mon travail de thèse malgré ses différents engagements à travers le pays.

À, Monsieur Bouhraoua Rachid Tarik Professeur à l'Université de Tlemcen de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail.

À, Monsieur Lotmani Brahim Maître de conférences à l'Université de Mostaganem d'avoir eu l'amabilité d'accepter de faire parti de mon jury de thèse.

À, Monsieur Youcef Benkada Maître de conférences à l'Université de Mostaganem d'avoir eu l'amabilité d'accepter de juger ce travail.

Ma gratitude et remerciement vont à Monsieur Gérard Délvard spécialiste des chalcidoïdæ au CIRAD de Montpellier pour m'avoir accepté dans son laboratoire, pour son aide si précieuse dans la confirmation des noms des espèces parasitoïdes et pour ses précieux conseils.

À Monsieur Henri-Pierre Aberlunc pour sa gentillesse et surtout pour son aide pour les prises de photos de mes spécimens.

Mes remerciements s'adressent également à l'équipe du laboratoire de Protection des Végétaux, à leur tête Monsieur Mohamed Bouzouina pour son aide précieuse et ses conseils fructueux.

À, Messieurs Larbi Reguieg et El Houcine Reguieg pour leurs soutiens et la confiance qu'ils ont apportés en ma personne.

À, mes étudiants pour leur aide au cours de toutes ces années de labeur, chacun par son nom : Amine Ghelamallah, Bettouati Abdelkader, Zahira Benguella et Lakhdar Berrighi.

À, Messieurs Mohamed Larid, Abbou Mohamed et Mostefa Medjahed pour leur aide au moment de la mise en forme du document.

Bien sur, mes chaleureux remerciements vont à toute ma famille, surtout à ma mère et ma grand-mère.

À, tous mes ami(e)s pour leur soutien moral et encouragements au cours de ses longues années : Farida Saïah, Nawel Kolaj, Ikram Badaoui, Abbassia Mostari, Naïma Hafidi, Nadia Beldjillali et Ikbel Rachedine.

Et enfin, que tous ceux qui de part leur aide, assistance et encouragements ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce modeste travail trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

# *SOMMAIRE*

# Table des matières

Page

Résumé

Remerciement

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale ..... 1

## Chapitre I :

### Généralités sur *Phyllocnistis citrella* Stainton et ses plantes hôtes

1-1- Les agrumes ..... 3

1-1-1- Origine ..... 3

1-1-2- Situation économique des agrumes ..... 3

1-1-2-1- Dans le monde ..... 3

1-1-2-2- Dans le Bassin Méditerranéen ..... 4

1-1-2-3- En Algérie ..... 4

1-1-2-4- A Mostaganem ..... 5

1-2- La mineuse des agrumes ..... 6

1-2-1 – Position systématique ..... 6

1-2-2- Bio-écologie ..... 7

1-2-3- Méthodes de lutte ..... 9

1-2-3-1- Méthodes prophylactiques ..... 9

1-2-3-2- Lutte chimique ..... 9

1-2-3-3- Lutte biologique ..... 11

1-2-3-4- Autres moyens de lutte biologique ..... 12

## Chapitre 2 :

### Le complexe parasitaire de *P. citrella* à travers le monde

<b>2-1-Introduction</b> .....	15
<b>2-1-1 Les auxiliaires introduits</b> .....	21
2-1-1-1 En région méditerranéenne .....	21
2-1-1-2 Dans le monde.....	23
<b>2-1-2 Les parasitoïdes autochtones</b> .....	24
2-1-2-1 En Amérique.....	24
2-1-2-2 Dans le bassin méditerranéen .....	25
<b>2-1-3 Diversité du spectre d'hôtes des parasitoïdes de <i>P. citrella</i></b> .....	27

## Chapitre 3 :

### Dynamique des populations de *P. citrella* entre 2003 et 2006 dans la région de Mostaganem

<b>3-1-Introduction</b> .....	30
<b>3-2-Matériel et méthodes</b> .....	30
<b>3-2-1- Site expérimental</b> .....	30
<b>3-2-2- Matériel biologique et échantillonnage</b> .....	34
3-2-2-1 Matériel végétal .....	34
3-2-2-2 Matériel animal .....	34
<b>3-2-3- Paramètres relevés</b> .....	38
<b>3-2-4- Formules de calculs utilisées</b> .....	42
<b>3-3 Résultats et discussion</b> .....	43
<b>3-3-1 Taux d'infestation</b> .....	43
3-3-1-1- Conditions d'échantillonnage .....	43
3-3-1-2- Résultats .....	44
3-3-1-3- Discussion .....	45
<b>3-3-2 Evolution des effectifs de la mineuse (2003-2006)</b> .....	49
3-3-2-1 Résultats .....	50
En 2003.....	50
En 2004.....	51
En 2005.....	53

En 2006.....	54
3-3-2-2 Discussion .....	58
<b>3-3-3 Impact des facteurs de mortalité sur la mineuse.....</b>	<b>63</b>
3-3-3-1-Introduction .....	63
3-3-3-2 Résultats .....	65
Année 2003.....	65
Année 2004.....	65
Année 2005.....	66
Année 2006.....	66
3-3-3-3 Discussion.....	70
<b>3-3-4 Sensibilité des stades de la mineuse aux facteurs de mortalité.....</b>	<b>73</b>
3-3-4-1 Résultats .....	73
3-3-4-2 Discussion .....	76

## Chapitre 4 :

### Les parasitoïdes de la mineuse des agrumes dans la région de Mostaganem (2003-2006)

<b>4-1 Inventaire du complexe parasitaire de <i>P. citrella</i> (2003-2006).....</b>	<b>77</b>
<b>4-1-1 Matériel et méthodes.....</b>	<b>77</b>
<b>4-1-2 Caractéristiques morphologiques et biologiques des espèces inventoriées.....</b>	<b>78</b>
4-1-2-1 Les Eulophidae .....	78
Genre <i>Cirrospilus</i> Westwood 1832 (Eulophidae : Eulophinae) .....	79
<i>Cirrospilus vittatus</i> Walker 1838.....	79
<i>Cirrospilus pictus</i> Nees 1834.....	80
Genre <i>Pnigalio</i> Schrank 1802 (Eulophidae : Eulophinae).....	82
<i>Pnigalio pectinicornis</i> (Linnaeus 1758).....	83
Genre <i>Semielacher</i> Boucek 1988 (Eulophidae : Eulophinae).....	85
<i>Semielacher petiolatus</i> (Girault 1915).....	85
Genre <i>Citrostichus</i> Boucek 1988 (Eulophidae : Tetrastichinae) .....	86
<i>Citrostichus phyllocnistoides</i> Narayanan 1960.....	87
Genre <i>Closterocerus</i> Westwood 1833 (Eulophidae : Entedoninae) .....	88
<i>Closterocerus formosus</i> Westwood 1833 .....	88
3-2-6-Genre <i>Pediobius</i> Walker 1846 (Eulophidae : Entedoninae).....	89

<b>4-1-2 Abondance relative des parasitoïdes inventoriés entre 2003 et 2006...</b>	<b>92</b>
4-1-2-1 Première année d'étude (2003) .....	92
4-1-2-2 Deuxième année d'étude (2004).....	93
4-1-2-3 Troisième année d'étude (2005).....	93
4-1-2-4 Quatrième année d'étude (2006) .....	93
<b>4-1-3 Évolution de l'abondance relative des espèces entre 2003 et 2006.....</b>	<b>95</b>
<b>4-2 Durée du cycle biologique des parasitoïdes .....</b>	<b>97</b>
<b>4-2-1 Matériel et méthodes .....</b>	<b>97</b>
<b>4-2-2 Résultats et discussion .....</b>	<b>97</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>100</b>
<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>	<b>105</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>107</b>
<b>Annexes</b>	

## Résumé

*Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) a fait l'objet de nombreux travaux de recherches à travers le monde, centrés essentiellement sur la mise au point de méthodes de lutte efficaces et écologiques pour la régulation des populations larvaires, reconnues pour leur vie endophyte et de ce fait rendant difficile la lutte chimique, qui reste la méthode la plus utilisée par les agrumiculteurs.

Les travaux de recherche effectués pendant quatre années consécutives (2003-2006) dans la région de Mostaganem ont concerné le suivi de la dynamique des populations de ce phytophage, l'impact des différents facteurs de régulation biotiques et abiotiques, l'inventaire de ses ennemis naturels et l'étude du cycle biologique de chacune des espèces entomophages identifiées.

Des taux d'infestations assez importants (96 à 99%) ont été relevés essentiellement sur la seconde poussée de sève. Par contre, les taux enregistrés sur la troisième poussée de sève ont été moins élevés, variant de 86 à 90%. L'évolution des abondances relatives des différents stades de développement de *P. citrella* a mis en évidence la faible proportion d'œufs obtenus lors des différents prélèvements (2 à 4% de l'ensemble recensé), alors que les larves représentent 67 à 71% des effectifs échantillonnés durant les trois premières années tandis que les nymphes seulement 26 à 30% ; 56 à 63% des larves n'ont pas atteint le stade nymphal. Par contre, en 2006, les nymphes ne représentent que 7% des individus dénombrés mettant en évidence une mortalité larvaire plus importante que les années précédentes atteignant le taux de 52%.

Quatre générations ont été déterminées : deux sur les pousses d'été et deux autres sur les pousses d'automne.

La sensibilité des différents stades aux facteurs de mortalité a été différente, les premiers et deuxièmes stades larvaires sont sensibles à l'action des facteurs indéterminés, alors que les L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> aux prédateurs et les L<sub>3</sub> et les nymphes aux parasitoïdes.

L'inventaire a révélé la présence constante de cinq espèces de parasitoïdes inféodées à *P. citrella* : *Cirrospilus pictus*, *C. vittatus*, *Citrostichus phyllocnistoides*, *Pnigalio pectinicornis* et *Semielacher petiolatus*. Les espèces *Closterocerus formosus* et *Pediobius* sp. ont été rencontrées pendant les trois premières années seulement. Le cycle biologique des différentes espèces de parasitoïdes suivi sous des conditions de laboratoire a révélé les durées de vie suivantes : *S. petiolatus*  $12,43 \pm 3$  ; *C. pictus*  $14,81 \pm 3,39$  ; *C. phyllocnistoides*  $14,77 \pm 2,52$  ; *P. pectinicornis*  $14,80 \pm 3,07$  ; *C. formosus*  $17 \pm 2,94$  et *Pediobius* sp.  $16,96 \pm 3,34$  jours.

**Mots clés :** *Phyllocnistis citrella*- dynamique des populations- taux d'infestation- facteurs de régulation- parasitoïdes- cycle biologique.

## Abstract

*Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) was the subject of numerous research works across the world, centred essentially on the development of efficient and ecological control methods to larvae populations regulation, recognized for their endophytic life and of this fact making difficult their chemical control, which stay the most method used by citrus farmers.

The research works made during four consecutive years (2003-2006) in Mostaganem concerned the follow-up of population dynamic of this pest, the impact of various biotic and abiotic regulation factors, the inventory of its natural enemies and the study of the biological cycle of each species identified.

Important infestations rates (96 to 99%) were essentially found on the second push of sap. Rates registered on the third push of sap were less raised, varying from 86 to 90%. The evolution of the relative abundance of the various development instars of *P. citrella* put in evidence the small proportion of eggs obtained during the various samplings (2-4% of whole sample), while larvae represent 67 to 71% of sampled populations during the first three years, whereas pupas only 26 to 30%; 56 to 63% of larvae did not reach the pupal instars. On the other hand, in 2006, pupa represents only 7% of the individuals counted bringing to light larvae mortality more important than the previous years reaching the rate of 52%.

Four generations were determined: two on summer shoots and two others on autumn shoots.

The sensibility of the various instars to the mortality factors was different, the first and second larvae instars are sensitive to unidentified origin mortality, while L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> to the predators and L<sub>3</sub> and pupae to parasitoids.

The inventory revealed the constant presence of five parasitoids species pledged to *P. citrella*: *Cirrospilus pictus*, *C. vittatus*, *Citrostichus phyllocnistoides*, *Pnigalio pectinicornis* and *Semielacher petiolatus*. The species *Closterocerus formosus* and *Pediobius* sp. was only met during the first three years.

The biology study of the various inventoried parasitoids species carried out at the laboratory conditions revealed the following life cycles: *S. petiolatus* 12,43 ± 3; *C. pictus* 14,81 ± 3,39; *C. phyllocnistoides* 14,77 ± 2,52; *P. pectinicornis* 14,80 ± 3,07; *C. formosus* 17 ± 2,94 and *Pediobius* sp. 16,96 ± 3,34 days.

**Key words:** *Phyllocnistis citrella*- population dynamic- infestation rate- regulation factors- parasitoids- life cycle.

## ملخص

المستوى العالمي، التي تركزت خاصة حول إيجاد طرق مكافحة ناجعة وبيئية ولتنظيم نسبة اليرقات التي تعرف بحياتها داخل الأنسجة التي تعقد عملية مكافحتها كيميائيا، وهي الطريقة الأكثر استخداما من طرف مزارعي الحمضيات. البحوث المجرات لمدة أربع سنوات متتالية (2003-2006) على مستوى ولاية مستغانم خصت رصد ديناميكية فئات هذه الحشرة المتلفة النباتات، أثر العوامل الطبيعية وغير الطبيعية، إحصاء الأعداء الطبيعية ودراسة الدورة البيولوجية لكل صنف من الطفيليات المحددة.

معدلات إصابة جده عالية (96-99%) لوحظت أثناء الإنبات الثاني، بالمقابل سجلت معدلات أقل على الإنبات الثالث (86-90%). تطور المراحل الحيوية لـ *P. citrella* أظهرت نسبة البيض المنخفضة المحصل عليها على مستوى العينات المدروسة (2-4%). في حين أن اليرقات مثلت نسبة 67 إلى 71% من العينة خلال السنوات الثلاث الأولى بينما الحوريات لم تمثل سوى 7% من العينة الإجمالية، مبينة أهمية الوفيات عند اليرقات بالمقارنة مع السنوات الماضية، مسجلة 52%. تم تحديد أربعة أجيال، اثنين خلال الإنبات الصيفي، واثنين آخرين خلال الإنبات الخريفي.

تأثر المراحل البيولوجية من مختلف العوامل المميتة كان مختلفا، المرحلة الأولى والثانية من حياة اليرقات سجلت تأثرا بعوامل مميتة غير محددة، في حين أن المرحلة الثانية والثالثة تأثرت بالحشرات المفترسة، والمرحلة الثالثة والعذراء تأثرت بالحشرات الطفيلية.

كشفت الإحصاء عن الحضور الدائم لخمسة أصناف من الحشرات الطفيلية الخاصة بـ *P. citrella*:

*Semielacher petiolatus pectiniconis*، *Citrostichus phyllocnistoides*، *C. Vittatus*، *Cirrospilus pictus*، *Pnigalio*. الصنفات *Closterocerus fromosus* و *Pediobius* sp. تواجدت في السنوات الثلاث الأولى فقط.

الدورة الحيوية لمختلف أصناف الحشرات الطفيلية المدروسة مخبريا أظهرت النتائج التالية:

*P. pectinicornis*،  $2,52 \pm 14,77$  *C. phyllocnistoides*،  $3,39 \pm 14,80$  *C. Pictus*،  $3 \pm 12,43$  *S. petiolatus*،  $3,07 \pm 14,80$  *C. Formosus* و  $2,94 \pm 17$  *Pediobius* sp. و  $3,34 \pm 16,96$  يوما.

### الكلمات الرئيسية:

*Phyllocnistis citrella* - ديناميكية الفئات - نسبة الإصابة - عوامل التنظيم - الحشرات الطفيلية - الدورة الحيوية.

## Liste des Tableaux

1. Evolution du potentiel arboricole et viticole (en hectares) dans la wilaya de Mostaganem entre 1999 et 2007 (ANONYME, 2007).....	5
2. Principaux parasitoïdes de <i>P. citrella</i> recensés dans différents pays de la région méditerranéenne (d'après Noyes, 2001 ; Reina & LaSalle, 2004).....	14
3. Les parasitoïdes primaires de <i>P. citrella</i> référencés dans la littérature.....	16
4. principales espèces parasitoïdes introduites en Israël.....	21
5. Association entre les parasitoïdes Eulophides de <i>Phyllocnistis citrella</i> et d'autres insectes phytophages en Italie (d'après Massa <i>et al.</i> , 2001).....	29
6. Date d'apparition des poussées de sève selon les années (2003-2006).....	43
7. Durée (jours) des différents stades de développement de <i>P. citrella</i> selon les conditions d'élevage .....	50
8. Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de <i>P. citrella</i> en 2003.....	55
9. Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de <i>P. citrella</i> en 2004.....	55
10. Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de <i>P. citrella</i> en 2005.....	56
11. Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de <i>P. citrella</i> en 2006.....	56
12. Abondance relative des différents stades de développement de <i>P. citrella</i> .....	58
13. Durée des différents stades de <i>P. citrella</i> à une température moyenne de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ (BERKANI, 1999) .....	59
14. Effectif moyen par feuille des différents stades de <i>P. citrella</i> .....	61
15. Durée du développement postembryonnaire des parasitoïdes de la mineuse.....	97
16. Durée de développement à $29 \pm 1,03^\circ\text{C}$ des différents stades des parasitoïdes de <i>P. citrella</i> .....	97

## Liste des Figures

1. Évolution du potentiel agrumicole de la wilaya de Mostaganem 1999/2007 (ANONYME, 2008) .....	6
2. Carte de situation du site expérimental au 1/25000 (extrait de la carte d'état major de Mostaganem, 1960) .....	32
3. Carte de la wilaya de Mostaganem.....	33
4. Température et humidité relative du site d'étude de 2003 à 2006.....	40
5. Précipitations par décades au cours des quatre années d'étude.....	41
6. Taux d'infestation de <i>P. citrella</i> pour les quatre années d'étude (a, b, c, d).....	46
7. Taux d'infestation (%) pour les années 1998, 1999 et 2000 (BOUALEM, 2002).....	48
8. Abondance relative des œufs+L <sub>1</sub> durant les quatre années d'étude.....	57
9. Evolution des effectifs de <i>P. citrella</i> au cours des quatre années d'étude.....	58
10. Taux de mortalité globale de <i>P. citrella</i> au cours des différentes années d'étude.....	67
11. Evolution des différents taux de mortalité de <i>P. citrella</i> sur les deux poussées de sève de 2003 à 2006.....	68
12. Taux de mortalité par parasitisme, prédation et autres facteurs de 2003 à 2006 dans la région de Mostaganem.....	69
13. Variation du taux de mortalité indéterminée selon les stades de la mineuse (2003 à 2006).....	74
14. Variation du taux de mortalité due à la prédation selon les stades de la mineuse (2003 à 2006).....	74
15. Variation du taux de mortalité due au parasitisme selon les stades de la mineuse (2003 à 2006).....	74
16. <i>Cirrospilus vittatus</i> Walker (d'après ZHU <i>et al.</i> , 2002).....	79
17. <i>Cirrospilus pictus</i> Nees (d'après ZHU <i>et al.</i> , 2002).....	80
18. <i>Pnigalio</i> Schrank (d'après SCHAUFF <i>et al.</i> , 1998).....	81
19. <i>Semielacher petiolatus</i> (d'après SCHAUFF <i>et al.</i> , 1998).....	84
20. <i>Citrostichus phyllocnistoides</i> (d'après BOUCEK, 1988).....	86
21. <i>Closterocerus formosus</i> Westwood (d'après HANSSON, 1990).....	87
22. Abondance relative mensuelle des parasitoïdes collectés durant les quatre années d'étude.....	81
23. Abondance des différentes espèces de parasitoïdes de la mineuse.....	95

*INTRODUCTION*  
*GÉNÉRALE*

## Introduction Générale

La mineuse des feuilles des agrumes "*Phyllocnistis citrella* Stainton" (Lepidoptera : Gracillariidae) est un insecte endophyte décrit pour la première fois sur les *Citrus* en Inde (Calcutta) par Stainton en 1856. Elle a colonisé tous les vergers d'agrumes du monde en un temps très court. Depuis son pays d'origine, l'Asie du Sud-Est, sa distribution a rapidement évolué à partir des années 1990. Cette espèce envahissante, introduite en Australie avant 1940 et observée en Afrique subsaharienne dès 1962, puis signalée simultanément en 1993, dans la région de Malaga en Espagne (GARIJO et GARCIA, 1994) et dans les pépinières agrumicoles du sud de la Floride (HEPPNER, 1993). Elle a été aperçue pour la première fois en Algérie en 1994, probablement, en provenance d'Espagne (BERKANI, 1995). *P. citrella*, considéré comme le principal ravageur des agrumes en Afrique du Nord (CHERMITI *et al.*, 1999 ; SAHARAOU *et al.*, 2001 ; RIZQI *et al.*, 2003), est de nos jours répandue dans la quasi totalité des régions agrumicoles du monde (VERCHER *et al.*, 2005).

Ce phytophage s'attaque aux jeunes feuilles tendres des agrumes. Sa pullulation peut entraîner la défoliation des arbres et l'arrêt du développement des pousses, alors que les fortes attaques peuvent réduire nettement l'activité photosynthétique des feuilles infestées (SCHAFFER *et al.*, 1997). En effet, selon MINGDU et SHUXIN (1989), la photosynthèse est significativement réduite lorsque les infestations atteignent 30%. Les larves se nourrissent des cellules épidermiques et creusent des mines argentées et sinueuses le long des feuilles, ce qui entraîne leur recroquevillement (SMITH et HOY, 1995). Une larve détruit de 1 à 7 cm<sup>2</sup> de surface foliaire (SAHARAOU *et al.*, 2001). À 97,1% d'infestation, la fructification de *Citrus aurantifolia* (Christmann) Swingle peut atteindre 48% (VALAREZO et CANARTE, 1998 *in* BERMUDEZ *et al.*, 2004).

Les importants dégâts provoqués par ce ravageur au cours des dernières décennies ont conduit à la mise au point de nombreuses méthodes de lutte. La lutte biologique reste le moyen le plus apprécié pour la régulation des populations de *P. citrella*. Selon AMALIN *et al.* (2002), la réduction du niveau des infestations des ravageurs par l'utilisation des ennemis naturels est l'objectif de toute lutte biologique. Ce type de lutte a été utilisé dans tous les pays infestés, et basé essentiellement sur la faune parasitoïde introduite et locale du prédateur. C'est ainsi que, l'introduction et l'acclimatation d'espèces entomophages a été adoptée par un bon nombre de pays à travers le monde (ROSSLER *et al.*, 1997 ; LIM *et al.*, 2006).

Le présent travail a consisté à mettre en évidence les paramètres bioécologiques

intervenant dans la régulation des populations de *Phyllocnistis citrella* par l'utilisation de ses ennemis naturels pour préserver l'équilibre des écosystèmes et de ce fait éviter les effets de la pollution dus aux résidus.

Les travaux effectués ont permis le suivi de la dynamique des populations de *P. citrella* pour une période de quatre années (2003-2006), avec un inventaire de ses ennemis naturels et une évaluation de l'impact des différents facteurs de régulation biotiques (parasitoïdes et prédateurs) et abiotiques (climat, mode de conduite, ...etc.).

La perspective principale étant d'acquérir les informations de bases indispensables à l'élaboration de techniques de lutte biologique, faisant intervenir en particulier les ennemis naturels. De ce fait plusieurs aspects de la biologie de *P. citrella* et de ses antagonistes ont été étudiés.

Les deux premiers chapitres du document concernent une synthèse bibliographique sur les connaissances générales du ravageur et la plante hôte (chapitre 1) et sur les entomophages inféodés à la mineuse des agrumes à travers le monde (chapitre 2).

Le chapitre trois traite de la dynamique des populations de *P. citrella* Staiton dans la région de Mostaganem (Algérie) ; dans lequel sont étudiés :

- L'importance des infestations selon les poussées de sève ;
- Le seuil de nuisibilité en fonction de l'effectif moyen de larves par feuille ;
- Le nombre de générations annuelles ;
- L'impact des facteurs de régulation sur les populations.

Le quatrième et dernier chapitre est consacré au complexe parasitaire de *P. citrella*, et comprend :

- L'inventaire des espèces présentes dans la région de Mostaganem ;
- Les critères d'identification des différentes espèces de parasitoïdes ;
- L'étude du cycle de développement des espèces inventoriées.

# Chapitre I

## Généralités sur *Phyllocnistis citrella* Stainton et ses plantes hôtes

Dans ce chapitre, sont rappelées brièvement les données propres à l'insecte et ses plantes hôtes.

### 1-1 Les agrumes

#### 1-1-1 Origine

Les agrumes sont divisés en trois genres botaniques : *Citrus* (citronnier, oranger, pamplemoussier, clémentinier, etc....), *Poncirus* (citronnier épineux) et *Fortunella* (kumquat), ils appartiennent à la famille des Rutaceae, à la sous famille des Aurantioidae, à la tribu des Citrea et à la sous-tribu des Citrinae (REBOUR, 1966 ; PRALORAN, 1971). PRALORAN (1971) situe l'origine des agrumes dans le Sud-Est asiatique à au moins 4000 ans avant Jésus-Christ tandis que TANAKA (1954) signale que leur principale aire d'origine se situerait sous une ligne allant du Nord Est de l'Inde au Nord de la Birmanie et au Sud de l'Ile de Hainan.

L'introduction des agrumes de l'Asie jusqu'à l'Europe s'est faite progressivement. D'abord introduits en Afrique du Nord, ils sont probablement arrivés après la chute de l'empire romain dans le Sud de l'Europe où ils ont prospéré au cours du moyen âge (F.A.O, 2005).

Le genre *Citrus* a fait l'objet de plusieurs révisions taxonomiques par différents chercheurs. TANAKA (1961) a distingué 156 espèces, tandis que SWINGLE (1967) n'en reconnaît que 16.

Au niveau agricole, les oranges constituent la principale production en agrumes dans le monde avec environ 70% des produits agricoles (F.A.O, 2005).

#### 1-1-2 Situation économique des agrumes

##### 1-1-2-1 Dans le monde

Au niveau mondial, les agrumes constituent le groupe le plus important parmi les différentes espèces ligneuses fruitières cultivées. La croissance de la production mondiale des agrumes a été relativement linéaire au cours des dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle (F.A.O, 2005).

La production annuelle totale d'agrumes s'est élevée à plus de 105 millions de tonnes sur la période allant de 2000 à 2004 (CNUCED, 2007).

La culture des agrumes est répandue tout autour du globe. Selon les données statistiques de la FAO (2004), plus de 140 pays produisent des agrumes. La majeure partie, soit environ 70% de la production totale est cultivée dans l'hémisphère Nord. Les principaux pays producteurs d'agrumes sont le Brésil, les pays du Bassin Méditerranéen, la Chine et les Etats-Unis (CNUCED, 2007). En 2001, la production d'oranges était estimée à 64 millions de tonnes métriques (TM) avec 35,7 millions de TM utilisés sous forme fraîche et 28,3 millions de TM en transformé (THOMAS, 2001).

### **1-1-2-2 Dans le Bassin Méditerranéen**

Si les pays Méditerranéens ne contribuent qu'au quart de la production mondiale d'agrumes, ils participent par contre très activement aux échanges internationaux dont ils assurent près des 2/3 (4,5 MT). Les principaux pays concernés sont l'Espagne, le Maroc et Israël qui, à eux trois, représentent 50% de la production méditerranéenne et près des 3/4 des exportations. En effet, l'Espagne assure l'exportation de 54% de sa production, suivi du Maroc et Israël avec des exportations respectives de 45 et 40% (SAUBRY, 1992). La position géographique des pays du Bassin Méditerranéen à proximité du marché européen leur donne, en effet, plus de facilités pour écouler leur production agrumicole (REBOUR, 1966).

### **1-1-2-3 En Algérie**

L'Algérie est l'un des pays producteurs d'agrumes du Bassin Méditerranéen. Sa superficie agrumicole globale atteint 56 640 ha, et est répartie de façon hétérogène sur l'ensemble du pays. La région centre, considérée comme la plus importante, occupe la première place avec une superficie de 19 998 ha, dont 15 387 ha pour Blida et 4 611 ha pour Alger. La région Ouest est représentée par les wilayas suivantes, citées par ordre d'importance : Chlef (5 817 ha), Rélizane (4 537 ha), Mostaganem (4 440 ha), Mascara (4 200 ha), Tlemcen (2 477 ha) et Oran avec 500 ha (ANONYME, 2008).

Les agrumes d'origine algérienne ont été dans le passé, les fruits les plus demandés à l'échelle du bassin méditerranéen. Le vieillissement des vergers, les remontées de sel dans certaines régions et la faible pluviométrie ont été les causes les plus importantes des baisses de rendements. Après une période d'absence sur le marché international, une politique nationale favorisant la mise en valeur du système agricole sous forme du programme national de développement agricole a permis de redonner à cette culture un nouveau souffle par l'augmentation des superficies de plusieurs variétés. Ceci a permis aux agrumiculteurs d'augmenter la production et d'améliorer la qualité des fruits par l'acquisition de nouvelles techniques.

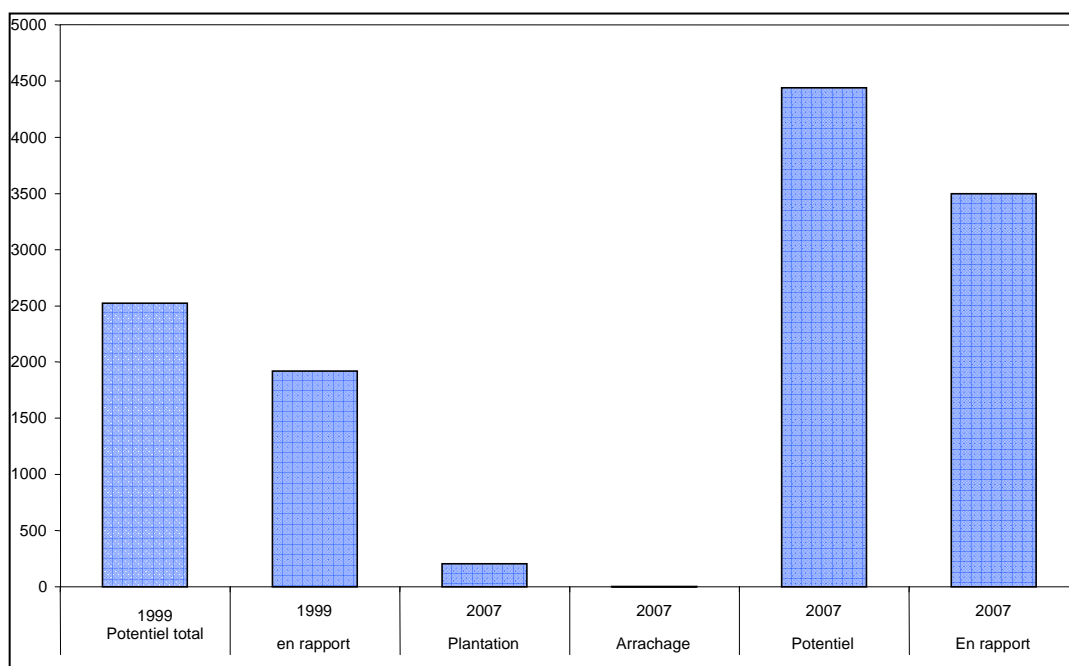
### 1-1-2-4 A Mostaganem

Le tableau 1 résume l'évolution des superficies agricoles pour l'arboriculture et les vignobles sur sept années consécutives dans la wilaya de Mostaganem. Les superficies agrumicoles sont passées de 2 523 ha à 4 440 ha entre 1999 et 2007 (Fig. 1), ce qui correspond à une évolution assez importante de 56,82% et les classe à la troisième position dans la région après la vigne et l'olivier. Cette évolution s'explique par le grand nombre de plantations réalisées au cours des sept dernières années, ce qui est encourageant pour l'agrumiculture dans la wilaya.

**Tableau 1 :** Evolution du potentiel arboricole et viticole (en hectares) dans la wilaya de Mostaganem (ANONYME, 2008)

	Potentiel 1999	Rapport 1999	Plantation 2007	Arrachage 2007	Potentiel 2007	Rapport 2007
<b>Agrumes</b>	<b>2523</b>	<b>1921</b>	<b>207,5</b>	<b>3</b>	<b>4440</b>	<b>3499</b>
Olivier en masse	957,5	735	55,5	8	3207,5	1106,5
Olivier en isolé	1201,5	1089	84	1,5	2354,5	1337
<b>Total olivier</b>	<b>2159</b>	<b>1824</b>	<b>139,5</b>	<b>9,5</b>	<b>5562</b>	<b>2443,5</b>
Pommier	262	212	37,5	19,5	1092	867,5
Poirier	366	230	18	8	1018	816
Néflier	105	77	0	1	130	104
Cognassier	20	17	0,5	1,5	81	65,5
Grenadier	1024	850	11	15	1206	1121
<b>Total pépins</b>	<b>1777</b>	<b>1386</b>	<b>67</b>	<b>45</b>	<b>3527</b>	<b>3004</b>
Abricotier	386	145	51	18	1886	1477
Pêcher	250	231	3	3	806	743
Prunier	218	217	3	13	914	850
<b>Total noyaux</b>	<b>854</b>	<b>593</b>	<b>57</b>	<b>34</b>	<b>3606</b>	<b>3070</b>
Figuier	699	626	18	5	1100	749
Amandier	340	240	5	7	579	318
Pistachier	0	0	0	0	15	9
<b>Total rustique</b>	<b>1039</b>	<b>866</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>1694</b>	<b>1076</b>
Vigne de cuve	5726	5082	30,5	138,5	7783	8757,5
Vigne de table	3074	2820,5	29	49,5	3845	3401,5
<b>Total vigne</b>	<b>8800</b>	<b>7902,5</b>	<b>59,5</b>	<b>188</b>	<b>11628</b>	<b>12159</b>
<b>Total général</b>	<b>17152</b>	<b>14492,5</b>	<b>553,5</b>	<b>291,5</b>	<b>30457</b>	<b>25251,5</b>

L'entrée en production (rapport) est prise en compte à partir de la 3<sup>ème</sup> année pour les noyaux, pépins et agrumes, la 4<sup>ème</sup> année pour les vignes, la 7<sup>ème</sup> année pour les oliviers, pistachiers, amandiers et figuiers



**Figure 1 :** Évolution du potentiel agrumicole de la wilaya de Mostaganem 1999/2007  
(ANONYME, 2008)

## 1-2 La mineuse des agrumes

### 1-2-1 Position systématique

Embranchement	: Arthropodes
Classe	: Hexapodes
Sous classe	: Insectes
Ordre	: Lepidoptera
Super famille	: Tineoidea
Famille	: Gracillariidae
Sous famille	: Phyllocnistinae
Genre	: <i>Phyllocnistis</i>
Espèce	: <i>Phyllocnistis citrella</i> Stainton (1856)
Synonyme	: <i>Lithocolletis citricola</i> Swinh (BALACHOWSKY, 1966)
Nom commun	: Mineuse des feuilles des agrumes

### 1-2-2 Bio-écologie

Originnaire du Sud-Est asiatique, la mineuse des feuilles des *Citrus* est présente dans de nombreux centres agrumicoles tropicaux et subtropicaux (HEPPNER, 1993). Ce ravageur possède en effet un très grand pouvoir d'adaptation aux conditions climatiques, en raison de son mode de vie strictement endophyte ; il peut se manifester soit dans les zones sèches irriguées à forte insolation (10% HR), soit dans les milieux humides et abrités (AYOUB, 1960).

Si *Phyllocnistis citrella* est un ravageur essentiellement inféodé aux agrumes (HEPPNER, 1993), il peut aussi s'attaquer à d'autres plantes telles que le jasmin (Oleaceae), le saule (Salicaceae), la vigne (Vitaceae) et le maïs (Poaceae) sur lesquelles il est cependant incapable d'achever son cycle biologique (GUEROUT, 1974). Sur oranger, la densité de *P. citrella* peut varier de 4 individus pour 10 pousses (bouquets de feuilles) au printemps à 250 individus pour la même unité en été (ABASSI *et al.*, 1995).

Selon BALACHOWSKY (1966), les adultes de *P. citrella* hivernent et apparaissent dans les plantations généralement tôt au printemps. L'adulte a des mœurs nocturnes et présente un faible

sens de l'orientation phototaxique. Selon BEATTIE et SMITH (1993) et YANG *et al.* (1993), les femelles s'accouplent 9 à 12 heures après l'émergence et pondent 24 heures après. 8 à 21% des œufs sont régulés par la déshydratation ou par les prédateurs, dont l'activité est plus intense au printemps. La chenille vit dans une mine creusée sous l'épiderme de la jeune feuille, qui est marquée en son centre par une bande d'excréments bruns (CHERMITI *et al.*, 2001). La mine s'élargit à mesure que la chenille croît en taille, sur une période de 5 à 6 jours et le long d'un parcours d'environ 50 à 100 mm (QUILICI *et al.*, 1995).

Au stade prénymphe, l'insecte cesse de s'alimenter, se dirige vers le bord de la feuille en la repliant sur elle même à l'aide d'un fil de soie, puis confectionne une loge pour s'y nymphoser (BADAWY, 1967 ; GUERROUT ; 1974 ; QUILICI *et al.*, 1995 et CHERMITI *et al.*, 2001). A la fin de sa nymphose, l'imago découpe une ouverture et repousse l'opercule avec sa tête pour se libérer ; l'émergence a lieu à l'aube 5 à 8 jours après la nymphose. Les adultes sont actifs tôt le matin (BARROGA, 1968 ; HEPPNER, 1993 ; QUILICI *et al.*, 1995) ; ils ne vivent que quelques jours après l'accouplement, 7 au maximum (HEPPNER, 1993).

*P. citrella* a connu une expansion rapide de son aire de répartition et sa présence est connue désormais dans les cinq continents.

Ce ravageur des agrumes a été observé pour la première fois en Afrique au Soudan en 1962 (BADAWY, 1967). On l'a recensé par la suite en Nouvelle-Guinée, en Côte d'Ivoire et au Nigeria (CAB, 1970), en Ethiopie, au Congo, au Gabon, au Cameroun, au Bénin, en Egypte et au Ghana (GUERROUT, 1974), ainsi qu'en Afrique du sud (CAB, 1995), en Tunisie (CHERMITI, 1995) et au Maroc (ABASSI *et al.*, 1995 ; BOUGHADAD *et al.*, 1997 ; EL OUARD, 1997). Il a été signalé pour la première fois en Algérie dans les régions côtières des villes de Mostaganem et d'Oran (BERKANI, 1995). Depuis, ce ravageur a envahi toutes les zones agrumicoles du pays où il est devenu l'un des principaux ravageurs des *Citrus*.

Du fait du danger représenté par le développement actif de ses populations, la mineuse des agrumes a fait l'objet de nombreux travaux de recherches à travers le monde. Sa biologie et la dynamique de ses populations ont ainsi été étudiées par BADAWY (1969) ; BAANGOOD (1977 et 1978) ; LAKRA *et al.* (1984) ; RADKE et KANDELKAR (1988) ; BATRA *et al.* (1988 et 1992) ; WILSON (1991) ; GARIJO et GARCIA (1994) ; KNAPP *et al.* (1994) ; GARCIA (1995) ; BERKANI *et al.* (1996) ; ABASSI (1997) ; CHERMITI *et al.* (2001) ; SAHARAOUI *et al.* (2001) ; LEGASPI *et al.* (2001) ; KHEDER *et al.* (2002) ; DIEZ *et al.* (2006).

### **1-2-3 Méthodes de lutte**

Dans de nombreux pays envahis, diverses techniques de limitation des populations de la mineuse des agrumes ont été mises au point ; elles ont recours à des procédés de lutte variés (JERRAYA *et al.*, 1997).

#### **1-2-3-1 Méthodes prophylactiques**

C'est un ensemble de procédés permettant de limiter les infestations en privant le ravageur de son site de ponte et de nourriture approprié par divers moyens, dont la suppression manuelle de jeunes pousses et de gourmands.

ZHANG *et al.* (1994) rapportent qu'en Chine, la lutte agrotechnique est considérée comme une méthode traditionnelle consistant à favoriser un verger propre à l'aide d'un bon désherbage, la suppression des jeunes pousses au démarrage de la végétation et la fertilisation équilibrée doit être suivie d'une irrigation conséquente pour favoriser la première poussée de sève, dont dépend la production.

Au Maroc, EL OUARD (1997) note que la suppression des pousses intermédiaires entre celles du printemps et de l'été ainsi que des feuilles contaminées en pépinière peut avoir une certaine efficacité.

Aux USA, par ailleurs, une autre méthode a été préconisée, qui consiste à provoquer la sortie de nouvelles pousses dites « poussées libres », qui seront contaminées par l'insecte puis supprimées avant chacune des trois poussées de sève de l'année (KNAPP *et al.*, 1993).

Les australiens de leur côté recommandent la diminution des irrigations et de la fertilisation en été et en automne afin de réduire la végétation et de ce fait limiter le développement de l'insecte (KNAPP *et al.*, 1994).

#### **1-2-3-2 Lutte chimique**

Parmi les méthodes curatives, la lutte chimique demeure malgré ses multiples inconvénients le moyen le plus immédiat et le plus facile à employer contre les ravageurs des cultures. C'est encore de nos jours la méthode de lutte la plus pratiquée dans le monde.

Divers insecticides donnent de bons résultats mais leur utilisation abusive est à l'origine

d'effets secondaires sur les insectes pollinisateurs ; de plus, les organismes visés élaborent progressivement des mécanismes de résistance vis à vis de ces molécules chimiques (KNIGHT et NORTON, 1989, *in* CODERRE et VINCENT, 1992). De ce fait, toute intervention chimique doit s'inscrire dans le cadre d'une lutte raisonnée.

En Algérie, il a été recommandé l'utilisation par pulvérisation foliaire de Diméthoate, de Formothion, de Trichlorfon ou de l'Améthoate par traitement localisé et dirigé sur les pousses d'été et d'automne (BERKANI *et al.*, 1996 ) ; AIT YAHIA et RACHEF (1997) ont utilisé des produits à action systémique dont le Diméthoate, le Formothion et le Flufénoxuron.

ABASSI (1997) rapporte que l'Abamectine, le Difluobenzuron, le Flufenxuron, l'Hexaflumuron et l'Imidaclopride ont été recommandés pour lutter contre *P. citrella*.

En Tunisie, trois molécules ont été préconisées, à savoir : l'Hexaflumuron, l'Imidaclopride et le Flufenxuron ; une phytotoxicité a été observée pour l'Imidaclopride en cas de forte chaleur (CHERMITI, 1997).

D'autre part, à l'Île de la Réunion, QUILICI *et al.* (1995), ont constaté que certains composés tels que les dérégulateurs de croissance, le Difluobenzuron et le Tefluobenzuron ont montré une efficacité sur la mineuse sans pour autant provoquer des effets secondaires sur les auxiliaires.

En France (Corse), L'Abamectine, l'Imidaclopride et le Methomyl ont été recommandés pour le traitement en pépinières (BRUN, 1996).

En Espagne, une efficacité intéressante a été obtenue avec l'Abamectine, le Methomyl et le Difluobenzuron (GARRIDO, 1994 ; SHILIRO *et al.*, 1996), le Diméthoate, le Diazinon et le Flufenoxuron (GARIJO et GARCIA, 1994), l'Imidaclopride en pépinière (NUCIFORA et NUCIFORA, 1997), ainsi que le Benfucarbe, le Carbosufan , l'Hexythiazox, le Pyriolaphention et le Pirimiphas-méthyl par pulvérisation foliaire (GARCIA, 1995).

BEATTIE *et al.* (1995) signalent que la pulvérisation d'huile de pétrole (Caltex Lovis) à la dose de 1,25-10 ml/l d'eau a été efficace sur les populations larvaires de la mineuse. LIU *et al.* (1999) ont démontré aussi l'efficacité insecticide de l'huile de pétrole (0,5% C23 Ampol D-C-Tron NR) avec un volume de pulvérisation de 3000-3500 l/ha. L'action des dérivés de l'huile de pétrole sur l'oviposition de *P. citrella* semble par ailleurs en rapport direct avec le nombre d'atomes que renferme l'huile ; en effet, la fraction nC25 de l'huile médicinale est plus efficace que les fractions

nC17 et nC22 (LIU *et al.*, 2001).

Pour PEROVIC et HRNCIC (2008), l'efficacité des bioinsecticides à base de Spinosade et l'Azadirachtine a été prouvée sept jours après le traitement.

KERNS *et al.* (2004) signalent l'utilisation de trois types d'insecticides en Arizona pour le contrôle des populations de la mineuse : Abamectin, Imidaclopride et Spinosade.

En Australie, l'addition d'un fongicide, oxychlorure ou hydroxyde de cuivre à un insecticide 0,5% D-CTron NR a donné de bons résultats contre *P. citrella* comme pour d'autres ravageurs tels que les acariens et les aleurodes (RAE *et al.*, 1996).

Malgré la diversité des molécules testées, la lutte par voie chimique, utilisée dans le cadre du contrôle des populations de *P. citrella*, demeure difficile à appliquer en raison du mode de vie endophyte du ravageur. La larve mineuse est en effet protégée par l'épiderme de la feuille tandis que la prénymphe et la nymphe sont protégées par une logette formée par le repliement des bords de la feuille (BEATTIE et SMITH, 1993 ; HEPPNER, 1993 ; KNAPP *et al.*, 1994 ; KNAPP *et al.*, 1995).

Si les insecticides ont été et sont toujours utilisés, on s'intéresse de plus en plus à la lutte biologique et intégrée (MINEO *et al.*, 2000 ; DIAS *et al.*, 2005 ; MOREIRA *et al.*, 2006).

### **1-2-3-3 Lutte biologique**

Dans le domaine agronomique, on entend par lutte biologique toute forme d'utilisation des organismes vivants ayant pour but de limiter les pullulations et la nocivité des divers ennemis des cultures. Insectes ravageurs, acariens, nématodes, microorganismes phytopathogènes et mauvaises herbes sont justiciables d'une telle lutte, basée sur des relations naturelles entre individus ou entre espèces mises à profit par l'homme de diverses manières, et où l'organisme vivant utilisé comme agent de lutte est l'auxiliaire de l'homme (JOURDHEUIL *et al.*, 1991). La lutte biologique représente une solution parmi d'autres pour remplacer la lutte chimique (FRAVAL, 1992).

MICHAUD (2002) rappelle que le succès de la lutte biologique dépend des espèces dominantes et de l'élasticité du potentiel écologique présent au sein de la communauté des insectes qui subit l'invasion de nouveaux ravageurs des cultures.

De nombreux pays infestés par *P. citrella* ont opté plus particulièrement pour l'introduction

et l'acclimatation d'espèces entomophages (ROSSLER *et al.*, 1997 ; LIM *et al.*, 2006), dont l'efficacité réelle demeure parfois controversée (MICHAUD, 2002), l'un des risques étant que leur multiplication entraîne la réduction de l'impact des parasitoïdes autochtones.

L'expansion de *P. citrella* à travers le monde s'est accompagnée d'un élargissement progressif de son complexe parasitaire (VERCHER *et al.*, 2003 ; BOUALEM *et al.*, 2007). Plusieurs espèces d'origine asiatique telles que *C. quadristriatus*, *S. petiolatus*, *A. citricola* et *C. phyllocnistoides* ont ainsi été introduites depuis une dizaine d'années en région méditerranéenne (Tab. 2).

En Algérie, à l'instar de ce qui a été fait dans les autres pays méditerranéens, différentes méthodes de lutte ont été préconisées pour réguler les populations de *P. citrella* après son apparition dans les vergers agrumicoles. Mais la lutte biologique a été très vite la méthode la plus utilisée en raison de ses avantages écologiques. L'Algérie a été ainsi l'un des premiers pays du Maghreb à appliquer un programme de lutte biologique contre la mineuse des agrumes, avec l'introduction d'hyménoptères parasitoïdes pour la régulation de ses populations en pleins champs (BERKANI et MOUATS, 1998). SAHARAOU *et al.* (2001) signalent l'importance du complexe parasitaire du ravageur en Algérie ; constitué essentiellement d'espèces autochtones, enregistrant des taux de parasitisme de 29,4 et 30,9 % respectivement sur citronniers et orangers. Les travaux réalisés dans la région de Mostaganem ont permis de montrer qu'un complexe d'auxiliaires s'est constitué peu à peu à partir d'espèces parasitoïdes autochtones et introduites BOUALEM *et al.* (2007, 2008) mais également de certaines espèces locales de prédateurs (BOUALEM, 2002).

#### **1-2-3-4 Autres moyens de lutte biologique**

D'autres espèces auxiliaires peuvent s'attaquer à *P. citrella*, c'est le cas notamment des arthropodes prédateurs et des nématodes.

XIAO *et al.* (2007) signalent ainsi que la prédation et le parasitisme contribuent significativement à la mortalité de *P. citrella* en Floride. La prédation qui représente 30% de la mortalité provoquée par les ennemis naturels, est due à 60% aux fourmis.

De même au Nicaragua, les auxiliaires les plus communs sont des hyménoptères Formicidae : *Solenopsis* sp. et *Tapinoma* sp. (CANO *et al.*, 1996).

En Arizona, 60% des populations de *P. citrella* ont été régulées par l'action des prédateurs et des parasitoïdes (KERNS *et al.*, 2004). Les araignées *Chiracanthium inclusum* Heintz 1947 (Clubionidae), *Hibana velox* Becker 1879 (Anyphaenidae), et *Trachelas volutus* Gertsch 1935 (Corrinnidae) sont d'importants prédateurs de la mineuse (AMALIN *et al.*, 2001). Leur action, ajoutée à celle des chrysopes, dont *Chrysoperla rufilabris* Burmeister 1839 (Chrysopidae) est à l'origine de 34% de la mortalité du ravageur (AMALIN *et al.*, 2002).

En Thaïlande, MORAKOTE et NANTA (1996) signalent l'existence de trois espèces de prédateurs, dont deux Chrysopes : *Octopentata* sp. et *Chrysopa basalis* Walker. Par ailleurs en Chine, *Chrysopa boninensis* Okamoto 1910, *Chrysopa sinica* Tjeder 1968 et *Crius mineutus* sont considérées comme les espèces prédatrices les plus efficaces (TAN et HUANG, 1996).

La lutte biologique contre la mineuse des agrumes fait aussi intervenir d'autres moyens de lutte comme l'utilisation de pièges à phéromone sexuelle, attirant les mâles en vue de perturber la reproduction sexuée (VILLANUEVA-JIMINEZ et HOY, 1996). Au Japon, la molécule utilisée est le (Z, Z) - 7, 11- hexadecadienal (ANDO *et al.*, 1985 ; UJIYE, 1990), tandis qu'au Brésil, c'est le (Z, Z, E)-7, 11, 13-hexadecatrienal qui a été identifié et utilisé comme attractif des mâles (LEAL *et al.*, 2006). MOREIRA *et al.* (2006) ont démontré l'efficacité d'une nouvelle phéromone en Californie, le 7Z, 11Z, 13E-16 : X.

**Tableau 2** : Principaux parasitoïdes de *P. citrella* présents dans différents pays de la région méditerranéenne (d'après Noyes, 2001 ; Reina et LaSalle, 2004)

Espèce	Origine	Présence sur <i>P. citrella</i>	Introduction
<b>Eulophidae</b>			
<i>Apotetrastichus postmarginalis</i> (Boucek, 1971)	EUR	Si	-
<i>Apotetrastichus sericothorax</i> (Szelényi, 1973)	EUR	Si	-
<i>Asecodes delucchii</i> (Boucek, 1971)	EUR	Si	-
<i>Asecodes erxias</i> (Walker, 1848)	EUR, AMN	Si	-
<i>Chrysocharis pentheus</i> (Walker, 1839)	EUR, ASIE, AMN	Es, Isr	-
<b><i>Cirrospilus brevis</i></b> Zhu, LaSalle et et Huang 2002	ASIE	-	E
<i>Cirrospilus diallus</i> (Walker, 1838)	EUR	It, Si,	-
<b><i>Cirrospilus ingenuus quadristriatus</i></b> (Subba Rao et Ramamani, 1966)	ASIE	-	Es, Isr, Ma, AUS, USA
<i>Cirrospilus brevis</i> Zhu, LaSalle et et Huang 2002 (= near <i>lyncus</i> )	EUR	E	-
<i>Cirrospilus pictus</i> (Nees, 1834)	EUR	Al, Es, It, Ma, Si	AMN
<i>Cirrospilus vittatus</i> Walker, 1838	EUR	Al, Es, It, Si	-
<b><i>Citrostichus phyllocnistoides</i></b> (Narayanan, 1960)	ASIE	Asie	Es, Gr, Isr, Ma, AUS
<b><i>Closterocerus cinctipennis</i></b> (Ashmead, 1888)	AMN	AMN	It
<b><i>Closterocerus formosus</i></b> (Westwood, 1833)	EUR, ASIE, AMN	Es, Gr, Isr, It, Jo, Si, Tq	Es, Gr, Isr, It, Jo, Si, Sy, Tq
<i>Diglyphus isaea</i> (Walker, 1838)	EUR, ASIE, AMN, AFR	Es	-
<b><i>Galeopsomyia fausta</i></b> (LaSalle 1997)	AMS	AMS	Es
<i>Pnigalio agraulis mediterraneus</i> (Ferrière et Delucchi, 1957)	EUR	Al, Si	-
<i>Pnigalio pectinicornis</i> (Linnaeus, 1758)	EUR	Al, Es	-
<i>Pnigalio soemnius</i> (Walker 1839)	EUR	Si	-
<b><i>Quadrastichus citrella</i></b> (Reina et La Salle)	Thaïlande	-	Es, Is, Ma, Si
<i>Ratzeburgiola incompleata</i> Boucek	EUR	Isr, Si, Tq	-
<b><i>Semiela cher petiolatus</i></b> (Girault, 1915)	AUS	Al, Es, Gr, It, Ma, Tu	Al, Es, Ma, Si, Tu
<i>Sympiesis gregori</i> (Boucek)	EUR	Es	-
<i>Sympiesis notata</i> (Zetterstedt, 1838)	EUR	Es	-
<i>Zaomomentedon brevipetiolatus</i> (Kamijo, 1990)	AUS, ASIE	Isr	-
<b>Encyrtidae</b>			
	AUS, ASIE	Asie	Al, Es, Gr, It, Isr, Ma, Si, Tu AUS, AMN, AMS
<b><i>Ageniaspis citricola</i></b> (Logvinovskaya, 1983)			

Pays. Al : Algérie, Es : Espagne, Gr : Grèce, Isr : Israël, It : Italie, Jo : Jordanie, Si : Sicile, Sy : Syrie, Ma : Maroc ; Tu : Tunisie ; Tq : Turquie. Région. AFR : Afrique, ASIE, AMN : Amérique du Nord, AMS : Amérique du Sud, AUS : Australie, EUR : Europe. En gras : espèces exotiques introduites dans le Bassin méditerranéen.

## Chapitre 2

### Le complexe parasitaire de *P. citrella* à travers le monde

#### 2-1 Introduction

Les importants dégâts provoqués par la mineuse des agrumes au cours des dernières décennies ont conduit à la mise en œuvre de nombreuses méthodes de lutte. Si les insecticides ont été et sont toujours utilisés, on se tourne de plus en plus vers la lutte biologique et intégrée (MINEO *et al.*, 2000 ; DIAS *et al.*, 2005 ; MOREIRA *et al.*, 2006). En effet, ROSSLER *et al.* (1997) et LIM *et al.* (2006) signalent que beaucoup de pays infestés ont opté dans le cadre de la lutte contre cet insecte à l'introduction et l'acclimatation d'espèces entomophages. Dans de nombreux pays, des dizaines d'espèces autochtones s'attaquent à ce nouvel hôte quelques années après son introduction dans de nouvelles régions (REINA et LASALLE, 2004 ; GARCIA-MARI *et al.*, 2004 ; VERCHER *et al.*, 2005).

De très nombreux travaux scientifiques ont eu pour but d'inventorier les espèces du complexe entomophage de la mineuse des agrumes à travers le monde. Ils ont permis de mettre en évidence le rôle fondamental joué par les Hyménoptères parasitoïdes de la superfamille des Chalcidoidea et plus particulièrement des Eulophidae dans le contrôle des populations de ce ravageur.

En 1988, UJIYE avait identifié 13 parasitoïdes inféodés à la mineuse des agrumes à Honshu (Japon). En Floride, HEPPNER (1993) a recensé 39 espèces de parasitoïdes Chalcidoidea sur *P. citrella*, originaires du Sud-Est asiatique, du Japon et d'Australie, tandis que BROWNING *et al.* (1996) en signalent 13. QUILICI *et al.* (1997) observent 4 espèces de parasitoïdes de la mineuse à l'île de la Réunion. La même année, LIOTTA (1997) recense 11 espèces d'Eulophidae parasitoïdes en Sicile alors qu'en 2002 RIZZO et MASSA identifient 33. A l'échelle mondiale, SCHAUFF *et al.* (1998) ont noté 80 espèces de chalcidiens parasitoïdes. A ce jour, plus d'une cinquantaine d'espèces antagonistes de *P. citrella* a déjà été répertoriée dans les zones où ce ravageur est présent.

Le tableau 3 récapitule l'ensemble des données sur les parasitoïdes de *P. citrella* recensés à travers le monde.

**Tableau 3** : Les parasitoïdes primaires de *P. citrella* référencés dans la littérature

Références : 1) Shauff *et al.*, 1998 (40 genres et 90 espèces référencées) ; 2) Noyes, 2001 (Chalcidoidea Taxapad : 75 espèces référencées) ; 3) NHM, 2007 (World Chalcidoidea Database : 90 espèces référencées) ; 4) Boualem *et al.*, 2007 ; 5) Iu, 2005 (Ichneumonoidea Taxapad)

FAMILLE, Genre, espèce	Synonyme	Aire d'origine	Pays d'introduction	Réfs.
<b>BRACONIDAE</b>				
<i>Bracon phyllocnistidis</i> (Muesebeck, 1933)	<i>Microbracon phyllocnistidis</i>	Indonésie		2-5
<i>Bracon</i> sp.		Philippines		5
Braconidae sp.		Japon, Vietnam		5
<b>CHALCIDIDAE</b>				
<i>Conura</i> sp.		Brésil		2- 3
<b>ELASMIDAE</b>				
<i>Elasmus phyllocnistoides</i> Diez, Torrens et Fidalgo, 2006		Argentine, Bolivie, Brésil		3
<i>Elasmus tischeriae</i> Howard, 1885		Mexique, USA: Floride		1-2-3
<i>Elasmus zehntneri</i> Ferrière 1929		Indonésie, Philippines		1-2-3
<i>Elasmus</i> spp.		Argentine, Brésil, Colombie, Inde, Japon, Mexique, USA : Floride		1-3
<b>ENCYRTIDAE</b>				
<i>Ageniaspis citricola</i> Logvinovskaya, 1983	Lâché en Algérie (Berkani, et Mouats, 1998) [cité par erreur sous le nom de <i>Metaphycus</i> <i>citricola</i> Annecke et Mynhardt, 1971 (2, 3) mais non acclimaté (4)	Chine, Taiwan, Thaïlande, Vietnam	Argentine, Australie, Bahamas, Brésil, Canaries, Caraïbes, Chili, Chine, Chypre, Cuba, Espagne, France, Grèce, Honduras, Israël, Italie, Japon, Maroc, Mexique, Oman, Pérou, Pologne, Réunion, Sicile, Syrie, Tunisie, Turquie, Venezuela, USA: Floride et Louisiane	1-2-3
<i>Ageniaspis</i> sp.		Thaïlande, Vietnam		1-2-3
<i>Tyndarichus</i> sp.		Jordanie		3
<b>EULOPHIDAE</b>				
<i>Achrysocharoides</i> sp.		Japon, Taiwan, Thaïlande		1-2-3
<i>Apleurotropis</i> sp.		Chine, Thaïlande		1
<i>Apotetrasticus contractus</i> (Walker)		Madère		1
<i>Apotetrasticus</i> <i>postmarginali</i> Boucek, 1971)		Sicile		2-3
<i>Apotetrasticus</i> <i>sericothorax</i> (Szelényi, 1973)		Sicile		1-2-3
<i>Apotetrasticus</i> sp.		Sicile		1-2-3
<i>Aprostocetus</i> spp.		Philippines, Tunisie		1-3
<i>Asaphoideus niger</i> Girault, 1913		Australie		1-2-3

FAMILLE, Genre, espèce	Synonyme	Aire d'origine	Pays d'introduction	Réfs.
<b>EULOPHIDAE</b>				
<i>Ascotolinx funeralis</i> Girault, 1913		Australie, N <sup>ue</sup> Guinée		
<i>Baryscapus</i> spp.		Egypte, Espagne, Iran, Italie, Oman, Sicile		1-3
<i>Chrysocharis gemma</i> (Walker, 1839)		Canaries		1
<i>Chrysocharis lassallei</i> Schauff 1998		Colombie		1-2-3
<i>Chrysocharis pentheus</i> (Walker, 1839)		Chine, Chypre, Espagne, Israël, Japon		1-2-3
<i>Chrysocharis</i> sp.		Canaries, Espagne, Honduras, Japon, Sicile		1
<i>Chrysocharodes lassalei</i> Schauff, 1998		Colombie		1-2-3
<i>Chrysocharodes</i> sp.		Colombie, Mexique		
<i>Chrysonotomyia</i> spp.		Chine, Cuba, Japon, Syrie, Turquie		1-2-3
<i>Chrysonotomyia reticulata</i> Sheng et Zhan, 2000		Chine		3
<i>Cirrospilus brevis</i> Zhu, LaSalle et et Huang 2002	<i>C. near lyncus</i> , <i>Zagrammosoma crowei</i> (Kerrich,1969)	Japon, Chine, Espagne, Chypre, Israël, Syrie, Turquie		3
<i>Cirrospilus cinctiventris</i> Ferrière, 1936		Afrique du Sud, Ethiopie, Réunion, Soudan, Swaziland		1-2-3
<i>Cirrospilus crowei</i> Kerrich, 1969	<i>Zagrammosoma crowei</i>	Ethiopie, Réunion		1-2-3
<i>Cirrospilus diallus</i> Walker 1838		Italie, Sicile		1-2-3
<i>Cirrospilus floridensis</i> Evans 1999		USA : Floride		
<i>Cirrospilus huangyanensis</i> Yang et Ren, 1998		Chine		2-3
<i>Cirrospilus ingenuus</i> Gahan, 1932	<i>C. quadristriatus</i>	Australie, Chine, Inde, Indonésie, Japon, Malaisie, Philippines, Taiwan, Thaïlande,	Australie, Chypre, Egypte, Israël, Jordanie, Maroc, Oman, Mexique, Syrie, Tunisie, Turquie	1-2-3
<i>Cirrospilus jiangxiensis</i> Sheng et Wang, 1992		Chine		1-2-3
<i>Cirrospilus longifasciatus</i> Ferrière, 1936		Afrique du Sud, Ethiopie, Yémen		1-3
<i>Cirrospilus lyncus</i> Walker, 1838	<i>Atoposomoidea lyncus</i>	Chine, Espagne		1-2-3
<i>Cirrospilus neotropicus</i> Diez et Fidalgo, 2004		Argentine, Bolivie, Brésil, Colombie, Honduras, Mexique		3
<i>Cirrospilus nigrivariiegatu</i> (Girault, 1917)		USA : Floride		1-2-3
<i>Cirrospilus phyllocnistis</i> (Ishii, 1953)	<i>Scotolynx phyllocnistis</i>	Chine, Japon, Taiwan, Thaïlande,		1-2-3

FAMILLE, Genre, espèce	Synonyme	Aire d'origine	Pays d'introduction	Réfs.
<b>EULOPHIDAE</b>				
<i>Cirrospilus pictus</i> (Nees, 1834)	<i>Cirrospilus nigriscutellaris</i> Sheng et Wang, 1992	Algérie, Canaries, Chine, Egypte, Espagne, Italie, Jordanie, Libye, Malte, Maroc, Sicile, Tunisie		1-2-3-4
<i>Cirrospilus variegatus</i> (Masi, 1907)		Espagne, Turquie, Libye		1-3
<i>Cirrospilus vittatus</i> Walker, 1838		Algérie, Italie, Espagne, Sicile		1-2-3-4
<i>Cirrospilus</i> spp.		Afrique du Sud, Argentine, Australie, Brésil, Colombie, Chypre, Honduras, Japon, Mexique, Nicaragua, Pakistan, Pérou, Porto Rico, Taiwan, Tunisie, USA: Floride, Venezuela, Vietnam		1-2-3
<i>Citrostichus dolichogaster</i> Sheng et Wang, 1993		Chine		
<i>Citrostichus phyllocnistoides</i> (Narayanan, 1960)	<i>Cirrospilus phyllocnistoides</i> , <i>Cirrospiloideus phyllocnistoides</i> , <i>Tetrastichus phyllocnistoides</i>	Afghanistan, Afrique du Sud, Chine, Inde, Indonésie, Japon, Oman, Pakistan, Taiwan, Thaïlande, Soudan, Swaziland,	Algérie, Australie, Chypre, Grèce, Israël	1-2-3-4
<i>Closterocerus cinctipennis</i> Ashmead, 1888		Caraïbes, USA: Floride, Texas		1-2-3
<i>Closterocerus delucchii</i> (Boucek, 1971)	<i>Asecodes delucchii</i> , <i>Teleopterus delucchii</i>	Japon, Sicile		1-2-3
<i>Closterocerus erxias</i> Walker 1848)	<i>Asecodes erxias</i> , <i>Teleopterus erxias</i>	Japon, Sicile, Tunisie		1-2-3
<i>Closterocerus formosus</i> Westwood, 1833	<i>Neochrysocharis formosa</i>	Algérie, Chypre, Espagne, Grèce, Israël, Italie, Japon, Jordanie, Tunisie, Turquie		1-2-3-4
<i>Closterocerus trifasciatus</i> Westwood, 1833		Japon, Thaïlande		1-2-3
<i>Closterocerus utahensis</i> Crawford, 1912		Californie		3
<i>Closterocerus</i> spp.	<i>Asecodes</i> sp., <i>Chrysonotomya</i> sp., <i>Teleopterus</i> sp.	Afghanistan, Chine, Colombie, Egypte, Honduras, Inde, Japon, Oman, Mexique, Syrie, Thaïlande, Taiwan, Turquie, USA		1-2-3
<i>Cryptastichus sabo</i> LaSalle 1998		Afrique du Sud, Swaziland, Zimbabwe		1-2-3
<i>Diglyphus begini</i> (Ashmead, 1904)		USA : Floride		1-2-3
<i>Diglyphus isaea</i> (Walker, 1838)		Espagne, Tunisie		1-2-3
<i>Elachertus</i> spp.		Argentine, Chine, Honduras, Japon, USA : Floride		1-2-3

<b>FAMILLE, Genre, espèce</b>	<b>Synonyme</b>	<b>Aire d'origine</b>	<b>Pays d'introduction</b>	<b>Réfs.</b>
<i>Galeopsomyia fausta</i> LaSalle, 1997		Argentine, Brésil, Colombie, Honduras, Mexique, Nicaragua, Porto Rico	Espagne	1-2-3
<i>Horismenus fraternus</i> (Fitch, 1856)		Caraïbes		3
<i>Horismenus sardus</i> (Walker, 1847)		Caraïbes, USA: Floride		1-2-3
<i>Horismenus</i> sp.		Brazil, Colombie, Honduras, Mexique, Nicaragua, Porto Rico		1-2-3
<i>Kratoysma</i> sp.		Australie, Inde, Japon, Thaïlande		1-2-3
<i>Notaniomorphella borborica</i> (Girard, 1903)		Réunion		1-2-3
<i>Pediobius puertocensis</i> Schauff, 1998		Porto Rico		1-2-3
<i>Pediobius</i> spp.		Algérie, Indonésie		1-2-3
<i>Pnigalio agraulis</i> (Walker, 1839)	<i>Pnigalio mediterraneus</i> Ferrière et Delucchi, 1957	Algérie, Espagne, Italie, Jordanie, Sicile		1-2-3-4
<i>Pnigalio minio</i> (Walker, 1847)		Caraïbes, USA : Floride		1-2-3
<i>Pnigalio pectinicornis</i> (Linnaeus, 1758)	confusion possible avec <i>P. agraulis</i>	Algérie, Grèce, Espagne		1-2-3-4
<i>Pnigalio soemius</i> (Walker, 1839)		Chypre, Italie, Espagne		1-3
<i>Pnigalio</i> spp.		Algérie, Chypre, Egypte, Espagne, Grèce, Iran, Japon, Jordanie, Honduras, Libye, Mexique, Maroc, Tunisie, Turquie, USA : Floride et Texas		1-2-3
<i>Quadrastichus</i> sp.	<i>Tetrastichus</i> sp.	Chine, Japon, Taiwan, Thaïlande,	Chypre, Israël, Espagne	1-2-3
<i>Quadrastichus citrella</i> Reina et La Salle, 2004	<i>Quadrastichus</i> sp.	Chine, Japon, Maroc, Taiwan, Thaïlande	Chypre, Espagne, Israël, Italie	1-3
<i>Quadrastichus liriomyzae</i> Hansson et LaSalle, 1996		Chine		2-3
<i>Ratzeburgiola cristata</i> (Ratzeburg, 1848)	<i>Ratzeburgiola</i> sp.	Espagne		1
<i>Ratzeburgiola incompleta</i> Boucek, 1971		Chypre, Egypte, Israël, Italie, Syrie, Turquie		1-2-3
<i>Semiela cher petiolatus</i> (Girault, 1915)		Australie, Iles Salomon,	Algérie, Chypre, Grèce, Israël, Maroc, Oman, Syrie, Tunisie, Turquie	1-2-3-4
<i>Semiela cher</i> sp.		Papouasie Nlle Guinée		1-2-3
<i>Stenomiesius japonicus</i> (Ashmead, 1904)	<i>Sympiesomorpha mikan</i> Ishii, 1953	Chine, Japon, Taiwan		1-2-3
<i>Sympiesis bukobensis</i> Ferrière, 1936		Afrique du Sud, Swaziland		1

FAMILLE, Genre, espèce	Synonyme	Aire d'origine	Pays d'introduction	Réfs.
<b>EULOPHIDAE</b>				
<i>Sympiesis gordius</i> (Walker, 1839)		Espagne		1
<i>Sympiesis gregori</i> Boucek, 1958	<i>Sympiesis sandanis</i> (Walker, 1839) [ <i>Sympiesis notata</i> (Zetterstedt, 1838) par erreur]	Chypre, Espagne, Tunisie		1-2-3
<i>Sympiesis striatipes</i> (Ashmead, 1904)	<i>Sympiesis purpurea</i> Waterston, 1915, <i>Sympiesis</i> sp.	Chine, Japon, Pakistan, Thaïlande	Oman, Syrie	1-2-3
<i>Sympiesis</i> sp.		Afrique du Sud, Australie, Oman, Taiwan, USA : Floride, Yémen		1-2-3
<i>Tetrastichus dolichogaster</i> (Sheng et Wang, 1993)	<i>Citrostichus dolichogaster</i>	Chine		1-2-3
<i>Tetrastichus</i> spp.	identifications incertaines (1)	Afrique du Sud, Chine, Inde, Israël, Japon, Mexique, Pakistan, Taiwan, Thaïlande		1-2-3
<i>Zagrammosoma americanum</i> Girault, 1916		USA: Floride		1-2-3
<i>Zagrammosoma multilineatum</i> (Ashmead, 1888)	<i>Cirrospilus multilineatus</i>	Colombie, Cuba, Mexique, USA : Floride et Texas		1-2-3
<i>Zagrammosoma</i> sp.		Jordanie, Mexique, Porto Rico, USA: Texas, Venezuela		1-3
<i>Zaommomentedon brevipetiolatus</i> Kamijo, 1990	<i>Visnuella</i> sp.	Australie, Chine, Japon, Taiwan, Thaïlande	Israël	1-2-3
<i>Zaommomentedon</i> sp.		Papouasie Nlle Guinée		2-3
<b>EUELMIDAE</b>				
<i>Eupelmus urozonus</i> Dalman, 1820		Japon		1
<i>Eupelmus</i> sp.		Brésil, Japon, Taiwan, USA : Floride		1-2-3
<b>EURYTOMIDAE</b>				
<i>Eurytoma</i> sp.		Sri Lanka, Thaïlande		1-2-3
<b>PTEROMALIDAE</b>				
<i>Asaphoideus niger</i> Girault, 1913		Australie		1-2-3
<i>Catolaccus aeneoviridis</i> (Girault, 1911)		USA: Floride		1-2-3
<i>Pteromalus</i> sp.		Canaries, Espagne, Tunisie		1-2-3
<i>Trichomalopsis oryzae</i> Kamijo et Grissell, 1982		Japon		1-2

La littérature sur les ennemis naturels de *P. citrella* est extrêmement abondante, il ne sera présenté que les principaux éléments, activant principalement dans la région méditerranéenne.

### 2-1-1 Les auxiliaires introduits

Après l'apparition de *P. citrella*, des programmes de lutte biologique ont été mis au point dans la plupart des pays pour favoriser la régulation des populations de l'insecte. Différentes espèces de parasitoïdes reconnues comme efficaces ont été introduites à partir de leurs pays d'origine (ARGOV et ROSSLER, 1996 ; LEKCHIRI, 1996 ; SISCARO *et al.*, 1997; URBANEJA *et al.*, 2000, 2003 ; SAHARAOU *et al.*, 2001 ; GARCIA-MARI *et al.*, 2003).

#### 2-1-1-1 Région méditerranéenne

La lutte biologique contre la mineuse des agrumes s'est fortement développée en région méditerranéenne depuis dix ans. C'est en Israël que la lutte à l'aide d'auxiliaires exotiques a débuté aussitôt après l'apparition de *P. citrella*, avec l'introduction de six espèces de parasitoïdes (Tab. 4) (ARGOV et ROSSLER, 1996).

**Tableau 4 :** principales espèces parasitoïdes introduites en Israël

Espèce	Pays d'importation
<i>Ageniaspis citricola</i> (Logvinovskaya)	THA, AUS et FLO
<i>Cirrospilus quadristriatus</i> (Subba Rao et Ramamani)	THA, AUS et FLO
<i>Quadrastichus</i> sp. (= <i>Tetrastichus</i> sp.)	THA
<i>Semielacher petiolatus</i> (Girault)	AUS
<i>Zaommatedon brevipetiolatus</i> (Kamijo)	AUS
<i>Citrostichus phyllocnistoides</i> (Narayanan)	CHI

Pays. AUS : Australie, CHI : Chine, FLO : Floride et THA : Thaïlande

En Espagne, les Eulophidae *Cirrospilus ingenuus* et *Semielacher petiolatus* et l'encyrtidae *Ageniaspis citricola* ont été introduits dès 1995 ; puis ce furent les Eulophidae *Quadrastichus* sp (décrit ensuite sous le nom de *Q. citrella* Reina et LaSalle, 2004) en 1996, et *Galeopsomyia fausta*

et *Citrostichus phyllocnistoides* en 1998 (URBANEJA *et al.*, 2000 ; LLACER *et al.*, 2006). GARCIA-MARI *et al.* (2004) ont noté que 11 espèces de parasitoïdes ont été introduites en Espagne, parmi lesquelles six ont donné de bons résultats : l'encyrtide *A. citricola*, et les eulophides *Q. citrella*, *S. petiolatus*, *G. fausta*, *C. ingenuus* et *C. phyllocnistoides*. Cependant, les lâchers d'*A. citricola* n'ont pas été suivis d'acclimatation, du fait probablement de ses faibles capacités de résistance aux conditions climatiques méditerranéennes (VERCHER *et al.*, 2003). *C. phyllocnistoides* semble par contre être l'un des auxiliaires les plus prometteurs (VERCHER *et al.*, 2003). Après un lâcher de 600 adultes provenant de Chine en 1998, cette espèce est devenue dès 2001 le parasitoïde dominant dans tous les vergers agrumicoles de la Péninsule Ibérique et des Baléares ; elle a montré une expansion substantielle, puisqu'on l'a retrouvé à plus de 30 km du point de lâcher ; cette espèce élimine en moyenne 60% des individus de *P. citrella* et réduit de 56% les dégâts causés au feuillage des *Citrus* (GARCIA-MARI *et al.*, 2004). Par ailleurs, *Q. citrella* a montré une capacité de reproduction très élevée (78,2 femelle/femelle) sous une température de 20-25°C ; cette valeur la place parmi les ennemis naturels intrinsèquement supérieurs par rapport aux autres parasitoïdes de *P. citrella* dans l'Est de l'Espagne. Malheureusement, sa faible capacité de tolérance aux températures basses, limite son action lorsque les températures sont inférieures à 13°C (LLACER *et al.*, 2006).

En Sicile (Italie), l'introduction de *A. citricola*, *Q. citrella* et *C. phyllocnistoides* devait remédier à la faible action des antagonistes autochtones de *P. citrella* (MINEO, 1999 ; MINEO et MINEO, 2000 ; SISCARO *et al.*, 2003 ; BARBAGALLO *et al.*, 2000 ; SISCARO *et al.*, 1999a). Ces derniers se sont pourtant très vite révélés nombreux et actifs (LIOTTA *et al.*, 2003 ; Rizzo, 2003). Enfin, selon MASSA *et al.* (2001), l'espèce allochtone *S. petiolatus* se serait répandue spontanément en Italie, après son introduction en Tunisie en 1996 (F.A.O, 1996).

En Tunisie, dans le cadre de la lutte contre *P. citrella*, il a été procédé à l'introduction d'*A. citricola* et *S. petiolatus*, cette dernière a été la seule espèce qui a pu s'acclimater aux conditions locales (BRAHAM *et al.*, 2006).

Au Maroc, les travaux de RIZQI *et al.* (2003) démontrent l'importance de la lutte intégrée dans le contrôle des ravageurs d'agrumes, du fait des avantages financiers (réduction des charges globales à la production) et environnementaux (préservation de la faune auxiliaire, effet moindre sur l'équilibre des vergers etc.) qui en découlent. L'utilisation de la lutte biologique pour contrôler la mineuse des agrumes fut initiée par l'introduction d'*A. citricola* au mois de décembre de l'année 1995 (RIZQI *et al.*, 1999). Dans plusieurs régions (Souss, Gharb, Oriental, Tadla et Haouz), cinq

espèces de parasitoïdes ont été introduites : *A. citricola*, *C. ingenuus*, *S. petiolatus*, *Quadrastichus* sp. et *C. phyllocnistoides* ; les deux espèces indigènes reconnues comme les plus importantes dans la région, *Pnigalio* sp. et *C. pictus* ont montré une faible performance après l'introduction des espèces exotiques (RIZQI *et al.*, 2003 ; MAZIH, 2008) ; parmi les cinq espèces introduites *S. petiolatus* et *C. phyllocnistoides* ont dominé et se sont montrées les plus efficaces (MAZIH, 2008). Selon RIZQI *et al.* (2003), les lâchers d'*A. citricola* n'ont pas été suivis d'acclimatation du fait des faibles capacités de résistance du parasitoïde à la sécheresse méditerranéenne.

En Algérie, quatre espèces de parasitoïdes ont été introduites à partir de 1996 par l'Institut National de Protection des Végétaux dans la Mitijda : *A. citricola*, *S. petiolatus*, *Cirrospilus ingenuus quadristriatus* et *Sympiesis* sp. (SAHARAOUI *et al.*, 2001). Dans la région de Mostaganem, l'introduction d'*A. citricola* a été signalée par BERKANI et MOUATS (1998) et celle de *S. petiolatus* par BERKANI (Comm. Pers). *S. petiolatus* est la seule des deux espèces introduites qui s'est maintenue dans la région de Mostaganem (BOUALEM, 2002 ; BOUALEM *et al.*, 2007). C'est aussi la seule des quatre espèces lâchées en Mitijda à s'être acclimatée (SAHARAOUI *et al.*, 2001).

#### **2-1-1-2 Dans le monde**

D'autres lâchers de parasitoïdes ont été réalisés ailleurs dans le monde. Ainsi, *A. citricola* qui a été introduit du Pérou en Equateur en 1996, a montré un impact prédominant par rapport aux autres espèces identifiées, avec un taux de parasitisme de 28,4%, alors que les espèces autochtones *Galeopsomyia* sp. et *Elasmus tischeriae* Howard 1885 n'ont provoqué respectivement que 2,2 et 0,07% de mortalité de la mineuse (BERMUDEZ *et al.*, 2004).

En Argentine, une étude a fait ressortir la présence de cinq espèces de parasitoïdes, parmi lesquelles l'espèce allochtone *A. citricola* est la plus abondante, devançant les deux espèces autochtones : *C. neotropicus* (DIEZ et FIDALGO, 2004) et *G. fausta* (DIEZ *et al.*, 2006).

En Chine, WANG *et al.* (2006) signalent l'efficacité du parasitoïde exotique *C. phyllocnistoides* dans le contrôle de la mineuse.

En Australie, trois espèces de parasitoïdes, introduites de Chine pour réguler les populations de la mineuse, ont présenté une activité parasitaire importante : *C. phyllocnistoides*, *C. quadristriatus* et *A. citricola* (NEALE *et al.*, 1995).

## 2-1-2 Les parasitoïdes autochtones

Très vite après l'arrivée de *P. citrella*, il a été constaté que les parasitoïdes indigènes pouvaient jouer un rôle fondamental dans la régulation des populations du ravageur. De nombreuses espèces s'avèrent, en effet, capables de se développer sur la mineuse des agrumes, car leur spécialisation dépend plus souvent du mode de vie de leur hôte que de son appartenance taxonomique (BOUALEM *et al.*, 2008). Il en est ainsi des complexes de parasitoïdes des larves mineuses de feuilles comme de ceux qui sont associés aux insectes xylophages ou gallicoles (ASKEW, 1980 ; HAWKINS, 1994). L'expansion de *P. citrella* à travers le monde s'accompagne de ce fait d'un élargissement progressif de son complexe parasitaire (VERCHER *et al.*, 2003). Par contre, l'effet bénéfique de ces ennemis naturels autochtones était parfois limité par l'arrivée des espèces auxiliaires introduites comme cela a été observé notamment en Amérique du Nord (LIM *et al.*, 2006) et en région méditerranéenne (KHEDER *et al.*, 2002).

### 2-1-2-1 En Amérique

Dans le continent américain, LA SALLE et PENA (1997) signalent le rôle important joué en Floride par l'espèce indigène *Galeopsomyia fausta*. Deux années plus tard, EVANS (1999) rapporte l'action antagoniste envers *P. citrella* de *Zagrammozoma zebralineatum multilineatum* et *Pnigalio minio* et d'une nouvelle espèce autochtone : *Cirrospilus floridensis*. Alors qu'en Californie, la présence de 44 genres d'hyménoptères parasitoïdes inféodés aux mineuses et appartenant particulièrement aux familles suivantes : Encyrtidae, Pteromalidae, Chalcididae, Eurytomidae, Eupelmidae, Torymidae et Eulophidae (Chalcidoidea), Bethylidae, Brachonidae a été recensée ; parmi eux les Eulophidae représentent plus de 80% des sujets identifiés (GATES *et al.*, 2002).

Considéré comme l'un des antagonistes les plus efficaces de *P. citrella*, *S. petiolatus* pourrait toutefois avoir un impact négatif sur d'autres parasitoïdes. Ainsi, l'introduction de *S. petiolatus* en Floride ne serait pas souhaitable dans la mesure où sa présence freinerait l'activité d'autres parasitoïdes, notamment celle d'*Ageniaspis citricola*, introduit dans cet état en 1994-95 et désormais bien acclimaté (LIM *et al.*, 2006).

Au Brésil, les espèces autochtones *Cirrospilus* sp. n.1, *Cirrospilus* sp. n.2, *Horismenus* sp., *Galeopsomyia* sp. et *Elasmus tischeriae* ont été recensées au Cuitlahuac (Veracruz), parmi eux *Galeopsomyia* sp. et *Cirrospilus* spp. représentaient 70% des parasitoïdes présents (BAUTISTA-MARTINEZ *et al.*, 1998).

Selon DIEZ *et al.* (2006a), cinq ennemis naturels de la mineuse ont été observés dans la région de Tafí Viejo (Argentine) : une espèce introduite *A. citricola* et quatre espèces autochtones (*C. neotropicus*, *Elasmus* sp., *G. fausta*, *Elachertus* sp.). DIEZ *et al.* (2006b) signalent la présence d'une nouvelle espèce parasitoïde autochtone en Argentine : *Elasmus phyllocnistoides*.

LEGASPI *et al.* (2001) signalent aussi le rôle agressif important du complexe des parasitoïdes autochtones envers *P. citrella*. Ainsi, au Mexique, l'Eulophide *Zagrammozoma multineatum*, représente 30% du complexe parasitaire et 46,2% au Texas.

### **2-1-2-2 Dans le bassin méditerranéen**

GARRIDO et DEL BUSTO (1994) in URBANEJA *et al.* (2000) signalent avoir déterminé quatre espèces d'Eulophidae autochtones en Espagne : *Pnigalio* sp. (identifié ensuite comme *P. pectinicornis*), *Cirrospilus pictus*, *Cirrospilus vittatus* et *Sympiesis notata* (= *sandanis*). En 1997, sept autres espèces ont été identifiées : *Cirrospilus* near *lynxus* (décrit ensuite sous le nom de *Cirrospilus brevis* par Zhu, LaSalle et Huang 2002), *Sympiesis gregori*, *Diglyphus isaea*, *Chrysocharis pentheus*, *Closterocerus formosus*, *Ratzeburgiola cristata* ainsi qu'une espèce indéterminée de Pteromalidae (GONZALEZ *et al.*, 1996 ; LACASA *et al.*, 1998 ; URBANEJA *et al.*, 1998 ; VERCHER *et al.*, 1998). URBANEJA *et al.* (1999 et 2000) notent que l'action des espèces parasitoïdes autochtones (essentiellement celle de *C. brevis* et *P. pectinicornis*) joue un rôle très important dans la régulation des populations de *P. citrella* en Espagne. Selon URBANEJA *et al.* (2003), *Q. citrella* n'a pas été très efficace dans le contrôle de *P. citrella* comparativement à l'espèce indigène *C. brevis*. VERCHER *et al.* (2005) signalent en outre que parmi dix espèces de parasitoïdes indigènes, *Pnigalio* sp. et *C. brevis* ont montré des performances remarquables dans la régulation des populations de *P. citrella* ; ils ont représenté 90% de l'ensemble des parasitoïdes de la mineuse identifiés dans la région de Valence entre 1995 et 2001. A Malaga, l'inventaire du complexe parasitaire de *P. citrella* effectué par MARQUEZ *et al.* (2003), a révélé la présence de *S. petiolatus*, *C. pictus*, *C. brevis* et *P. pectinicornis* ; la première espèce citée n'a pas été introduite volontairement mais a pu s'introduire accidentellement et s'être acclimatée en Espagne à partir du Maroc.

En Sicile (Italie), LO PINTO (1997) a noté la présence de *R. incompleta* à l'Ouest de l'île, tandis que LIOTTA *et al.* (2003) ont recensé les espèces indigènes suivantes : *Apotetrastichus sericothorax*, *Cirrospilus diallus*, *Closterocerus erxias*, *Pnigalio* sp., *R. incompleta* Boucek, *C. pictus* Nees, *A. sericothorax*, *Apotetrastichus* sp., *Chrysocharis* sp. et *Neochrysocharis* sp. alors

que MINEO *et al.* (1998) et MINEO (1999) signalent les espèces suivantes : *C. pictus*, *P. agraulis*, *C. erxias*, *C. diallus*, *C. formosus*, *Apotetrastichus postmarginalis*, *S. petiolatus*, *Aprostocetus* sp., *Closterocerus delucchii* *Baryscapus* sp. (Eulophidae) et *Elasmus* sp. (Elasmidae). RIZZO (2003) note à son tour la présence des 15 espèces autochtones suivantes : *C. formosus*, *Pnigalio soemius*, *C. pentheus*, *Chrysocharis gemma*, *Pnigalio agraulis*, *C. pictus*, *R. incompleta*, *D. isaea*, *Cirrospilus variegatus*, *R. cristata*, *A. sericothorax*, *C. diallus*, *P. pectinicornis*, *A. postmarginalis* et *C. lynceus*. LIOTTA *et al.* (2003) rapportent que le niveau de parasitisme total des espèces indigènes à l'Ouest de la Sicile a dépassé les 50%, dominé par *C. pictus* avec 69,8% de l'ensemble des espèces indigènes identifiées. Les entomophages exotiques sont dominées par *S. petiolatus* et *C. phyllocnistoides*.

ELEKÇLOGLU et UYGUN (2006) ont identifié dix espèces de parasitoïdes en Turquie : *Cirrospilus brevis*, *C. pictus*, *C. variegatus*, *C. vittatus*, *Cirrospilus ingenuus*, *R. incompleta*, *D. isaea*, *S. petiolatus*, *C. phyllocnistoides*, *C. formosus*. Cinq autres sont en cours d'identification : *Neochrysocharis* sp., *Chrysocharis* sp., *Baryscapus* sp., *Pnigalio* sp. et *Pteromalus* sp.

En Jordanie, ATEYYAT (2002) a noté la présence de neuf espèces d'eulophides indigènes sur *P. citrella* : *C. ingenuus*, *C. pictus*, *P. agraulis*, *Pnigalio* spp. (2 espèces) *C. phyllocnistoides*, *R. incompleta*, *S. petiolatus* et *Zagrammozoma* sp.

En Israël, ARGOV et ROSSLER avaient répertorié en 1996 quatre parasitoïdes autochtones : *R. incompleta*, *C. brevis*, *C. pentheus* et *Pnigalio* sp., dont certains étaient déjà connus dans ce pays comme ennemis d'autres insectes inféodés aux mineuses, dont notamment les chenilles du genre *Lithocolletis*.

En Afrique du Nord, où le ravageur a été introduit depuis l'année 1994, des inventaires de parasitoïdes ont été entrepris en Tunisie, au Maroc et en Algérie. Ils ont montré aussi que l'introduction d'espèces auxiliaires exotiques pouvait avoir des conséquences négatives sur les parasitoïdes autochtones.

En Tunisie, CHERMITI *et al.* (1999) ont signalé la présence de huit espèces autochtones : sept Eulophidae (*Aprostocetus* sp., *C. pictus*, *D. isaea*, *C. formosus*, *Pnigalio* sp., *S. gregori*, *C. erxias* et un Pteromalidae (*Pteromalus* sp.). Les taux de parasitisme sur les populations de la mineuse ont atteint 24% sur les pousses estivales et 50% sur les pousses automnales (CHERMITI *et al.*, 2001). Quelques années plus tard, KHEDER *et al.* (2002) notent la présence de certaines de ces espèces au Cap Bon : *C. pictus*, *D. isaea*, *C. formosus*, *Pnigalio* sp. et *Pteromalus* sp. Selon eux,

l'impact croissant de *S. petiolatus* depuis son introduction en Tunisie, s'accompagnerait d'une réduction de celui des parasitoïdes autochtones, excepté *C. pictus*.

Au Maroc, la faune auxiliaire autochtone représentée par *Pnigalio* sp. et *C. pictus* enregistre des taux de parasitisme maximum de 50% sur le troisième stade larvaire et les prénymphe et de 20% sur les autres stades (ABASSI, 1997). Cinq espèces exotiques : *A. citricola*, *C. ingenuus*, *Quadrastichus* sp., *S. petiolatus*, et *C. phyllocnistoides* ont été introduites, élevées et lâchées dans les vergers agrumicoles entre 1995 et 2000 (RIZQI *et al.*, 2003), mais seules les deux dernières ont pu s'acclimater et sont devenues dominantes, alors que les deux espèces indigènes : *Pnigalio* sp. et *C. pictus* ont actuellement un rôle de moindre importance dans la régulation des populations du phytophage.

En Algérie, la présence de deux espèces de parasitoïdes autochtones : *C. pictus* et *Pnigalio* sp. a été signalée dès les premières années de l'apparition de *P. citrella* (BERKANI *et al.*, 1996 ; DOUMANDJI *et al.*, 1999). SAHARAOU *et al.* (2001) reportent l'existence des espèces suivantes : *C. pictus*, *C. vittatus* et *P. agraulis mediterraneus*. En plus des espèces déjà répertoriées, trois nouveaux parasitoïdes ont été signalés dès la première année d'étude (2003) dans la région de Mostaganem : *C. phyllocnistoides*, *C. formosus* et *P. pectinicornis* (BOUALEM *et al.*, 2007). Une autre espèce du genre *Pediobius*, probablement hyperparasitoïde, a également été observée (BOUALEM *et al.*, 2007).

### **2-1-3 Diversité du spectre d'hôtes des parasitoïdes de *P. citrella***

De nombreuses espèces de parasitoïdes s'avèrent capables de se développer sur la mineuse des agrumes, leur spécialisation dépendant souvent plus du mode de vie de leur hôte que de son appartenance taxonomique.

De multiples associations ont été ainsi mises en évidence par MASSA *et al.* (2001) entre les Eulophidae parasitoïdes de *P. citrella* et divers insectes hôtes de la faune locale méditerranéenne, dont les larves minent les feuilles de végétaux variés. Ces auteurs signalent douze nouvelles associations des espèces parasitoïdes indigènes et exotiques de *P. citrella* avec d'autres genres de mineuses (Tab. 5).

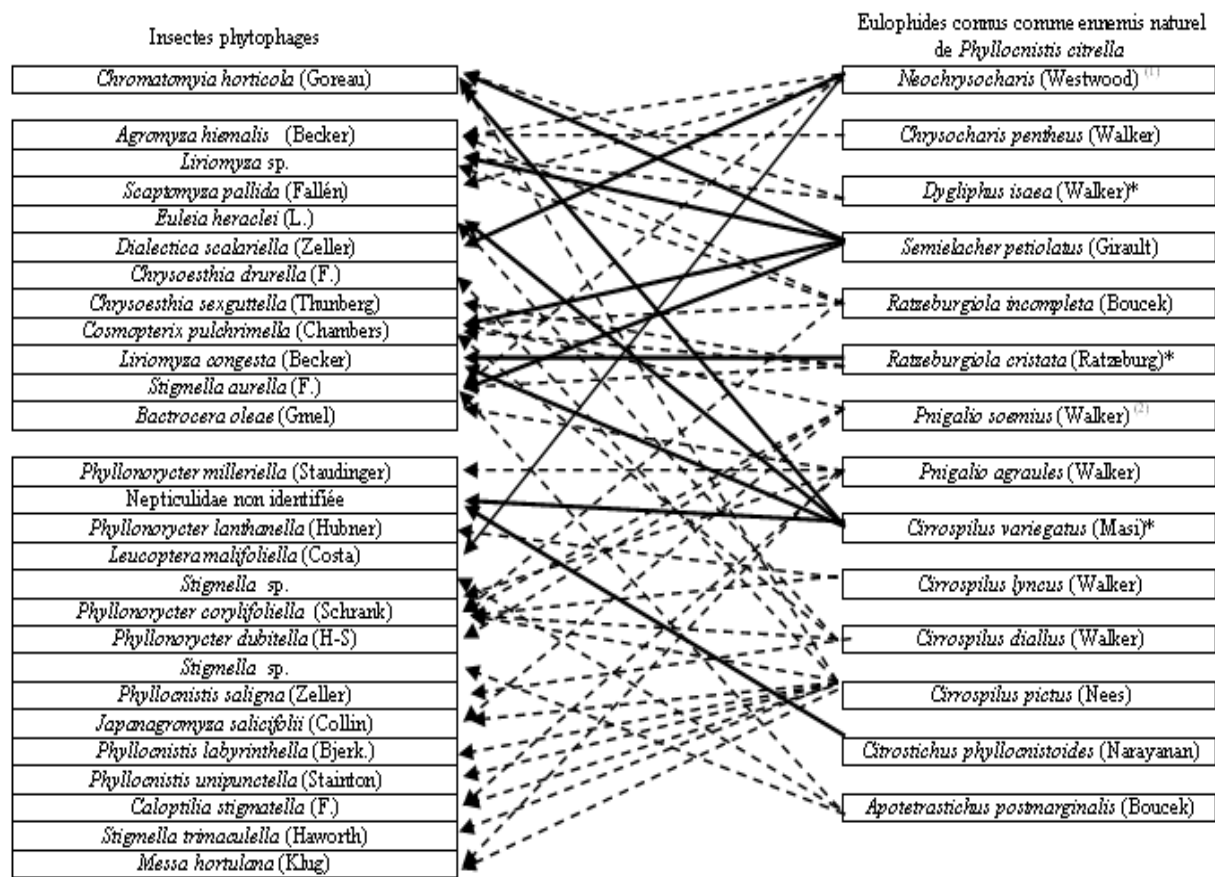
Par ailleurs, la mineuse des agrumes fut longtemps considérée comme l'unique hôte de *S. petiolatus* avant qu'il ne soit signalé sur des larves mineuses de six autres espèces : 3 Diptères Agromyzidae et 3 Lépidoptères (Cosmopterigidae, Nepticulidae, Gracillariidae) (MASSA *et al.*,

2001). De même, *C. phyllocnistoides* se développe en Inde aux dépens du Psyllidae galligène de l'Ébène, *Triozia obsoleta* (DASH et DAS, 1997), et sur des larves de Nepticulidae en Sicile et en Jordanie (MASSA *et al.*, 2001).

Parmi les auxiliaires indigènes, *P. pectinicornis* est une espèce paléarctique qui parasite les larves mineuses de très nombreux hôtes : Coléoptères, Diptères et surtout Lépidoptères (BOUCEK et ASKEW, 1968). Elle a été introduite en Nouvelle Zélande pour lutter contre un ravageur des chênes, le Gracillariidae *Phyllonorycter messaniella* (SWAN, 1973). Aux Pays-Bas, elle exerce un contrôle naturel de la Mineuse des pommiers *Phyllonorycter blancardella* (BLOMMERS et VAAL, 1996). Elle a été observée sur l'Yponomeutidae *Prays olea* en Andalousie (RAMOS et PANIS, 1975) et sur les Agromyzidae ravageurs de la luzerne en Europe (DREA *et al.*, 1982).

De même, l'espèce holarctique et afrotropicale *C. formosus* parasite également une grande variété d'hôtes. Elle s'attaque notamment aux larves des mouches Mineuses du genre *Liriomyza*, ravageuses des cultures légumières et ornementales (CABELLO *et al.*, 1994) et à celles de la mouche de l'olive, *Bactrocera* (= *Dacus*) *oleae* (BOUCEK et ASKEW, 1968).

**Tableau 5 :** Association entre les parasitoïdes Eulophides de *Phyllocnistis citrella* et d'autres insectes phytophages en Italie (d'après Massa *et al.*, 2001)



← Espèce nouvellement répertoriée

← - Association parasitoïdes hôtes d'après Caleca et al. 1997, Caleca 1998, Caleca et Lo Verde 1998; Caleca et al. Mireo et al. 1997a, b, Mineo et Simacori 1998, Rizzo et al. 1999, Massa et Rizzo (2000).

(1) Ces espèces ont été citées par Caleca *et al.* (1997) sur *Beta vulgaris*, *Scaptomyza* sp. décrit ensuite sous le nom de *Scaptomyza pallida*

(2) Ces espèces sont citées par Caleca *et al.* (1998) sur *Salix alba*, *Agromyzidae* décrite ensuite sous le nom de *Japanagromyza salicifolii*

Tous ces travaux suggèrent que la végétation environnant les vergers d'agrumes renferme de nombreuses espèces mineuses susceptibles de servir d'hôtes alternatifs aux parasitoïdes de *P. citrella*. Ces hôtes indigènes favorisent la survie et la multiplication des antagonistes autochtones et exotiques dont l'impact sur la mineuse croît ainsi d'année en année (SISCARO *et al.*, 2003).

La mise en œuvre de programmes de lutte intégrée contre *P. citrella* en Algérie, implique donc de mieux connaître la biologie et l'écologie des différentes espèces de parasitoïdes qui interviennent dans la régulation des populations de ce ravageur. Une meilleure connaissance des hôtes alternatifs de ces parasitoïdes, permettra de favoriser leurs populations grâce au maintien ou à la multiplication de leurs plantes-hôtes aux abords ou à l'intérieur des vergers, comme on le pratique déjà dans plusieurs pays pour la viticulture (MURPHY *et al.*, 1996 ; BÖLL *et al.*, 2006).

## Chapitre 3

### Dynamique des populations de *P. citrella* dans la région de Mostaganem

#### 3-1 Introduction

Les études de dynamique des populations ont pour but principal de décrire et d'expliquer les variations d'abondance des espèces dans le temps et dans l'espace. Il est nécessaire de rechercher d'une part les facteurs responsables des variations du nombre d'individus, et d'autre part, les facteurs de régulation qui concourent à maintenir la population à un niveau moyen de densité (DAJOZ, 1985). L'analyse de la dynamique des populations est un élément important de l'étude bioécologique d'un ravageur ; elle permet de connaître les principales caractéristiques de ses populations et de donner un aperçu sur leur évolution en fonction de celles de son hôte et de son complexe d'ennemis naturels. Dans ce contexte, le suivi des populations de *P. citrella* a été effectué pendant quatre années consécutives, de 2003 à 2006, dans la wilaya de Mostaganem (Ouest algérien).

#### 3-2 Matériel et méthodes

##### 3-2-1 Site expérimental

L'étude a été réalisée dans la wilaya de Mostaganem, dans le verger de *Citrus* de la ferme expérimentale du département des sciences agronomiques. Ce verger occupe une superficie de 63,24 ha. Il est enclavé entre les communes de Mostaganem au Nord, Mazagran à l'Ouest, Hassi Mamèche au Sud et Douar Djedid à l'Est (Fig. 2).

Mostaganem est une wilaya côtière, limitée au Nord par la méditerranée, à l'Est par les wilayates de Chlef et Relizane, à l'Ouest par la wilaya d'Oran et au Sud par la wilaya de Mascara (Fig. 3). Elle se caractérise par une façade maritime de 104 km et une superficie de 226 900 ha. La région, à vocation agricole, ne réserve que 30 457 ha pour l'arboriculture (Tab. 1). On distingue deux grandes zones dans la wilaya : le plateau de Mostaganem dont la superficie est de 88 629 ha (62%) avec un sol à texture généralement sablonneuse, et la plaine du Dahra, dont la superficie est de l'ordre de 55 060 ha (38%), avec des sols à texture généralement argilo limoneuse et dont la pente varie de 3 à 25%.

D'un point de vue climatique, la région se caractérise par l'irrégularité de ses précipitations, dont la moyenne annuelle dépasse rarement les 350 mm sur le plateau et avoisine les 400 mm sur le Dahra, avec une humidité relative oscillant entre 60 et 70% pendant la période estivale. Le climat à hiver doux et été chaud est caractéristique des climats semi-arides.

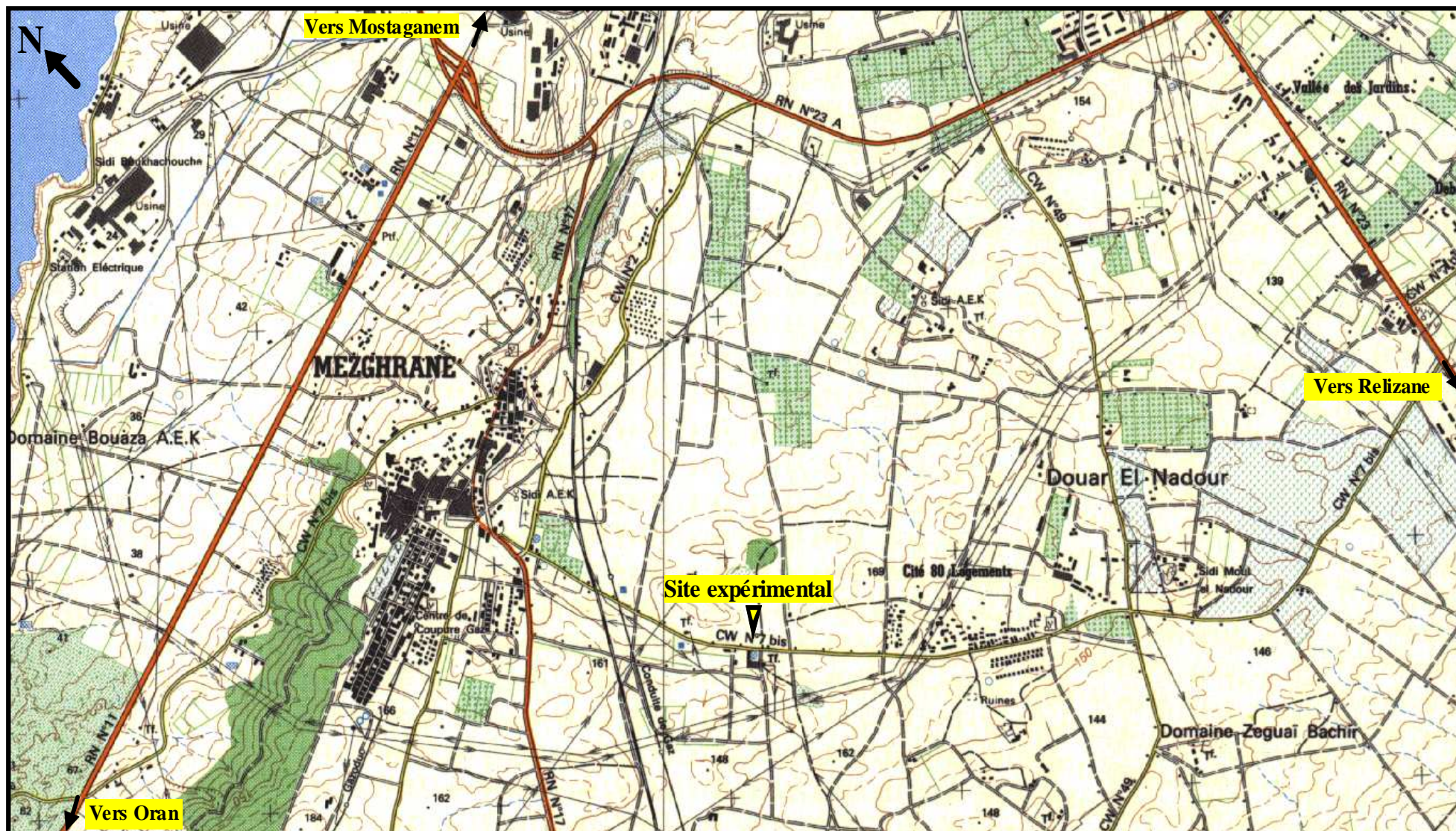


Figure 2 : carte de situation du site expérimental au 1/25000 (extrait de la carte d'état major de Mostaganem, 1960)

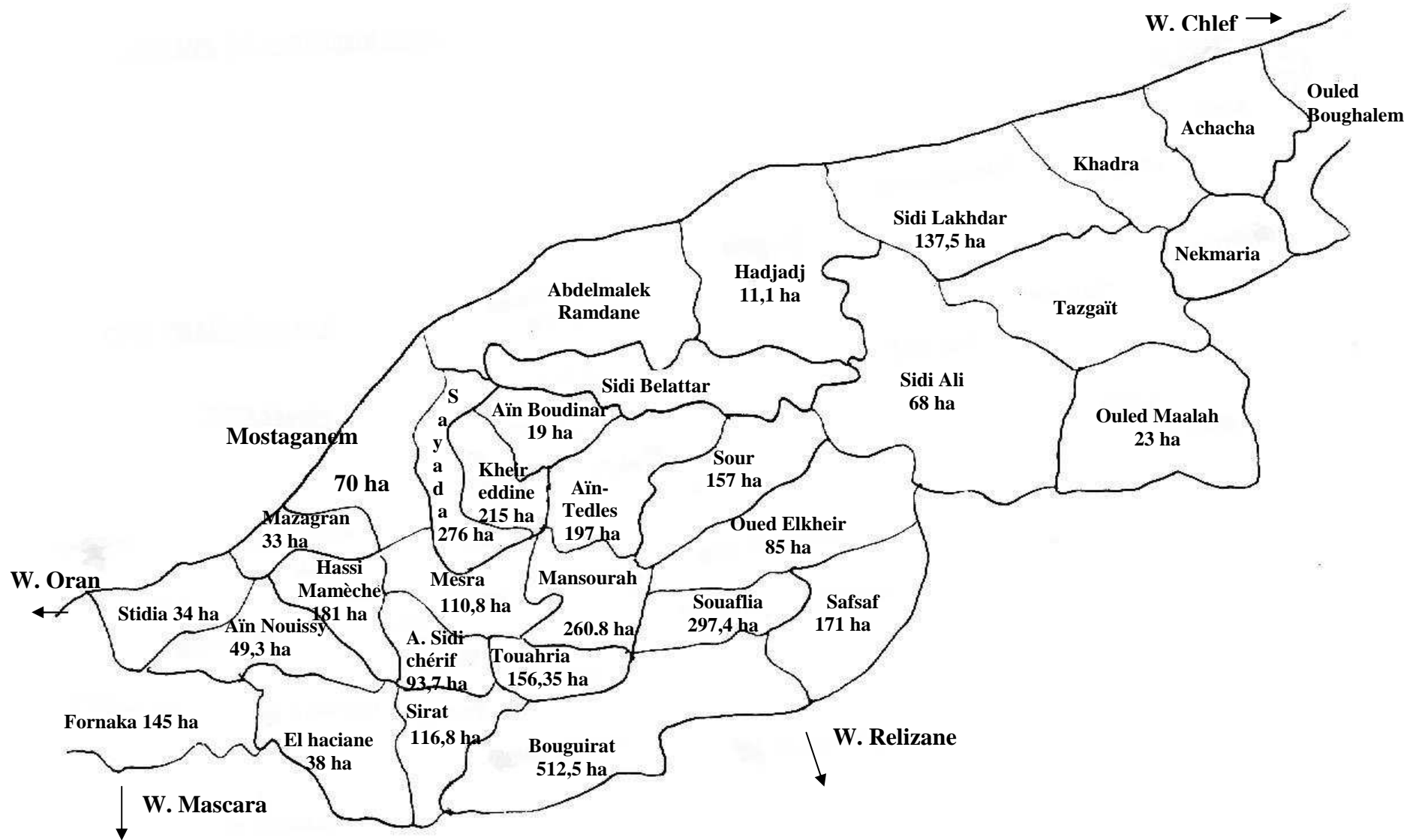


Figure 3 : Carte de la wilaya de Mostaganem (ANONYME, 2008)

### 3-2-2 Matériel biologique et échantillonnage

#### 3-2-2-1 Matériel végétal

Le verger d'étude est composé de plants de *Citrus sinensis*, un oranger de la variété Washington Navel. Les arbres choisis ont été plantés en 1990 sur une superficie de 0,60 ha ; leur taille varie entre 2 à 3 m de haut. Dix arbres ont été sélectionnés au hasard pour suivre l'évolution de *P. citrella* au cours des quatre années (2003-2006). Sur ces dix arbres, et pour chacun d'entre eux trois feuilles sont prélevées chaque semaine aux quatre points cardinaux et à trois différents niveaux : haut, milieu et bas. Les prélèvements ont concerné les deux dernières poussées de sève : la deuxième (PS<sub>2</sub>) et la troisième (PS<sub>3</sub>). La deuxième poussée de sève débute entre la fin du mois de juin et le début du mois de juillet selon les conditions climatiques de la région et l'état du verger, alors que la troisième poussée apparaît à partir du début septembre. Les feuilles prélevées au cours de chaque échantillonnage ont été soigneusement examinées pour éviter le prélèvement des feuilles de la précédente poussée végétative, les feuilles tendres de la saison étant les plus favorables à la ponte et au développement du ravageur.

360 feuilles sont récoltées pour chaque échantillonnage et examinées sous une loupe binoculaire afin de dénombrer l'effectif des différents stades pré-imaginaux de l'insecte ainsi que le nombre d'individus vivants, parasités, prédatés et morts.

#### 3-2-2-2 Matériel animal

Les différents stades biologiques de *P. citrella* ont été identifiés selon la description rapportée par BALACHOWSKY (1966), BADAWY (1967), GUEROUT (1974), KNAPP *et al.* (1995) et QUILICI (1995) (Pl. 1, 2).

**Œuf** : de forme ovale aplatie, généralement convexe, il mesure entre 0,2 et 0,3 mm de long. Translucide et semblable à une gouttelette d'eau, il est dépourvu de toute ornementation sur le chorion. Il semble souvent coloré de vert clair du fait de la couleur de la feuille infestée.

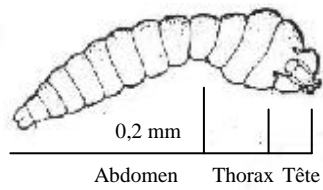
**Stades larvaires** : le développement de *P. citrella* comprend quatre stades larvaires. Les trois premiers stades diffèrent entre eux par la couleur et la taille, mais possèdent tous un appareil buccal typique des chenilles mineuses : deux mandibules aplaties dorso-ventralement en lame et finement dentées qui fonctionnent comme de minuscules scies circulaires pour creuser le tégument de la feuille. Tout en creusant sa galerie, la chenille se nourrit en aspirant la sève. Le quatrième

stade appelé prénympe est un stade inactif dont l'appareil buccal atrophié ne permet pas la prise de nourriture mais sert à creuser et à durcir la paroi de la loge nymphale dans l'épiderme de la feuille.

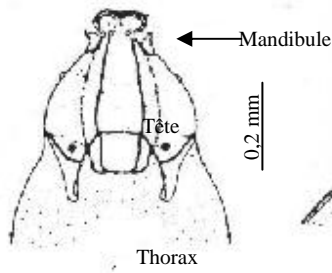
- **Premier stade** : caractérisé par une capsule céphalique plus large que le thorax et l'abdomen ; le dernier segment de l'abdomen est incisé au milieu.
- **Second stade** : se distingue par la présence de deux courts processus caudaux sur le dernier segment de l'abdomen.
- **Troisième stade** : les deux processus caudaux du dernier segment abdominal sont relativement longs.
- **Prénympe** : ce quatrième et dernier stade larvaire de la mineuse correspond à une phase de transition entre la larve active du troisième stade et la nymphe. BADAWY (1967) décrit la prénympe comme une larve sub-cylindrique à capsule céphalique aplatie, presque quadrangulaire et pourvue d'un lobe portant des pièces buccales vestigiales. Ce stade diffère des trois précédents par son appareil buccal atrophié qui ne permet aucune prise de nourriture (GUEROUT, 1974), mais qui sert par contre à produire le fil de soie nécessaire au tissage de la loge nymphale, dans laquelle aura lieu la métamorphose (BEATTIE et SMITH, 1993). La prénympe est caractérisée par un sillon épistomial, représenté par deux sillons longitudinaux allant vers la marge postérieure de la tête, ocelles absents, spinneret présent et pourvu d'un orifice relié aux glandes salivaires qui s'étendent dans la cavité du corps comme deux tubes longitudinaux enroulés en spirales.

**Nympe** : elle a la forme d'un fuseau allongé sur lequel on distingue de longues antennes qui s'étendent le long du corps et deux yeux composés apparaissant comme des points noirs de chaque côté de la tête. Les papilles labiales et les ailes antérieures portent chacune une tache ocellaire noire à leur extrémité distale tandis que le dernier segment abdominal se termine par une courte paire de processus caudaux, semblables à ceux de la prénympe.

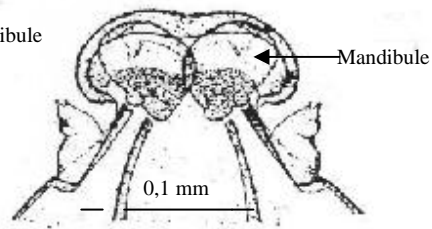
Au cours des observations, le stade œuf a toujours été très peu représenté dans les échantillonnages ; cela est peut être dû à la courte durée du développement embryonnaire et l'intervalle de la période d'échantillonnage (hebdomadaire).



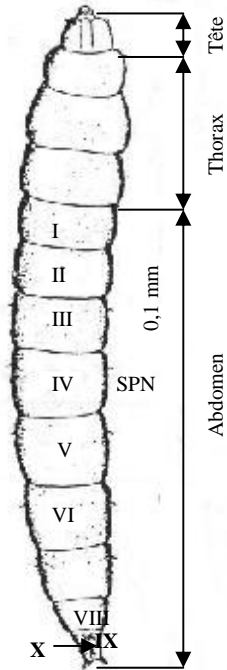
**A**



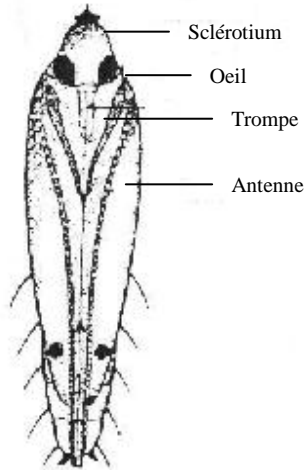
**B**



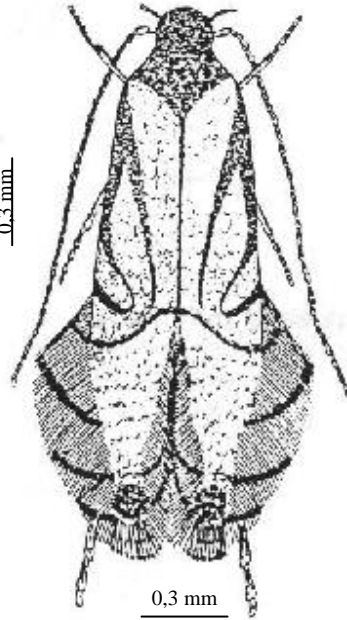
**C**



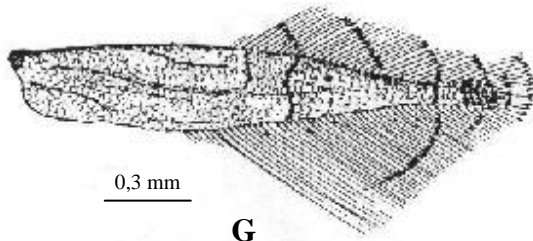
**D**



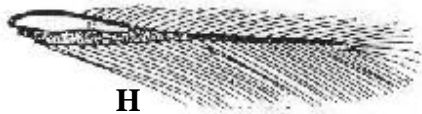
**E**



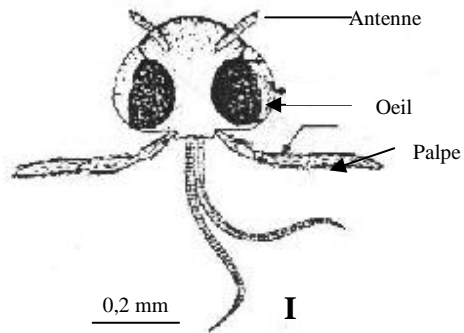
**F**



**G**



**H**



**I**

- A- Larve**
- B- Détail de la tête**
- C- Détail des pièces buccales**
- D- Prénympe**
- E- Nympe**

- F- Adulte**
- G- Aile antérieure**
- H- Aile postérieure**
- I- Tête en vue frontale**

**Planche 1 : Caractéristiques de *P.citrella* (BADAWY, 1967)**



**Œuf**



**L1**



**L2**



**L3**



**PN**



**N**



**Adulte**

**Planche 2 : Stades biologiques de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Photos originales) :**  
L1 = premier stade larvaire ; L2 = deuxième stade larvaire ; L3 = troisième stade larvaire ; PN = prénymphe ;  
N = nymphe

### 3-2-3 Les relevés climatiques

Les facteurs climatiques conditionnent l'évolution des êtres vivants, qu'ils soient d'origine animale ou végétale. Leur action intervient aux différentes phases de leur vie, du stade embryonnaire jusqu'au stade adulte.

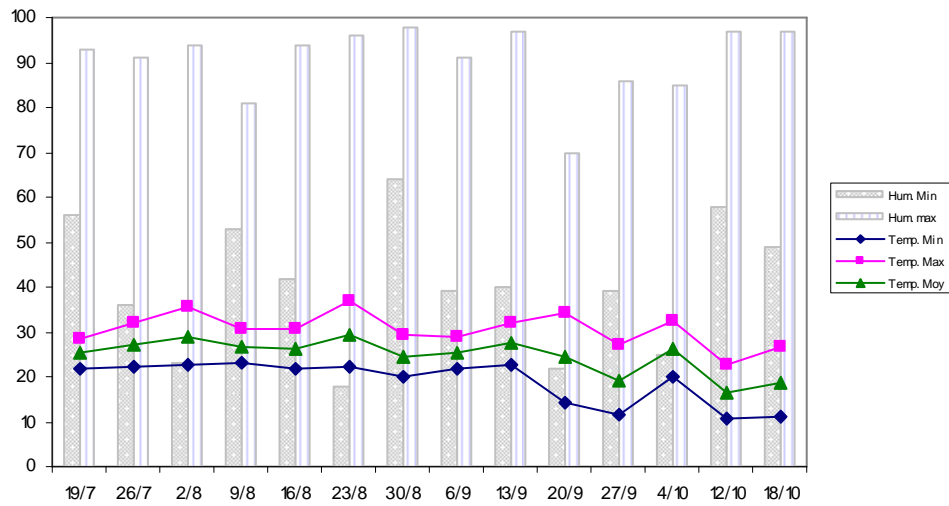
Chez les agrumes, la poussée de sève correspond à une émission de jeunes feuilles tendres dont la durée dépend des conditions climatiques, de la nature du verger (âge, entretien etc....) et de l'espèce. L'arbre émet trois poussées de sève par an : la première au printemps (PS<sub>1</sub>), la seconde en été (PS<sub>2</sub>) et la troisième en automne (PS<sub>3</sub>). L'apparition des premières feuilles de la PS<sub>1</sub> se fait généralement à la fin du mois de février pour se terminer à la mi-juin, une semaine à dix jours après apparaissent les premières feuilles de la seconde poussée de sève dont la durée est très courte ; elle est suivie par la troisième et dernière poussée de sève (PS<sub>3</sub>). C'est pendant la PS<sub>1</sub> que la floraison a lieu. L'évolution phénologique des agrumes s'avère toutefois plus au moins complexe en fonction d'autres paramètres tels que le site, l'état sanitaire de l'arbre etc....

Les relevés climatiques ont concerné la température, l'humidité relative et la pluviométrie ; ces données proviennent de la Station Régionale de l'Office National de Météorologie de la wilaya de Mostaganem. Au cours des quatre années d'étude, ces paramètres ont été notés pour chaque date d'échantillonnage.

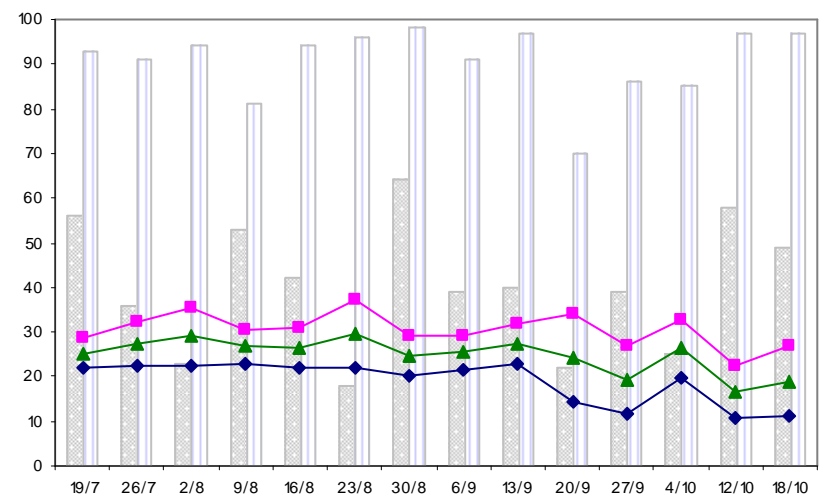
Les températures enregistrées pendant la seconde et troisième poussée de sève ont montré une variabilité saisonnière assez normale. Au cours de la PS<sub>2</sub>, les températures étaient généralement très élevées, avec des maxima dépassant 30°C. (Fig. 4). L'année 2006 a montré un été exceptionnellement chaud avec un maximum de 42,5°C en juillet (Fig. 4d). Des amplitudes thermiques maximales ont été enregistrées les 19 juillet 2003 et 19 juillet 2006 avec des écarts respectifs de 15,3 et 18,5°C (Fig. 4a-d). Des températures importantes ont également été enregistrées lors de la PS<sub>3</sub>, avec des maxima dépassant largement les 30°C en 2003, 2004 et 2005 (Fig. 4a-b-c), alors qu'en 2006 les températures ont été plus clémentes avec des maxima ne dépassant pas les 28°C. L'amplitude thermique la plus élevée a été enregistrée au cours des années 2003 et 2006, avec des écarts respectifs de 17,2°C (27/09/03) et 18,9°C (16/11/06) (Fig. 4a-d).

L'humidité relative a été très élevée (Fig. 4), atteignant des maxima de 100% au cours de la PS<sub>2</sub> de l'année 2006 et la PS<sub>3</sub> de l'année 2003 (Fig. 4a-d). L'hygrométrie moyenne à chaque prélèvement d'échantillons a toujours été supérieure à 60% (Fig. 4d), ce qui est normale pour une ville côtière.

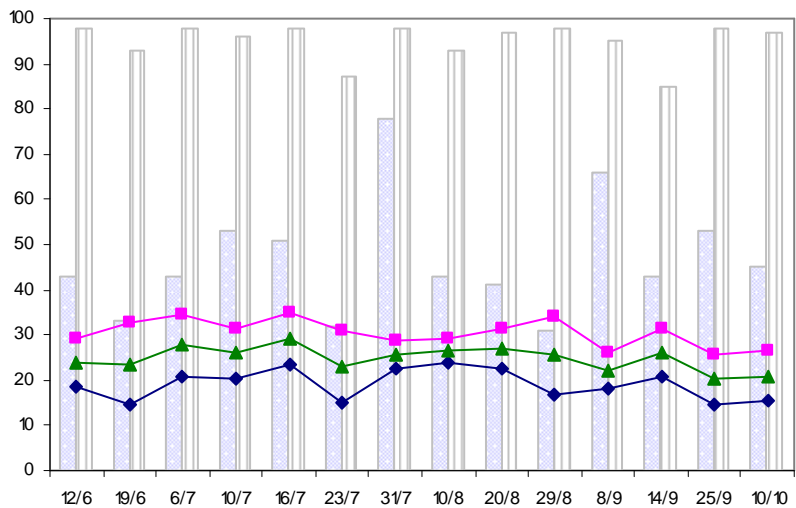
La pluviométrie a été calculée par décade, du mois de juin au mois de novembre. Les précipitations sont restées faibles durant toute la période d'étude (Fig. 5), notamment pendant la période estivale où la sécheresse a été très présente. C'est en automne (octobre et novembre) et pendant la PS<sub>3</sub> que les pluies ont été observées. Ceci est une caractéristique de l'étage bioclimatique semi-aride auquel appartient la région de Mostaganem.



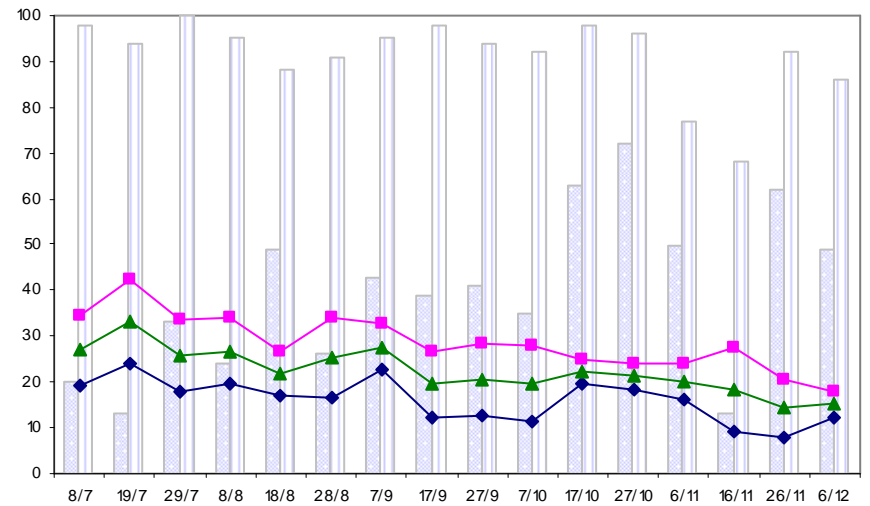
**a**



**b**

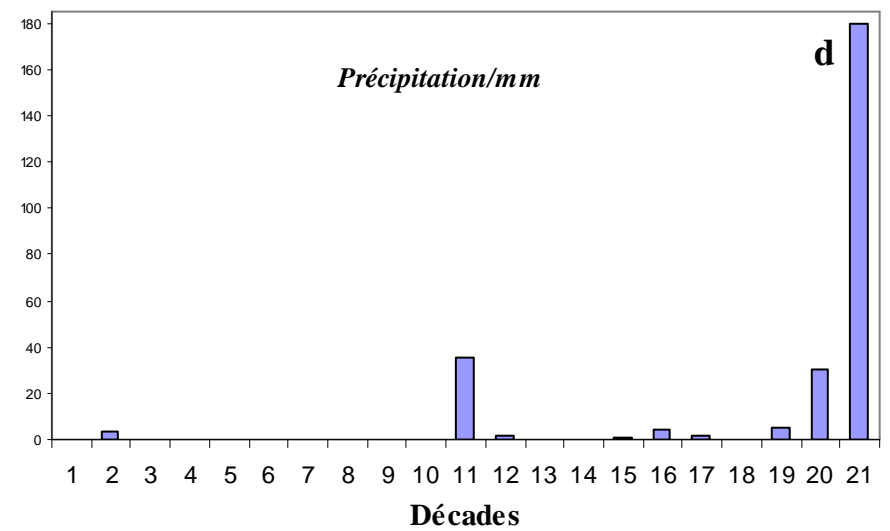
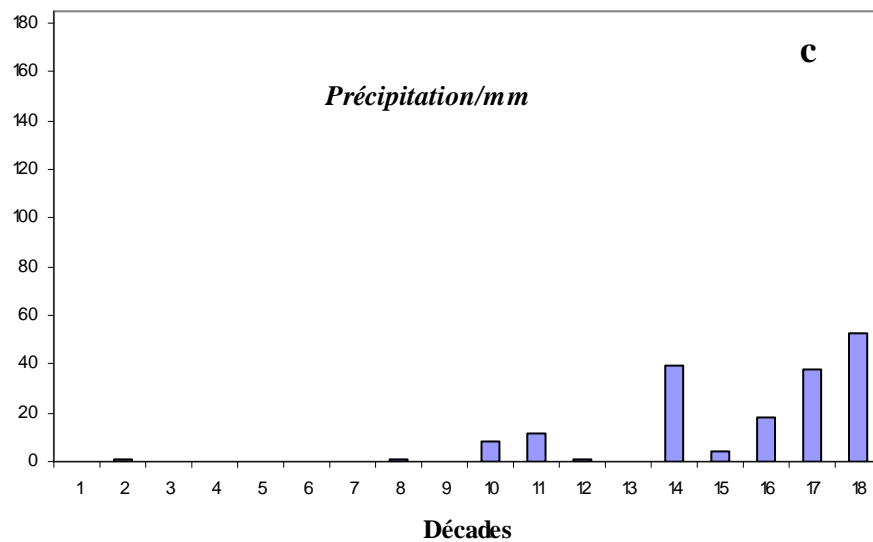
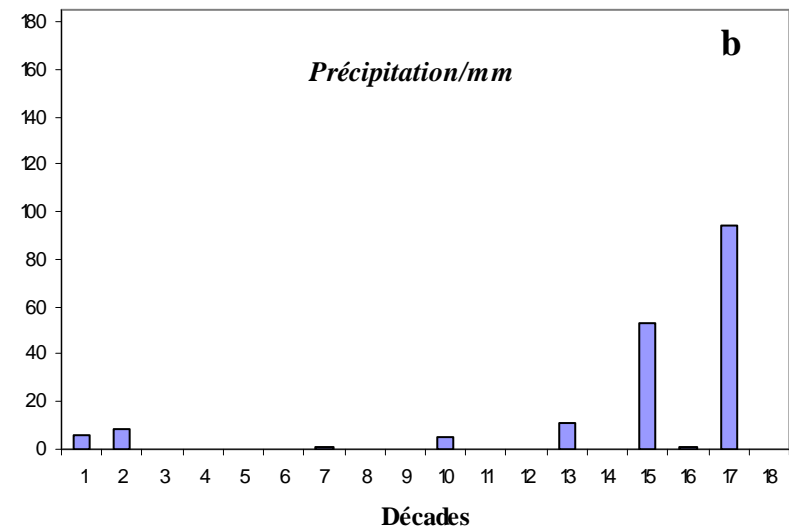
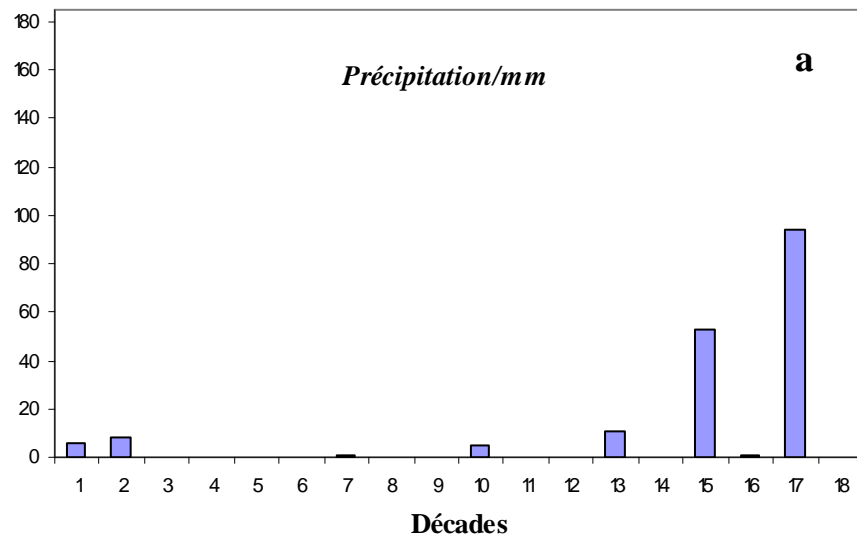


**c**



**d**

**Figure 4 : Température et humidité relative du site d'étude de 2003 à 2006  
(a: 2003- b : 2004- c : 2005- d : 2006)**



**Figure 5 : Précipitations par décades au cours des quatre années d'étude  
(a: 2003- b: 2004- c: 2005- d: 2006)**

### 3-2-4 Formules de calcul utilisées :

Taux d'infestation :  $TI = \frac{\text{Nombre de feuilles infestées}}{\sum \text{des feuilles échantillonnées}} \times 100$

Taux de mortalité :  $Tm = \frac{\text{Nombre d'individus morts}}{\sum \text{des individus dénombrés}} \times 100$

Taux de parasitisme :  $Tp = \frac{\text{Nombre d'individus parasités}}{\sum \text{des individus dénombrés}} \times 100$

Taux de prédation :  $Tpr = \frac{\text{Nombre d'individus prédatés}}{\sum \text{des individus dénombrés}} \times 100$

Effectif moyen d'œufs par feuille :  $W/fe = \frac{\text{Nombre d'œufs}}{\sum \text{des feuilles échantillonnées}}$

Effectif moyen de larves par feuille :  $XL/fe = \frac{\text{Nombre de larves (L1, L2, L3 et PN)}}{\sum \text{des feuilles échantillonnées}}$

Effectif moyen de nymphes par feuille :  $N/fe = \frac{\text{Nombre de nymphes}}{\sum \text{des feuilles échantillonnées}}$

Proportion d'œufs :  $PW = \frac{\text{Nombre d'œufs}}{\sum \text{des individus dénombrés}} \times 100$

Proportion de larves :  $PL = \frac{\text{Nombres de larves (L1, L2, L3 et PN)}}{\sum \text{des individus dénombrés}} \times 100$

Proportion des nymphes :  $PN = \frac{\text{Nombre des nymphes}}{\sum \text{des individus dénombrés}} \times 100$

### 3-3 Résultats et discussion

#### 3-3-1 Taux d'infestation

##### 3-3-1-1 Conditions d'échantillonnage

Lors des précédents travaux (BOUALEM, 2002), les niveaux des infestations de *P. citrella* étaient très élevés en particulier pendant la deuxième et troisième poussée de sève, où ils ont atteint souvent des valeurs de 100% (Fig. 7). D'autres auteurs tels que ARGOV et ROSSLER, (1996) ; CALECA et LO VERDE (1997) ; BERKANI et MOUATZ (1998) ; LEGASPI *et al.* (1999) ; URBANEJA *et al.* (2000) ; LO PINTO et FUCARINO (2000) ; SAHARAOU *et al.* (2001) ; GARCIA-MARI *et al.* (2004) ; MAFI et OHBAYASHI (2004) ; GREVE et REDAELLI (2006) signalent également de fortes infestations de *P. citrella* sur la poussée de sève estivale et automnale, alors que les infestations sont pratiquement absentes sur les pousses de printemps. GRANDA (2000) signale que sous les conditions climatiques méditerranéennes, la poussée de sève estivale qui représente 20 à 30% de la production annuelle est complètement infestée alors que la poussée printanière qui représente 70 à 80% de la totalité des feuilles émises durant l'année est totalement épargnée (URBANEJA *et al.*, 2001a).

Les observations ont été effectuées sur les deux dernières poussées de sèves (PS2 et PS3) cela pour toute l'étude. L'apparition des seconde et troisième poussées de sève entre 2003 et 2006 est consignée dans le tableau 6.

**Tableau 6 :** Date d'apparition des poussées de sève d'été et d'automne par année

<b>Année</b>	<b>PS<sub>2</sub></b>	<b>PS<sub>3</sub></b>
2003	21/06	06/ 09
2004	20/06	05/09
2005	19/06	8/09
2006	20/06	7/09

### 3-3-1-2 Résultats

Le suivi de la dynamique des populations de *P. citrella* au cours des quatre années a révélé des taux d'infestations relativement important.

La première année, les taux sur la seconde poussée de sève ont varié de 67,5% (minimum) le 9 juillet à 97,4% (maximum) noté le 26 août (Fig. 6a). Par contre, au début de la troisième poussée, les contaminations ont été importantes atteignant un maximum de 86,5% le 16 septembre, pour regrésser par la suite enregistrant 54,1% le 30 octobre (Fig. 6a). Sur la PS<sub>2</sub> les températures ont été variables, en effet, un maximum de 38,6°C a été enregistré le 19 juillet alors qu'un minimum de 16°C a été relevé le 26 août ; par ailleurs sur la PS<sub>3</sub>, un maximum de 30,8°C et un minimum de 13,5°C ont été noté respectivement les 27 septembre et 08 octobre (Fig. 4a). Les températures enregistrées correspondent au seuil de développement de la mineuse compris entre 12,2 et 46°C comme signalé par GUEROUT (1974). Au cours de cette période, les amplitudes thermiques ont atteint le maximum le 19 juillet avec 15°C et 17°C le 27 septembre (Fig. 4a).

L'évolution des contaminations en 2004 a été semblable à celle de l'année précédente (Fig. 6b) avec des taux maximum de 96,6% sur la pousse d'été au cours du mois de juillet et 95% au mois d'août, alors que les températures ont atteint des minima de 21,8°C (19/07) et 20°C (30/08) et des maxima de 32,1°C (26/07) et 37°C (23/08) (Fig. 4b). Les infestations enregistrées sur les pousses automnales (Fig. 6b) ont atteint des maxima de 86,3% le 27 septembre et 76,3% le 4 octobre, tandis que les températures extrêmes ont varié de 34,2°C le 20 septembre à 10,6°C le 12 octobre (Fig. 4b). La baisse des températures observées entre septembre et octobre avec des écarts thermiques de 20°C et 15,7°C (Fig. 4b) pourrait expliquer le faible taux de contamination observé à partir du mois d'octobre.

Pendant l'année 2005, *P. citrella* a montré une faible activité au début de la deuxième poussée de sève. Les taux d'infestation qui atteignaient 10 à 13% au cours du mois de juin (Fig. 6c), sous une température moyenne de 23,6°C et un taux d'humidité de 63% à la date du 19 juin, ont fortement augmenté au cours de l'été ; en effet, Ils ont atteint un maximum de 89,4% en juillet et 99% en août, pour des température et des HR maximales de 34,9°C et 98% en juillet et 33,9°C et 98% en août (Fig. 4c). Sur les pousses d'automne, le taux d'infestation est resté plus au moins stable, oscillant entre 80 à 90% (Fig. 6c), ce qui semble indiquer une activité régulière des adultes de l'insecte en raison des conditions climatiques relativement favorables. Les températures minimales et maximales enregistrées pendant cette phase végétative variaient entre 14,8°C et

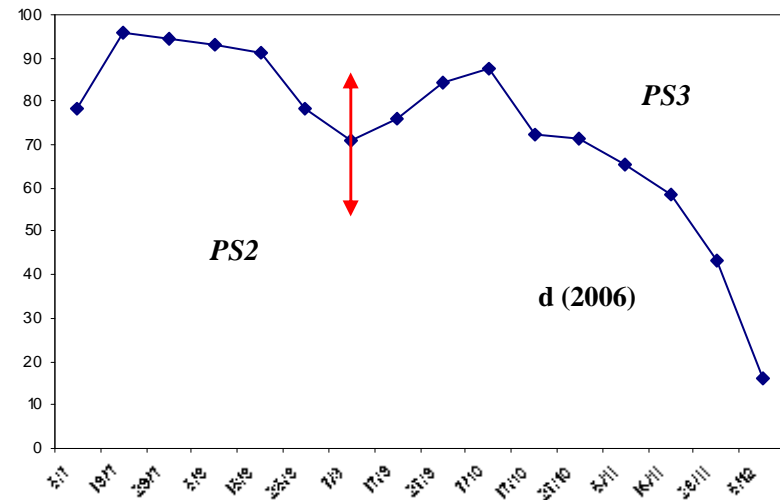
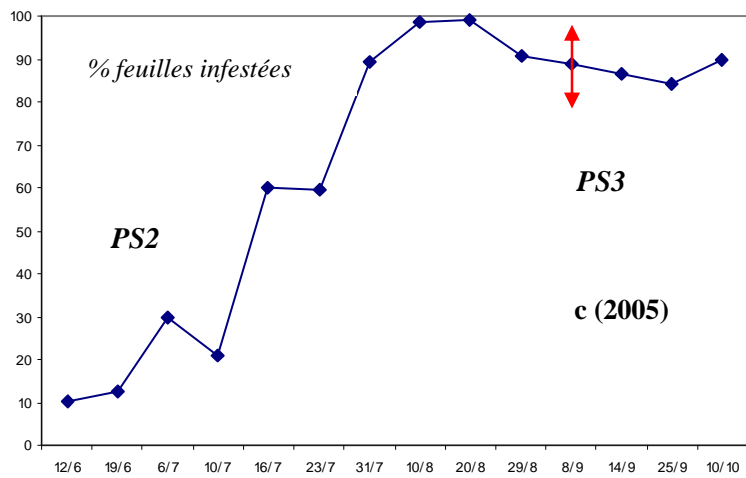
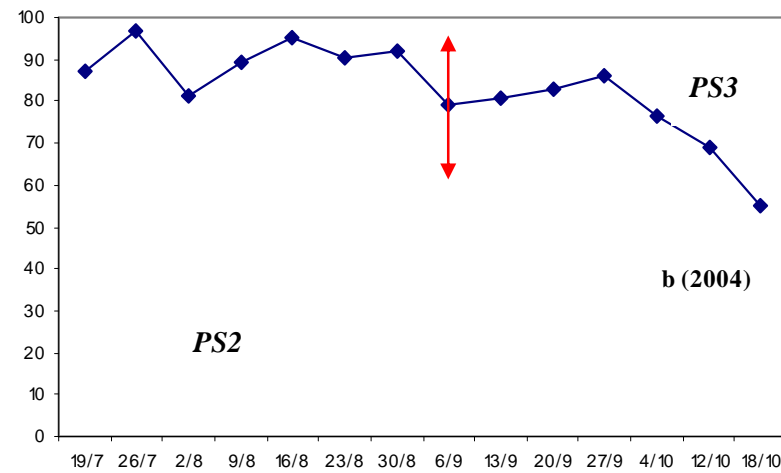
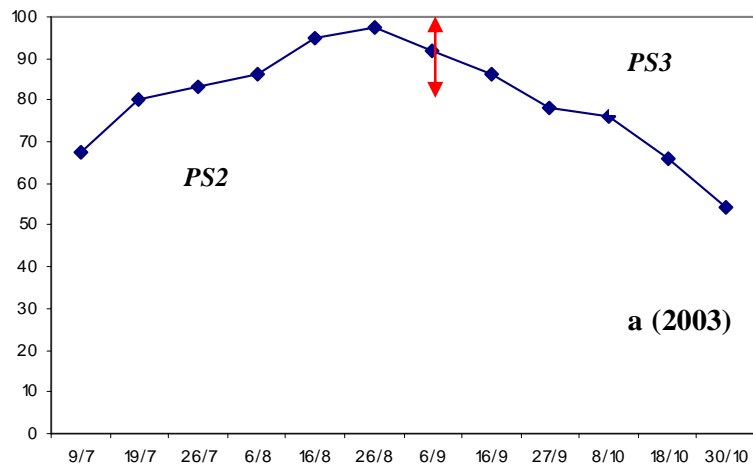
31,5°C (Fig. 4c), ce qui correspond aux limites thermiques du seuil de développement de *P. citrella* (GUEROUT, 1974).

Les taux d'infestation en 2006 ont été également élevés (Fig. 6d). C'est ainsi qu'il a été observé sur la PS<sub>2</sub> un maximum de 96% en juillet et un minimum de 71,2% en septembre ; sur la PS<sub>3</sub>, le maximum a atteint 87,7% le sept octobre et le minimum 16,3% le six décembre. Les conditions climatiques de l'année 2006 ont été assez particulières (Fig. 4d) : l'été a été très chaud avec, pour la PS<sub>2</sub> un maximum de 42,5°C le 19 juillet et pour la PS<sub>3</sub>, un minimum de 7,8°C le 26 novembre. L'humidité relative a présenté des taux moyen élevés avec un maximum de 84% noté le 27 octobre.

### **3-3-1-3 Discussion**

Les taux d'infestation enregistrés au cours des quatre années ont été relativement importants. Les infestations les plus fortes ont été observées sur les pousses d'été, avec des maxima dépassant les 96% en juillet 2004 et 2006 et supérieur à 97% en août 2003 et 2005 (Fig. 6). Sur la poussée automnale, les taux d'infestation ont été dans l'ensemble moins élevés enregistrant des valeurs extrêmes dépassant 86% en septembre 2003 et 2004 et plus de 87% en octobre 2005 et 2006 (Fig. 6).

L'analyse de ces résultats fait ressortir une évolution irrégulière des populations de la mineuse au cours des quatre années du suivi, avec des maximums plus tardifs en 2004 et 2006 et une activité importante au cours de la deuxième poussée de sève. Le même constat a été observé par MAFI et OHBAYASHI (2004) au Japon où les infestations de *P. citrella* ont atteint deux pics, l'un en juillet et l'autre en octobre, correspondant aux deux dernières poussées de sèves de l'année (PS<sub>2</sub> et PS<sub>3</sub>). En Sicile (Italie), CALECA et LO VERDE (1997) rapportent que la poussée de printemps est épargnée par les infestations de *P. citrella*, les contaminations ne débutant qu'à partir de la deuxième quinzaine du mois de juin. De même, LO PINTO et FUCARINO (2000) signalent qu'en Sicile la mineuse des feuilles des agrumes est active pendant les mois d'été et d'automne.



**Figure 6 : Taux d'infestation de *P. citrella* pour les quatre années d'étude (a, b, c, d)**  
 Les flèches verticales indiquent le début de la troisième poussée de sève (PS<sub>3</sub>)

L'importance des infestations sur la poussée d'été pourrait être en relation avec les conditions climatiques de la période estivale qui favorisent le développement du phytophage avec des températures minimales plus au moins élevées et particulièrement favorables, ayant pour conséquence une croissance plus rapide des différents stades biologiques de l'insecte et par conséquent une durée de développement plus courte. Dans les conditions naturelles, la durée du cycle biologique de *P. citrella* varie en fonction des conditions climatiques locales. Ainsi, pour une température moyenne de  $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$  le cycle pré-imaginal de la mineuse en Algérie est de 12,57 jours (BERKANI, 1999) tandis qu'à l'Île de la Réunion, il dure 13 à 15 jours sous des températures comprises entre 27 et  $30^{\circ}\text{C}$  (QUILICI *et al.*, 1995). De même il a été constaté que la masse végétative produite par l'arbre en été est plus faible que celle du printemps et de l'automne. De ce fait, le nombre de feuilles infestées devient plus important, ce qui explique que, lors du dénombrement, presque toutes les feuilles prélevées portent au moins une mine. En été les conditions climatiques ont été favorables au développement de *P. citrella*, puisque ils étaient compris dans le seuil de développement du ravageur entre 12,2 et  $46^{\circ}\text{C}$  comme signalé par GUEROUT (1974).

Si l'on compare ces résultats avec les travaux antérieurs (BOUALEM, 2002), on constate nettement la baisse de l'activité de *P. citrella* les dernières années. Sur le même site et pour la même espèce agrumicole, les taux d'infestation avaient atteint 100% sur la PS<sub>2</sub> de l'année 1999 en juillet et août et de l'année 2000 en août, et ont dépassé 88% sur la PS<sub>3</sub> en septembre et octobre de l'année 1999 et 2000 (Fig. 7), alors que les conditions climatiques étaient très proches de celles relevées au cours de la période 2003-2006.

Dans les pays où l'invasion de *P. citrella* est récente, des taux d'infestation importants ont été observés.

Selon CHERMITI *et al.* (2001), en Tunisie, les taux d'infestation de la mineuse en 1996 et 1997 sur 69 vergers étudiés étaient compris entre 66 et 100% pour la première année et 87 et 100% pour la seconde année.

De même en Espagne, les taux de contamination observés étaient de 30% pendant le premier mois ayant suivi l'introduction de *P. citrella* et de 90% par la suite (URBANEJA *et al.*, 2000).

Au Mexique, les taux d'infestation observés en 1995 dans trois régions différentes atteignaient en moyenne 7,03% entre février et avril, 54,3% entre mai et juillet, 67,6% entre août et octobre et 72,5% entre novembre et décembre (LEGASPI *et al.*, 1999).



### **3-3-2 Evolution des effectifs de *P. citrella* (2003-2006)**

L'évolution des populations de *P. citrella* dépend du milieu dans lequel elle vit, de l'hôte et de la vitalité de ses différents stades biologiques.

Pour chaque date d'échantillonnage, l'abondance relative des différents stades : œuf, larves (L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> et prénymphe) et nymphe, ainsi que les effectifs moyens par feuille de chacun de ces stades ont été calculés dans le but de suivre l'évolution des populations dans le temps et en fonction des conditions climatiques locales.

La comparaison des résultats des élevages réalisés par divers auteurs dans différents pays et sous différentes conditions de température (Tab. 7) a permis de constater que la durée de développement des larves (tous stades confondus : 1-4) est, à une exception près du même ordre que celle des nymphes (KURISAKI, 1920). Dans de nombreux cas correspondant à des conditions de températures voisines de celles observées dans la région de Mostaganem, le développement larvaire dure entre 10 et 15 jours, ce qui correspond approximativement à l'intervalle séparant deux prélèvements ; c'est pourquoi, l'évolution des populations de la mineuse a été étudiée en comparant l'effectif des larves tous stades confondus avec celui des nymphes. La courte durée de développement (quelques jours) des œufs et de chacun des stades larvaires ne permet pas d'analyser l'évolution de leurs effectifs à partir d'échantillons prélevés avec un intervalle de plus d'une semaine.

Le nombre de générations au cours de la période d'étude a été évalué en comparant les variations d'effectif des nymphes à celles de l'effectif cumulé des œufs et des larves du premier stade (L<sub>1</sub>). Du fait de leur morphologie, de leur couleur et de la courte durée du développement embryonnaire (Tab. 7), l'œuf est un stade difficile à observer, et de ce fait les effectifs ont été certainement sous-estimés, alors que les L<sub>1</sub> sont facilement identifiables. Une baisse des populations des nymphes, suivie par une augmentation significative des effectifs cumulés des œufs+L<sub>1</sub> indique l'apparition d'une nouvelle génération de l'insecte.

**Tableau 7 :** Durée (jours) des différents stades de développement de *P. citrella* selon les conditions d'élevage (ANONYME, 1998)

<i>Stade</i>	<i>Ba-Angood 1977, 1978</i>				<i>Kurisaki</i>	<i>Sabine</i>	<i>Wilson</i>	<i>Huang et</i>	
	<i>7,3–38°C</i>	<i>20°C</i>	<i>25°C</i>	<i>30°C</i>	<i>1920</i>	<i>1971</i>	<i>1991</i>	<i>al. 1989</i>	
						<i>fluctuation</i>	<i>~33°C</i>		
<i>oeuf</i>	2–6	9,5	7,5	5,2	3,5	9	3	2–4	0,5–10,5
<i>larve</i>	7–8	18,5	15,6	12,5	10,4	20	5–6	6–7	3,0–49,5
<i>nymphes</i>	8,9	19,5	16,6	10,3	9,2	9	6	6–7	3,5–17
<i>œuf à l'adulte</i>	18	47,5	39,7	28	23,1	38	14–17	14–18	11–33

### 3-3-2-1 Résultats

Tout un ensemble de facteurs a permis de mettre en évidence le nombre des générations développées par la mineuse des agrumes. Celles-ci dépendent en premier lieu de l'évolution phénologique de la plante hôte ; en effet, l'insecte montre une préférence pour les jeunes feuilles tendres. La présence de ces jeunes feuilles est favorable à la ponte et au développement des larves nouvellement écloses (KNAPP *et al.*, 1995 ; SOHI et SANDHU, 1968). Les conditions climatiques et divers facteurs biotiques (insectes et autres antagonistes, état sanitaire et capacité de résistance du végétal, etc...) interviennent ensuite sur l'évolution des populations du phytophage.

En 2003, l'équivalent de 7 517 individus ont été collectés en douze relevés (du 09/07 au 30/10) (cf. Annexe 1). La courbe d'abondance relative des premiers stades (W+ L<sub>1</sub>) par rapport aux nymphes, permet de distinguer quatre générations qui se chevauchent (Fig. 8a) : deux sur la PS<sub>2</sub> avec un nombre moyen de nymphes de 0,65 individus par feuille (I/F), correspondant à des proportions de l'ordre de 52,4% le 9 juillet ; 0,97 I/F soit 44,5% de l'effectif total observé le 16 août et enfin un maximum d'individus des premiers stades (W+ L<sub>1</sub>) observé le 8 octobre sur la PS<sub>3</sub> avec une moyenne de 0,7 I/F, équivalent à un taux de 40,2% de l'ensemble de la population échantillonnée. Les prémices de la quatrième génération sont visibles le 30 octobre avec des parts de 30,7% soit 0,31 I/F représenté par les W+L<sub>1</sub> (Tab. 8). Le cumul des oeufs et des larves du premier stade (L<sub>1</sub>) semble évoluer inversement à l'effectif des nymphes ; en effet, l'abondance des premiers (W+L<sub>1</sub>) indique souvent une faible population des seconds (N), ces trois stades se situent aux deux extrêmes c'est-à-dire au début (W+L<sub>1</sub>) et à la fin (N) d'une génération.

L'analyse de ces résultats a permis de mettre en évidence la présence de quatre générations successives (Fig. 7a) :

Deux générations sur la seconde poussée de sève :

- la première s'étalant du début à fin juillet ;
- la seconde du 06 au 26 août ;

Deux générations sur la troisième poussée de sève :

- la troisième génération du début à fin septembre ;
- les prémices de la quatrième sont visibles à partir du mois d'octobre.

Les effectifs de la mineuse sont à leur maximum à la fin de la seconde poussée de sève (26/08) atteignant une moyenne de 3,42 I/F (dont 2,19 larves et 1,22 nymphes). Pendant la PS<sub>3</sub>, le niveau des populations des différents stades a baissé avec 1,74 I/F dont 1,58 larves au début du mois d'octobre.

Les moyennes de température enregistrées ont varié en été (PS<sub>2</sub>) entre un maximum de 30,95°C et un minimum de 23,5°C enregistré respectivement les 19 juillet et 26 août, alors que durant l'automne (PS<sub>3</sub>) les températures moyennes ont oscillé entre 22,2°C le 27 septembre et 18°C le 18 octobre (Fig. 4a).

**En 2004**, les 14 échantillonnages effectués (du 19/07 au 18/10) ont permis de dénombrer 9238 individus.

L'analyse des données fait ressortir deux pics sur la seconde poussée de sève, le premier noté le 26 juillet avec une moyenne de nymphes de 0,5 I/F correspondant à 45,5% de l'effectif total et le second le 23 août avec 1,45 I/F et des parts de l'ordre de 42,9% (Tab. 9). En ce qui concerne la PS<sub>3</sub> l'association des embryons et des larves du premier stade sont à leur maximum le 06 septembre avec une moyenne de 0,6 I/F ce qui constitue 29,9% de l'ensemble de l'effectif dénombré (Tab. 9), les populations nymphales se sont signalées le 18 octobre avec un taux de 44,4% soit l'équivalent de 0,2 I/F (Fig. 8b).

Comme pour l'année précédente, quatre générations ont été dénombrées (Fig. 8b).

Deux sur les pousses d'été :

- la première du 19 juillet au 02 août ;
- la seconde du 9 au 30 août.

Deux sur les pousses d'automne :

- une de fin août à fin septembre ;
- alors que la seconde apparaît à partir du début du mois d'octobre et se prolonge au-delà de la période d'échantillonnage.

Les populations des différents stades de la mineuse ont atteint leur maximum à la fin des pousses d'été (PS<sub>2</sub>), avec une moyenne de 3,38 I/F notée le 23 août, tandis que le nombre de larves par feuille passe de 1,93 I/F le 23/08 à 2,03 le 30/08. La génération suivante débute avant l'apparition de la PS<sub>3</sub> dont l'effectif se stabilise au tour de 2 I/F pendant le mois de septembre atteignant 2,43 I/F observée le 13/09. Au début octobre s'amorce une nouvelle génération avec un effectif réduit (moins de 1 I/F) et dont les nymphes ont représentée 44,4% le 18 octobre. Les adultes ayant émergé sont probablement à l'origine d'une nouvelle génération avant d'entrer en hibernation. En effet, pour la mineuse, l'hibernation a lieu au stade adulte (CLAUSEN, 1931, AYOUB, 1960, HAMAMURA, 1980). BALACHOWSKY (1966) signale en outre que l'adulte des Gracillariidae peut supporter des températures persistantes de -40°C à l'extrême Nord de l'Europe et en Sibérie ; il note par ailleurs, qu'en Arabie Saoudite, les adultes de *Phyllocnistis citrella* hibernent et apparaissent dans les plantations généralement tôt au printemps. GARRIDO (1995) signale qu'en Espagne la chrysalide est le stade le plus résistant aux basses températures. LIM *et al.* (2006) rapportent par contre qu'en Floride, *P. citrella* hiberne au stade immature à l'intérieur des rares pousses tendres qui apparaissent pendant l'hiver. Dans ce même pays, KNAPP *et al.* (1995) avaient suggéré auparavant de supprimer les pousses d'hiver ce qui, en combinaison avec les basses températures, pourrait entraîner une baisse des populations au printemps.

Pendant cette année, la température moyenne a atteint un maximum de 29,5°C (23/08) pendant la PS<sub>2</sub> et 27,4°C (13/09) pour la PS<sub>3</sub>, tandis que l'humidité relative moyenne était de l'ordre de 81% le 30 août (PS<sub>2</sub>) et 77,5% le 12 octobre (PS<sub>3</sub>) (Fig. 4b).

**En 2005**, plus de 11 280 individus ont été prélevés pour l'ensemble des échantillonnages réalisés du 12 juin au 10 octobre. Pendant cette période, différents pics ont été observés aussi bien pour les œufs, les L<sub>1</sub> et les nymphes. Comme pour les années précédentes, les nymphes et le cumul des œufs et des larves du premier stade ont évolué conformément à la logique. En effet, la baisse de l'effectif des nymphes entraîne une augmentation de celui des œufs et des L<sub>1</sub>. Ceci s'explique par une émergence massive des adultes qui se mettent à pondre d'où un affaiblissement des densités des nymphes et une augmentation de celle des œufs et des L<sub>1</sub>. Ces derniers indiquent le début d'une génération, alors que les premiers (N) signalent la fin. La figure 8c, fait ressortir trois maximum pour les nymphes : 1,11 I/F (82,2%), 1,03 I/F (45,2%) et 1,7 I/F (61,2%) observés respectivement les 19 juin, 23 juillet et 20 août (Tab. 10). Il en est de même pour le cumul des œufs et des L<sub>1</sub> avec des proportions maximales de 43,5% et 38,5% le 16 et 31 juillet, de 40,7% et 20,6% les 8 septembre et 10 octobre (Tab. 10).

L'abondance relative des premiers stades et comparativement aux nymphes permet de distinguer à nouveau 4 générations (Fig. 8c) :

Trois sur les pousses d'été :

- la première a évolué entre le 12 juin au 06 juillet ;
- la seconde du 16 juillet au 10 août ;
- la troisième du 10 août au 29 août ;

Une génération sur les pousses d'automne :

- la quatrième qui a débuté en septembre pour s'achever au-delà de la période d'échantillonnage.

Le nombre total d'individus par feuille a culminé à quatre reprises : les 06 et 31 juillet, et le 08 et 25 octobre avec dans l'ordre 2,29, 2,34, 3,51 et 4,09 I/F. Les moyennes ont régressé par la suite atteignant 0,84 I/F le 10 octobre. Les conditions climatiques pendant toute cette période se sont caractérisées par une température moyenne de 29,1°C le 16 juillet et 26,2°C le 14 septembre, alors que l'humidité relative n'a pas trop varié, se stabilisant à 98% (Fig. 4c). Ces conditions ont été favorables au développement des populations de l'insecte comparativement aux années précédentes.

**En 2006**, 8268 individus (dont 7 567 larves) ont été collectés du 08 juillet au 06 décembre. Les proportions larvaires maximales enregistrés au cours de cette année sont : 92%, 96%, 97% et 98% correspondant à des moyennes de 2,76 I/F, 2,39 I/F, 1,54 I/F et 1,55 I/F notés respectivement les 19 juillet, 08 août, 27 septembre et 17 octobre (Tab. 11).

L'abondance relative des W+ L<sub>1</sub> par rapport aux nymphes a permis de relever deux générations bien distinctes (Fig. 8d) : une première qui s'achève au cours de la PS<sub>2</sub> à la date du 29 juillet et une dernière durant la PS<sub>3</sub>, débutant à la fin octobre (27/10). Entre ces deux dates, 2 ou 3 générations chevauchantes se sont succédées sur les poussées de sève estivale et automnale sans qu'il soit possible de les distinguer avec précision, compte tenu de la faible proportion d'œufs et de nymphes observés dans les échantillons (cf. Annexe 4). Les effectifs moyens de la mineuse ont toutefois atteint des maximum notés le 19 juillet avec 3,01 I/F, le 8 août avec 2,5 I/F, le 27 septembre avec 1,59 I/F et le 17 octobre avec 1,58 I/F, suggérant qu'au moins trois générations se sont succédées dans cet intervalle.

Au cours de cette dernière année, les proportions de nymphes ont représenté la part la plus faible des effectifs de la mineuse. Ceci semble être la conséquence de l'impact des différents facteurs de mortalité, dont le parasitisme.

Les températures moyennes enregistrées sur la PS<sub>2</sub> étaient assez favorables, à l'exception du 19 juillet où une température maximale de 42,5°C a été notée (Fig. 4d).

**Tableau 8 :** Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2003

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
09-juil	0,00	0,59	0,65	<b>1,24</b>
19-juil	0,04	0,69	0,65	<b>1,38</b>
26-juil	0,00	0,74	0,52	<b>1,26</b>
06-août	0,00	1,42	0,72	<b>2,14</b>
16-août	0,00	1,21	0,97	<b>2,18</b>
26-août	0,01	2,19	1,22	<b>3,42</b>
06-sept	0,08	1,60	0,39	<b>2,07</b>
16-sept	0,09	1,94	0,29	<b>2,32</b>
27-sept	0,03	0,89	0,14	<b>1,06</b>
08-oct	0,11	1,58	0,05	<b>1,74</b>
18-oct	0,01	1,01	0,04	<b>1,06</b>
30-oct	0,00	0,97	0,04	<b>1,01</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>1,24</b>	<b>0,47</b>	<b>1,74</b>

**Tableau 9 :** Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2004

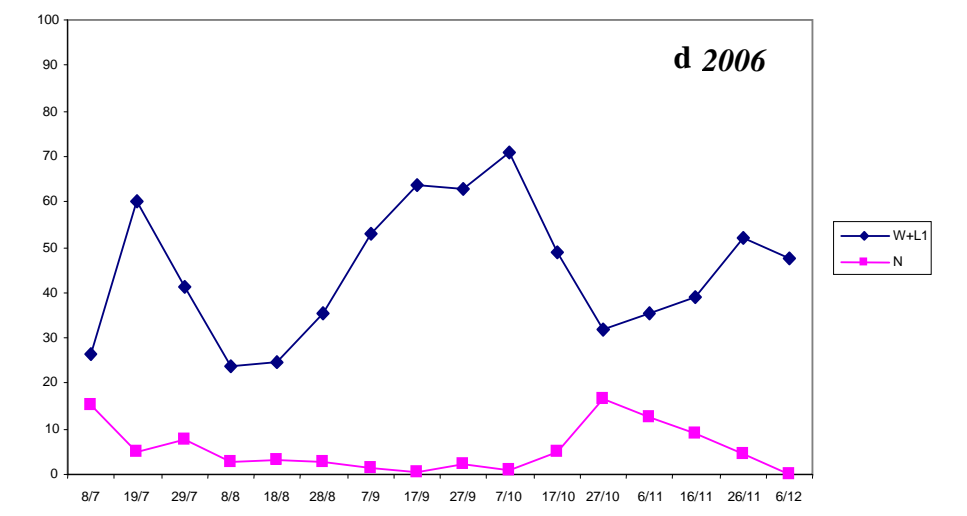
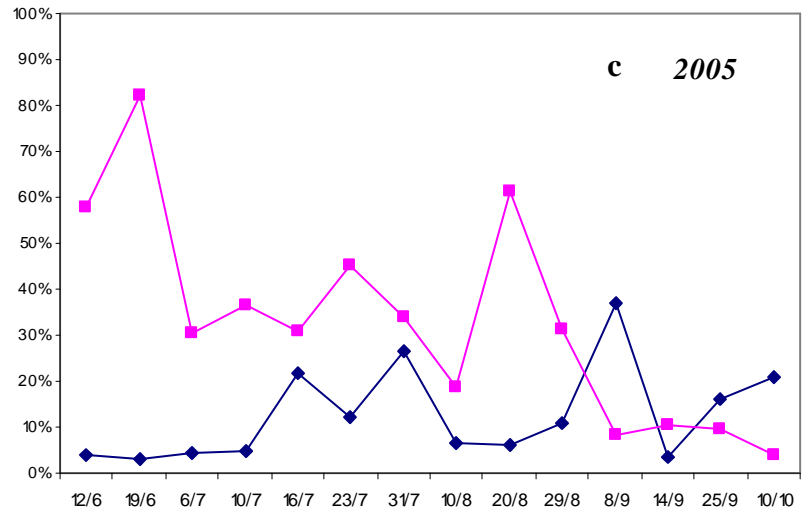
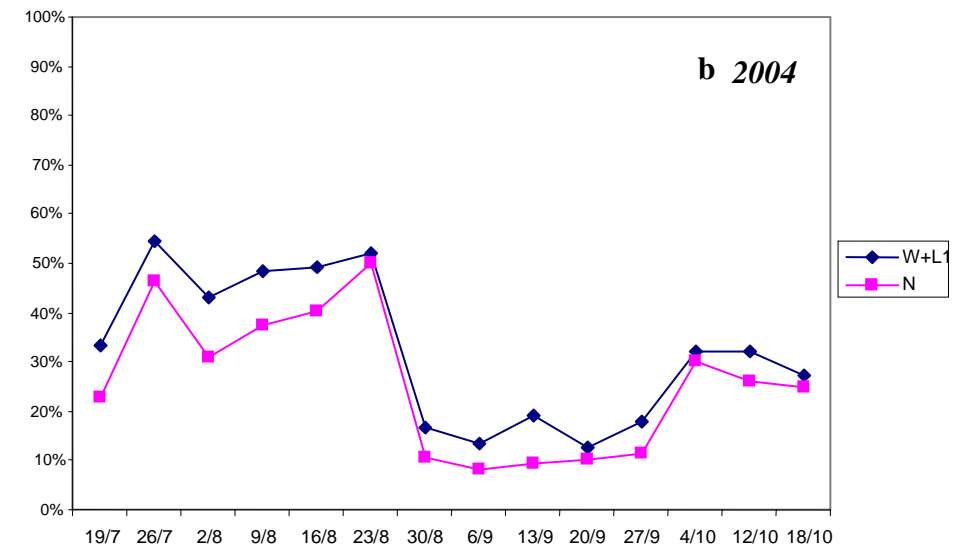
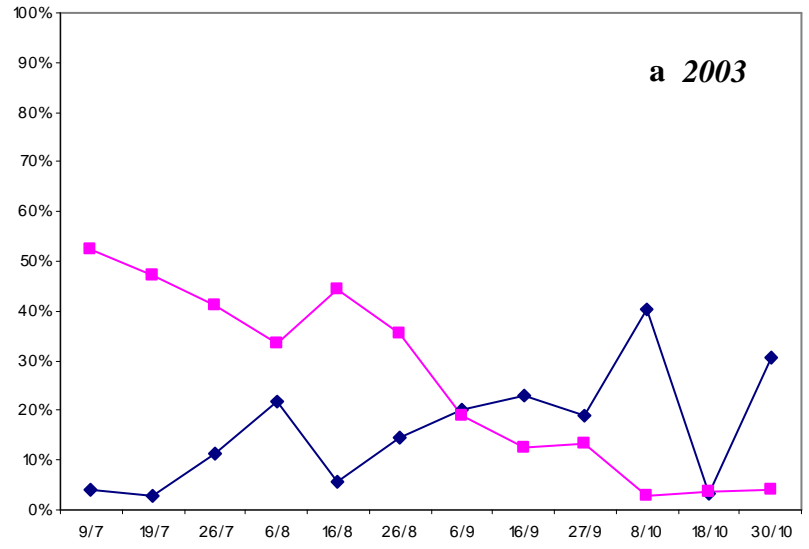
<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
19-juil	0	0,22	0,05	<b>0,27</b>
26-juil	0,03	0,57	0,50	<b>1,1</b>
02-août	0	1,44	0,69	<b>2,13</b>
09-août	0,17	1,62	0,66	<b>2,45</b>
16-août	0,09	1,48	1,06	<b>2,63</b>
23-août	0	1,93	1,45	<b>3,38</b>
30-août	0,15	2,03	0,37	<b>2,55</b>
06-sept	0,11	1,74	0,26	<b>2,11</b>
13-sept	0,25	1,86	0,32	<b>2,43</b>
20-sept	0,01	1,62	0,29	<b>1,92</b>
27-sept	0,05	1,67	0,26	<b>1,98</b>
04-oct	0,03	0,92	0,35	<b>1,3</b>
12-oct	0,01	0,70	0,25	<b>0,96</b>
18-oct	0	0,25	0,20	<b>0,45</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,06</b>	<b>1,29</b>	<b>0,48</b>	<b>1,83</b>

**Tableau 10 :** Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2005

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
12-juin	0,09	0,51	0,81	<b>1,41</b>
19-juin	0	0,24	1,11	<b>1,35</b>
06-juil	0	1,59	0,70	<b>2,29</b>
10-juil	0,03	0,75	0,45	<b>1,23</b>
16-juil	0,28	0,61	0,40	<b>1,29</b>
23-juil	0,01	1,24	1,03	<b>2,28</b>
31-juil	0	1,55	0,79	<b>2,34</b>
10-août	0	1,80	0,42	<b>2,22</b>
20-août	0	1,08	1,70	<b>2,78</b>
29-août	0,08	1,96	0,93	<b>2,97</b>
08-sept	0,11	3,14	0,26	<b>3,51</b>
14-sept	0,35	2,10	0,29	<b>2,74</b>
25-sept	0,01	3,70	0,38	<b>4,09</b>
10-oct	0,004	0,82	0,02	<b>0,84</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>1,51</b>	<b>0,66</b>	<b>2,24</b>

**Tableau 11 :** Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2006

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
08-juil	0,26	1,15	0,36	<b>1,77</b>
19-juil	0,01	2,76	0,24	<b>3,01</b>
29-juil	0,02	1,57	0,24	<b>1,83</b>
08-août	0,04	2,39	0,07	<b>2,50</b>
18-août	0,01	1,93	0,03	<b>1,97</b>
28-août	0	1,22	0,03	<b>1,25</b>
07-sept	0	1,25	0,01	<b>1,26</b>
17-sept	0	0,78	0,01	<b>0,79</b>
27-sept	0	1,54	0,05	<b>1,59</b>
07-oct	0,04	1,21	0,01	<b>1,26</b>
17-oct	0	1,55	0,03	<b>1,58</b>
27-oct	0	0,89	0,25	<b>1,14</b>
06-nov	0	0,83	0,11	<b>0,94</b>
16-nov	0	0,82	0,09	<b>0,91</b>
26-nov	0	0,64	0,04	<b>0,68</b>
06-déc	0	0,50	0	<b>0,5</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>1,31</b>	<b>0,10</b>	<b>1,43</b>



**Figure 8 : Abondance relative des œufs et des larves du premier stade (L<sub>1</sub>) durant les quatre années d'étude**

### 3-3-2-2 Discussion

La comparaison des populations de différents stades de développement de *P. citrella* dans les différents prélèvements, en fonction de l'année (Tab. 12), montre que les effectifs d'œufs sont toujours représentés faiblement (2 à 4% des individus recensés). Tandis que les larves (tous stades confondus) représentent 67 à 71% des populations durant les trois premières années, alors que les nymphes ne représentent que 26 à 30%. Pendant ces trois années, entre 56 et 63% des larves n'ont pu atteindre le stade nymphal.

Par contre, en 2006, seuls 7% des individus collectés étaient représentés par des nymphes, ce qui semble indiquer que les taux de mortalité des larves ont été beaucoup plus marqués au cours de cette année. En effet, la mortalité tous facteurs confondus a atteint 52% pour les larves. Les abondances relatives des différents stades larvaires sont également similaires au cours des trois premières années d'échantillonnage ; les différences des effectifs d'un stade à l'autre ne reflètent pas la dynamique des populations de l'insecte, mais la durée de développement de chacun de ces stades ; le stade L<sub>3</sub> étant le plus long et le quatrième (prénymph) le plus court. En effet, en effectuant les prélèvements tous les 10 jours environ, une partie des stades de développement les plus fugaces n'a pu être correctement recensée. Ces données permettent malgré tout de constater que l'évolution des populations de la mineuse au cours de l'année 2006 a été très différente des années précédentes.

**Tableau 12 :** Abondance relative des différents stades de développement de *P. citrella*

Date	W	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>1</sub> -L <sub>4</sub>	N
2003	<b>2%</b>	16%	17%	34%	4%	<b>71%</b>	<b>27%</b>
2004	<b>4%</b>	15%	20%	32%	4%	<b>70%</b>	<b>26%</b>
2005	<b>3%</b>	14%	21%	29%	4%	<b>67%</b>	<b>30%</b>
2006	<b>2%</b>	40%	11%	39%	1%	<b>92%</b>	<b>7%</b>

Selon HEPPNER (1993), les œufs viables mettent de 2 à 6 jours pour éclore, tandis que le cycle complet de *P. citrella* s'accomplit en 20 à 38 jours (GARIJO et GARCIA, 1994) ; de même QUILICI *et al.* (1995) rapportent qu'à l'île de la Réunion, la durée du cycle évolutif varie en fonction des conditions climatiques, et essentiellement de la température : le développement dure 13 à 15 jours entre 26 et 29°C, 23 jours à 35°C et 47 jours à 20°C. En Floride, la durée totale d'une

génération peut fluctuer entre 13 et 52 jours en fonction de la température (PEÑA *et al.*, 1996). En Algérie (Mostaganem), BERKANI (1999) signale qu'à une température de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , *P. citrella* accomplit son cycle biologique en 12,57 jours (Tab. 13).

**Tableau 13 :** Durée des différents stades de *P. citrella* à une température moyenne de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  (BERKANI, 1999)

Stades	Durée de développement moyenne (J)
Œufs	$1,61 \pm 0,5$
L1	$1,45 \pm 0,6$
L2	$1,10 \pm 0,37$
L3	$1 \pm 0,14$
PN	$1,01 \pm 0,12$
N	$6,27 \pm 0,87$
Total	$12,57 \pm 1,06$

Au cours de la période d'étude, la température et le taux d'humidité avaient des valeurs relativement favorables au développement de *P. citrella*, alors que, la pluviométrie est demeurée très faible, particulièrement pendant la période estivale.

Chaque année, au moins quatre générations du ravageur se sont succédées : deux sur la PS<sub>2</sub> et deux sur la PS<sub>3</sub>. Des travaux antérieurs avaient révélé dans la même région, l'existence de six (BERKANI *et al.* 1996) ou de cinq générations de *P. citrella* (BOUALEM, 2002). Différents facteurs peuvent expliquer ces différences : les conditions climatiques, la température mais aussi la pluviométrie qui conditionnent l'apparition des jeunes pousses. En effet, la pluviosité a toujours été très faible pendant la période estivale alors que les irrigations n'étaient pas régulières, ce qui a influé sur la masse végétative produite par l'arbre ; dans les parcelles choisies pour les observations elle n'a pas été très importante. Les ennemis naturels, qui étaient absents les premières années de l'installation du phytophage, se sont multipliés par la suite et ont agité positivement dans la régulation des populations de *P. citrella*. Ceci a eu pour conséquence probable, une diminution du nombre de génération.

Le nombre de générations annuelles varie d'un pays à un autre. Au Japon CLAUSEN (1931) a recensé 6 à 10 générations, tandis qu'UJIYE (1990) en compte neuf. LAL (1950) et BHUMANAVAR et SINGH (1983) signalent 9 à 13 générations en Inde, alors que SMITH *et al.* (1997) et HUANG *et al.*

(1989) distinguent 15 respectivement en Australie et en Chine (région de Guangzhou). Dans ce même pays (région de Fuzhou), WANG *et al.* (2006) ont mis en évidence six pics d'abondance des stades immatures indiquant ainsi l'existence de six générations. En Espagne enfin, URBANEJA *et al.* (2000) rapportent que la succession des poussées de sève permet à la mineuse de réaliser entre 10 et 13 générations par an.

Il semble également que la durée de chaque génération soit conditionnée par le facteur température. Ainsi, la durée nécessaire à l'achèvement d'une génération est plus courte lors de la seconde poussée de sève (en été) que lors de la troisième (en automne) lorsque les températures sont plus basses. Par contre le niveau de densité des populations en fonction de la température a varié d'une année à l'autre, laissant supposer que d'autres facteurs soient intervenus à ce niveau tel que le parasitisme et la prédation.

En effet, sur les pousses d'été, il a été enregistré au mois de juillet pour les quatre années des effectifs moyens variant entre : 1,24 et 1,38 I/F en 2003, 0,27 et 1,1 I/F en 2004, 1,29 et 2,34 I/F en 2005 et entre 1,77 et 3,01 I/F pour la dernière année (Tab. 8-11), pour des températures moyennes mensuelles respectives de : 28°C, 26,2°C, 26,3°C et 28,6°C (Fig. 4). Par ailleurs, au mois d'août les effectifs moyens enregistrés ont varié de : 2,14 à 3,42 I/F pour l'année 2003 (Tab. 8), 2,13 à 3,38 I/F en 2004 (Tab. 9), 2,22 à 2,97 I/F en 2005 (Tab. 10) et entre 1,25 à 2,5 I/F en 2006 (Tab. 11), sous des températures moyennes respectives de : 27,1°C, 27,3°C, 26,3°C et 24,6°C.

Sur les pousses d'automne, au mois de septembre ont été relevés des effectifs moyens allant de 1,06 à 2,32 I/F en 2003 (Tab. 8), de 1,92 à 2,43 I/F en 2004 (Tab. 9), de 2,74 à 4,09 I/F en 2005 (Tab. 10) et de 0,79 à 1,59 I/F en 2006 (Tab. 11), sous des températures moyennes respectives de 23,3°C, 24,1°C, 22,9°C et 22,6°C. Tandis qu'au mois d'octobre, les effectifs moyens suivants ont été relevés variant entre : 1,01 et 1,74 I/F en 2003 (Tab. 8), 0,45 et 1,3 I/F en 2004 (Tab. 9), 0,84 I/F en 2005 (Tab. 10) et entre 1,14 et 1,58 I/F en 2006 (Tab. 11), sous des températures moyennes respectives de 18,8°C, 20,6°C, 21°C et 21,1°C.

Les résultats montrent que les moyennes des effectifs ont dépassé le nombre de un (1) individu par feuille sur les deux poussées de sève avec des températures variables ; le niveau des populations par feuille a été plus important sur les pousses d'été (PS<sub>2</sub>), à l'exception de l'année 2005 où un maximum a été atteint le 25 septembre avec 4,09 I/F (Tab. 10).

En 1997, dans la région de la Mitidja SAHARAOUI *et al.* (2001), rapportent que des densités importantes ont été observées sur les pousses estivales, avec 4,89 et 5,48 individus par feuille respectivement en juillet et août.

La seconde poussée de sève a évolué sous des conditions climatiques particulières ; l'absence de pluviométrie, des températures très élevées et une humidité relative moyenne (cf. Annexe 5, 6, 7 et 8), entraînant par conséquent une faible émission de jeunes pousses, favorisant de ce fait une forte densité du phytophage.

DIEZ *et al.* (2006) ont déjà signalé que l'évolution des populations de *P. citrella* est fortement conditionnée par l'influence des facteurs climatiques, essentiellement la température et les précipitations, sur la plante hôte. Au cours de leur étude, une baisse notable de densité de la mineuse a été enregistrée suite à la diminution de la pluviométrie qui a provoqué une réduction de l'émission des nouvelles pousses.

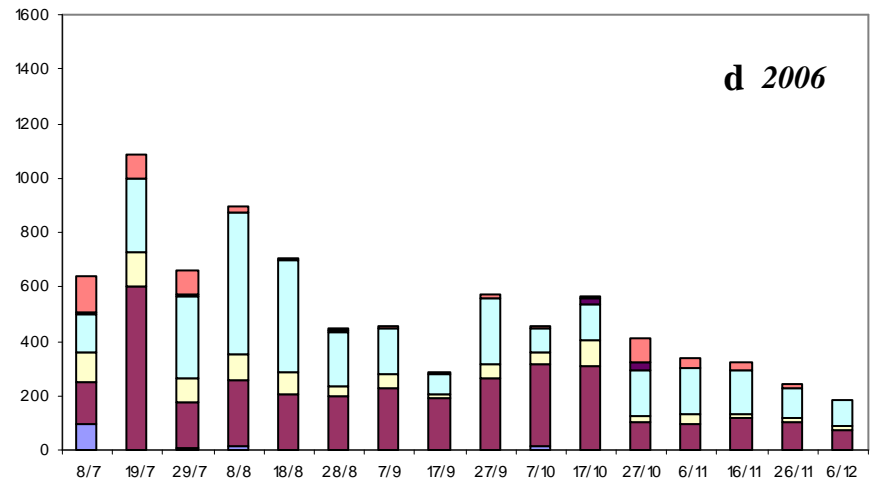
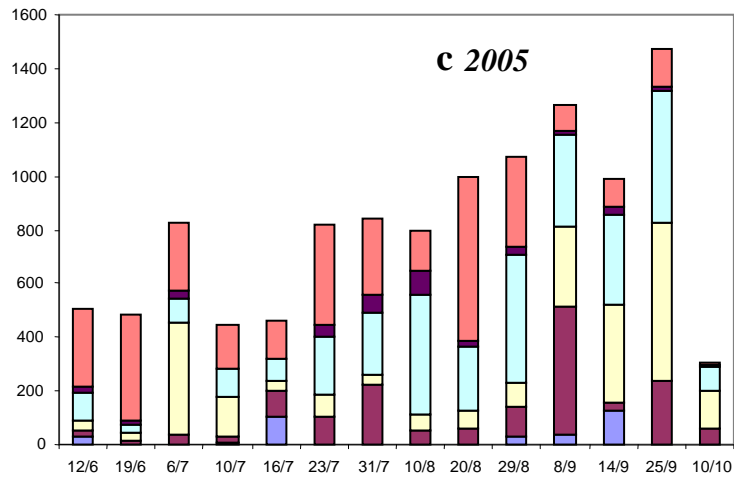
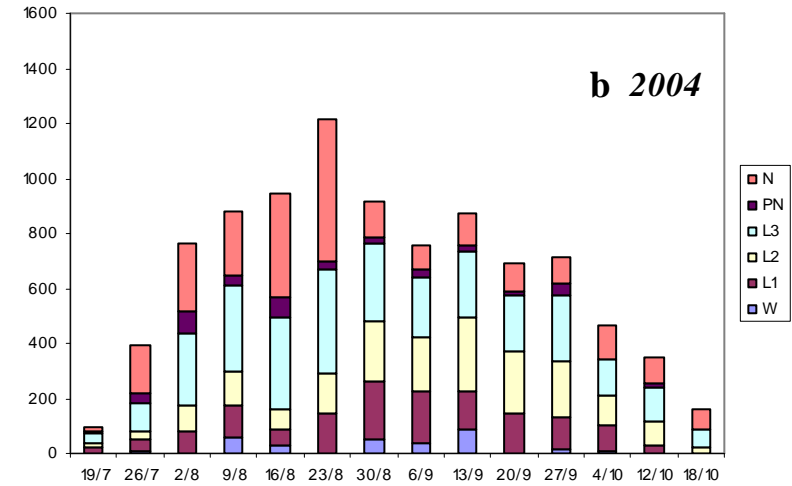
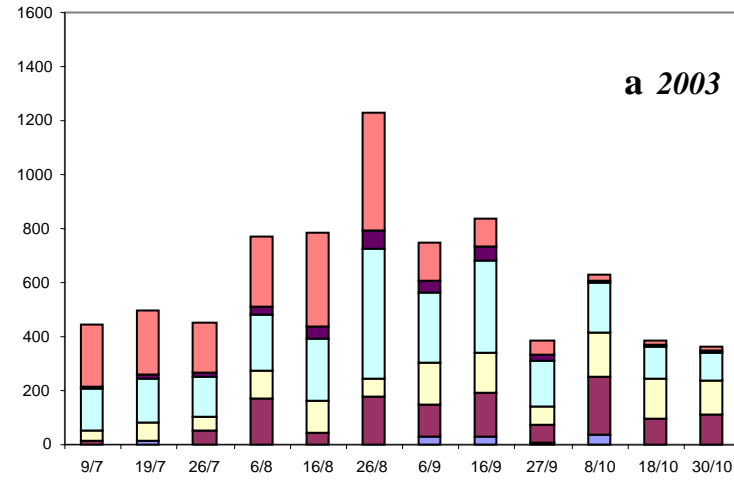
Selon GREVE et REDAELLI (2006), les facteurs climatiques et la disponibilité d'une végétation plus au moins abondante conditionnent entre 53 et 64% des variations de densité des populations de la mineuse.

**Tableau 14** : Effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella*

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
<b>2003</b>	0,03	1,24	0,47	<b>1,74</b>
<b>2004</b>	0,06	1,29	0,48	<b>1,83</b>
<b>2005</b>	0,07	1,51	0,66	<b>2,24</b>
<b>2006</b>	0,02	1,31	0,10	<b>1,43</b>

Le tableau 14 montre, qu'au cours des quatre années, l'effectif moyen de la population observée a été supérieur à l'unité, avec une prédominance des larves sur les stades embryonnaires et nymphaux. Ceci est du principalement au fait que les larves sont constituées de trois stades, donc avec une présence cumulée importante. De même, la durée d'incubation des œufs étant courte alors que le rythme d'échantillonnage est hebdomadaire, ce qui permet à un grand nombre d'embryons d'évoluer sans qu'ils ne soient comptabilisés. La figure 9 indique une évolution plus au moins

semblable des populations de *P. citrella* pendant les années 2003, 2004 et 2005, avec toutefois une densité plus importante de nymphes par feuille en 2005. Par contre, l'année 2006 a montré une évolution différente avec un nombre très réduit de nymphes par feuille ; ceci pourrait être dû à l'action des facteurs de régulation naturelle (tout facteurs confondus).



**Figure 9 : Evolution des effectifs de *P. citrella* au cours des quatre années d'étude**

### 3-3-3 Impact des facteurs de mortalité sur la mineuse

#### 3-3-3-1 Introduction

La régulation naturelle est considérée comme l'un des facteurs les plus importants de l'équilibre de l'écosystème. Les insectes, comme tous les êtres vivants, sont tributaires des conditions du milieu dans lequel ils vivent. La mortalité peut dépendre soit des facteurs abiotiques (climat, mode de conduite, ...etc.) soit de facteurs biotiques, tels que le parasitisme et la prédation ou la compétition intraspécifique, qui sont des phénomènes intrinsèques ; en effet, chaque ravageur possède son propre complexe d'ennemis naturels plus ou moins spécifiques. *P. citrella*, comme tous les êtres vivants est soumis à l'action de ces différents antagonistes, essentiellement des auxiliaires prédateurs et parasitoïdes.

De nombreuses études ont montré que dans l'aire d'invasion de la mineuse des agrumes, le complexe parasitaire montre un accroissement progressif d'activité dans les années suivant l'introduction du ravageur, permettant ainsi de réduire de façon notable les populations de ce dernier.

CONTI *et al.* (2006) constatent qu'une importante part de la mortalité est due aux prédateurs locaux (chrysopes, araignées et acariens). En Floride, de nombreux prédateurs, dont des larves de chrysopes, de fourmis, de thrips, d'araignées et de punaises ont été recensés comme ennemis de *P. citrella*, mais leur impact n'a pas encore été évalué avec précision (AMALIN *et al.*, 1996). Ces auteurs signalent la présence de 41 espèces d'araignées prédatrices de *P. citrella* parmi lesquelles trois clubionides (*Chiracanthium inclusum*, *Clubiona* sp. et *Trachelas volutus*), une anyphaenide (*Habana velox*) et une salticide (*Hentzia palmarum*) qui sont les plus abondantes. En Thaïlande, MORAKOTE et NANTA (1996) ont recensé trois espèces de prédateurs dont deux chrysopes : *Chrysopa octopentata* et *Chrysopa basalis*. En Chine, *Chrysopa boninensis*, *Chrysopa sinica* et *Crius mineutus* sont considérées comme les prédateurs les plus efficaces (TAN et HUANG, 1996). *Chrysopa boninensis* peut pondre en moyenne 400 œufs et chaque larve a la capacité de consommer jusqu'à 149 larves de *P. citrella* (CHEN *et al.*, 1989). Alors qu'au Nicaragua, les auxiliaires prédateurs les plus communs sont des hyménoptères Formicidae : *Solenopsis* sp. et *Tapinoma* sp. (CANO *et al.*, 1996). HUANG *et al.* (1989), POMERINKE (1999), AMALIN *et al.* (2002)

et XIAO *et al.* (2007) signalent aussi l'importante contribution des fourmis dans la régulation des populations de la mineuse.

D'autres ennemis naturels ayant un impact important sur *P. citrella* sont les hyménoptères parasitoïdes. LA SALLE et SCHAUFF en 1996 recensaient déjà 5 familles et 36 genres de Chalcidoidea parmi les antagonistes de la mineuse tandis que SCHAUFF *et al.* (1998) signalaient 41 genres et plus de 80 espèces, parmi lesquels plusieurs sont connues pour s'attaquer également aux larves mineuses d'autres insectes : lépidoptères, diptères et coléoptères ou encore à des nymphes d'hyménoptères parasitoïdes ou des œufs d'hyménoptères symphytes.

Au Nicaragua, CANO *et al.* (1996) rapportent qu'une année après son introduction, *P. citrella* était déjà attaquée par des parasitoïdes autochtones (*Cirrospilus* sp., *Elasmus* sp., *Galepsomyia* sp.) et prédatée par les Formicidae (*Solenopsis* sp. et *Tapinoma* sp.). La mortalité variait de 0 à 96% dans les régions tropicales sèches, 41 à 50% dans les régions de la côte pacifique et entre 12 et 91% pour les régions de la côte atlantique.

En Australie BEATTIE et SMITH (1993) et NEALE *et al.*, (1995) signalent comme ennemis naturels de la mineuse, des chrysopes et trois hyménoptères Eulophidae : *Cirrospilus ingenuus*, *Semielacher petiolatus* et *Sympiesis* sp., (*S. petiolatus* étant le plus abondant).

Aux Philippines, les taux de parasitisme globaux variaient généralement entre 50 et 80% et pouvaient occasionnellement atteindre les 100% (ANONYME, 1998).

En Espagne, toutes les attaques parasitaires contre la mineuse des feuilles des agrumes atteignaient le niveau de 60% en automne (GARCIA-MARI *et al.*, 1996).

XIAO *et al.* (2007) rapportent que la mortalité a concerné 85% des individus de *P. citrella* en Floride : 60% régulés par des prédateurs et 30% par des parasitoïdes.

Sachant que l'action des prédateurs et des parasitoïdes joue un rôle fondamental dans la réduction des populations des ravageurs au sein des agroécosystèmes (RIECHERT et LOCKLEY, 1984 ; CHIVERTON, 1986 ; NYFFELER et BENZ, 1988 ; YOUNG et EDWARDS, 1990 ; WISE, 1993 ; ROSENHEIM *et al.*, 1993), les investigations doivent se centrer sur le complexe des ennemis naturels de *P. citrella*, tout en tenant compte des autres facteurs de mortalités potentiels (ANONYME, 1998).

### **3-3-3-2 Résultats**

Les résultats obtenus au cours des trois premières années d'observation ont montré l'importance de l'action des parasitoïdes, facteurs de mortalité qui a été le plus aisé à mettre en évidence (Fig. 10 ; 11).

#### **Année 2003 :**

La première année (2003), le taux de parasitisme global a atteint 31,9% contre 15,8 et 3% respectivement, pour la mortalité pour cause indéterminée et la prédation (Fig. 10). La mortalité globale de la mineuse, tous stades confondus, a été de l'ordre de 50,5%, de l'ensemble des effectifs comptabilisés (3 798) et éliminés par l'ensemble des facteurs de mortalité. Cette année-là, dès les premières observations, l'activité des parasitoïdes a dominé. En effet, les taux de parasitisme notés étaient assez importants, c'est ainsi que les premiers échantillons ont révélé un taux de 20,2% le 9 juillet, atteignant par la suite un maximum de 48,9% à la fin de la PS<sub>2</sub> (Fig. 12a). La même évolution a été observée au cours du mois de septembre ; sur les pousses d'automne, avec un maximum de 41,4% enregistré le 27 septembre. Au mois d'octobre, la mortalité due aux parasitoïdes a chuté avec un maximum de 19% enregistré le 30 octobre. L'évolution de la mortalité du phytophage due aux parasitoïdes confirme les remarques signalées précédemment. En effet, l'activité la plus importante est signalée sur les pousses d'été (PS<sub>2</sub>) avec un taux de parasitisme de 36,7%, alors que sur les pousses d'automne (PS<sub>3</sub>) il n'était que de 25,9%. Par contre, les mortalités provoquées par la prédation ou pour d'autres causes indéterminées sont demeurées faibles. Sur la PS<sub>2</sub>, le taux de mortalité était de 2,8% pour la prédation et 17,7% pour les causes indéterminées, tandis que sur la PS<sub>3</sub>, les taux de mortalité ont varié entre 13,4 et 3,2% respectivement pour les causes indéterminées et la prédation. Les moyennes de température enregistrées au cours des deux poussées de sèves correspondent au seuil thermique de développement de la mineuse, sauf pour quelques dates où l'amplitude était supérieure à 10°C (cf. Annexe 5).

#### **Année 2004 :**

La mortalité totale a atteint 65,2%, ce qui correspond à la régulation de 6020 individus. Des taux de 24,6 ; 38,9 et 1,6% ont été enregistrés respectivement pour la mortalité indéterminée, le parasitisme et la prédation (Fig. 10) ; les parasitoïdes semblent avoir provoqué une mortalité plus élevée que celle de l'année précédente. Sur la seconde poussée de sève, il a été enregistré un taux de parasitisme total de 40,2%, représenté par un minimum de 11,3% relevé sur les premiers

échantillons (19 juillet) et un maximum de 60% noté le 16 août. Sur la troisième poussée de sève, la mortalité totale due aux parasitoïdes a été de la même importance soit 37% avec un maximum de 50% relevé le 27 septembre et le 12 octobre (Fig. 12b). Pour les deux autres types de mortalité, les taux enregistrés pendant ces deux poussées de sèves sont moins importants avec 11,7 et 1,5% sur la PS<sub>2</sub> et 12,9 et 1,8% sur la PS<sub>3</sub> (Fig. 11b), respectivement, pour la mortalité indéterminée et la prédation. Les températures moyennes qui ont prévalu au cours de cette année ont été à la limite du seuil thermique de développement de *P. citrella*, avec des écarts plus au moins importants, tels ceux notés le 20 septembre avec 20°C (cf. Annexe 6).

#### **Année 2005 :**

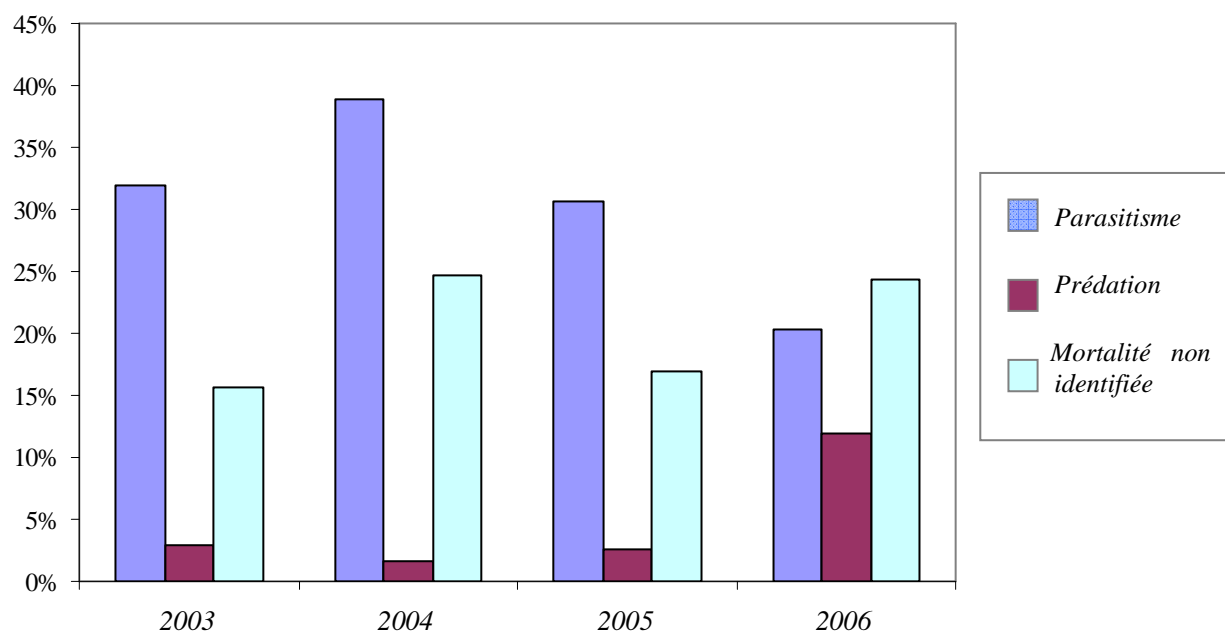
Cette période d'étude a été marquée par une forte mortalité due au parasitisme (30,6%), suivie par la mortalité pour causes indéterminées (17%) et la prédation (2,6%) (Fig. 10). Durant cette année, la mortalité globale a été de l'ordre de 50,2% correspondant à l'élimination de 5663 individus. L'évolution de la mortalité due au parasitisme a été plus importante sur la PS<sub>2</sub> avec un taux global de 32%, le maximum absolu enregistré étant de l'ordre de 78% le 20 août, alors que sur la PS<sub>3</sub> le taux global n'était que de 27,7% avec un maximum absolu de 39,1% enregistré le 14 septembre (Fig. 12c). Par contre, les taux dus à la mortalité indéterminée et la prédation n'ont pas beaucoup varié entre les deux poussées de sève, avec des valeurs respectives de 16 et 3,2% sur la PS<sub>2</sub> et 19 et 1,5% sur la PS<sub>3</sub> (Fig. 11c). Les conditions climatiques, essentiellement la température et l'humidité relative, ont montré des moyennes convenant relativement bien au développement de l'insecte (cf. Annexe 7).

#### **Année 2006 :**

La mortalité totale tous facteurs confondus pour cette année a été de l'ordre de 56,6% soit la régulation de 4 679 individus. Contrairement aux années précédentes, le taux de parasitisme a été inférieur à celui de la mortalité pour causes indéterminées. Un taux global de 24,3% a été enregistré pour cette dernière (Fig. 10), avec des niveaux de mortalité de 12,9% noté sur la PS<sub>2</sub> et 11,4% sur la PS<sub>3</sub> (Fig. 11d). Les taux maximum relevés pour ce type de mortalité ont été de l'ordre de 53,9% à la première date d'échantillonnage (8 juillet) et 46,1% à la dernière date (6 décembre).

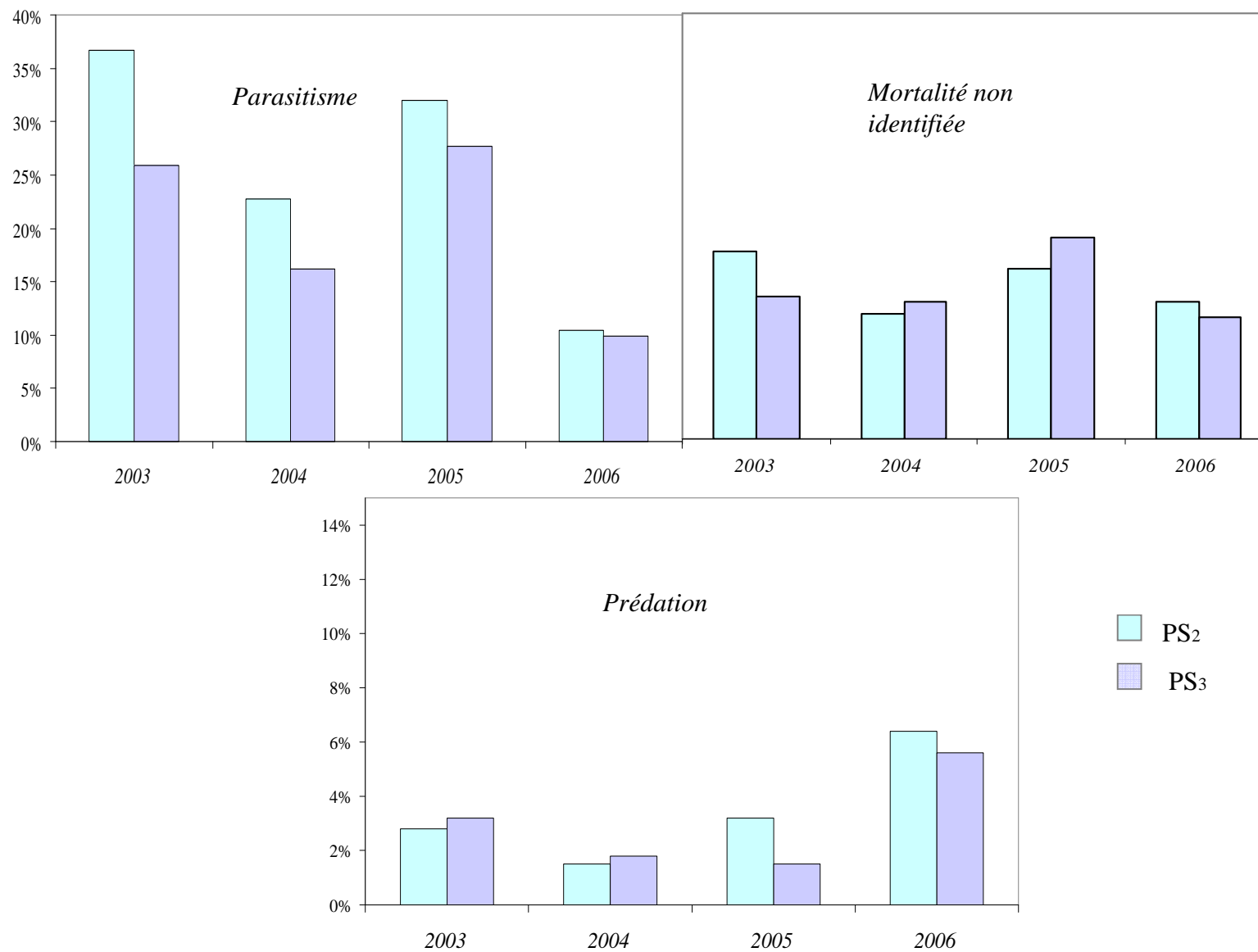
Le taux de mortalité global dû au parasitisme a été de 20,3%. Durant la PS<sub>2</sub>, le taux global du parasitisme a atteint 10,4%, avec un maximum de 25,6% le 28 août ; sur la PS<sub>3</sub> il était de 9,9% avec un maximum de 32,1% enregistré le 17 septembre (Fig. 12d). Pour la prédation, la mortalité globale a atteint 12 % (Fig. 10), soit une valeur nettement supérieure à celle des années précédentes. La température et l'humidité relative ont été comme pour les années précédentes,

d'une manière générale clémentes (cf. Annexe 8).



**Figure 10 : Taux de mortalité globale de *P. citrella***

Les résultats des figures 10 et 11 montrent que durant les trois premières années de l'étude (2003-2005), la mortalité due à l'activité parasitaire a été la plus importante, comparativement aux autres facteurs de mortalité. En 2006, au contraire, les parasitoïdes semblent avoir eu un impact plus limité, tandis que la mortalité pour cause indéterminée et la prédation ont tenu un rôle plus important. Toutefois, il est possible qu'une partie des individus parasités soient morts avant que les parasitoïdes aient achevé leur développement ou qu'ils aient été plus facilement attaqués par les prédateurs, ce qui pourrait expliquer au moins en partie, les différences observées en 2006 par rapport aux années précédentes. Malgré ce constat, les parasitoïdes demeurent les agents les plus efficaces et les plus écologiques pour limiter les populations de la mineuse des agrumes ; leur utilisation doit être privilégiée dans le cadre des programmes de lutte intégrée dont le principe est de combiner l'efficacité de la lutte et le respect de l'environnement.



**Figure 11 : Evolution des différents taux de mortalité de *P. citrella* sur les deux poussées de sève (2003 à 2006)**

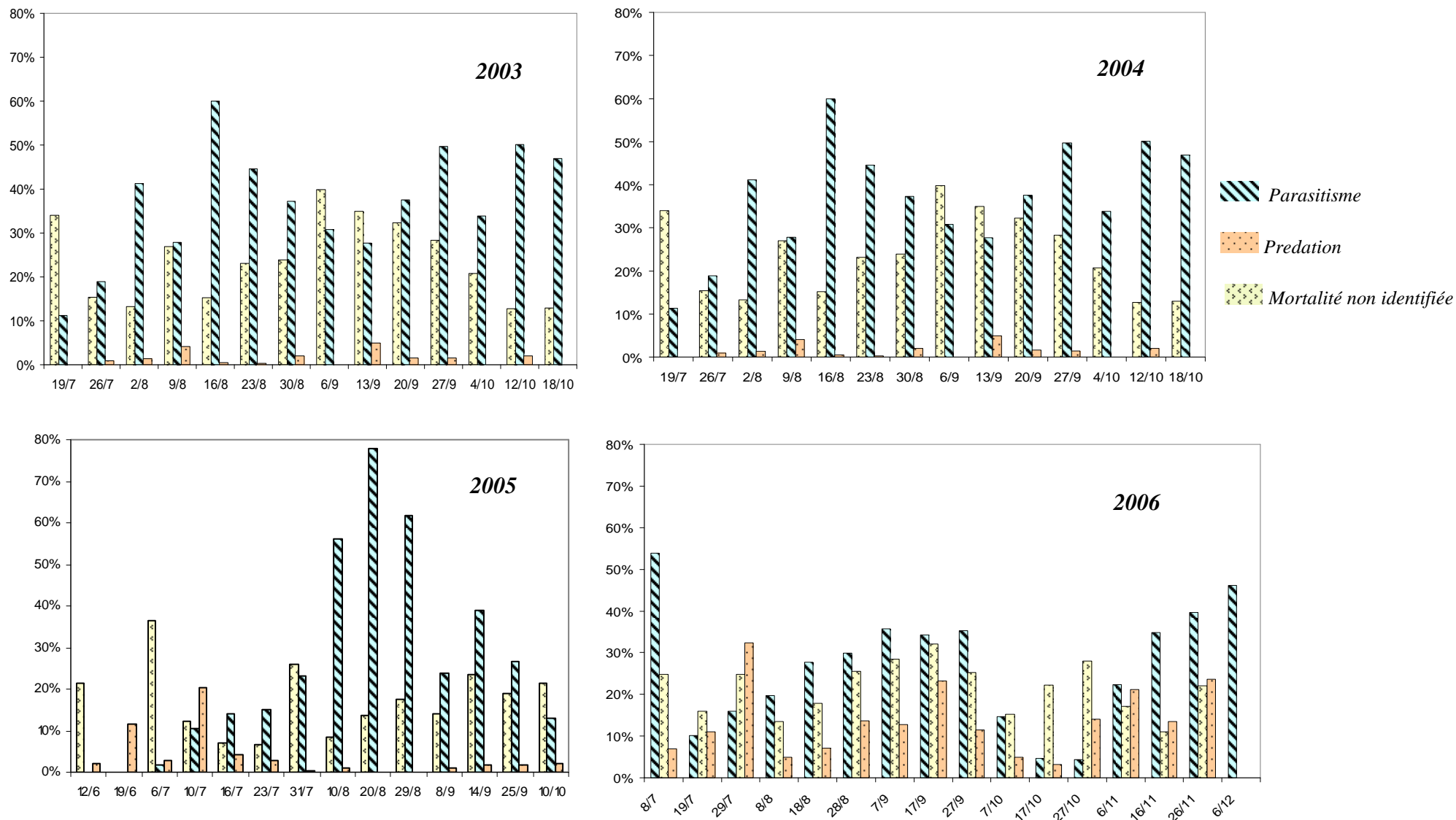


Figure 12 : Taux de mortalité par parasitisme, prédation et autres facteurs dans la région de Mostaganem

### 3-3-3-3 Discussion

Les résultats précédents montrent que la mineuse est soumise à différents facteurs de mortalité. Parmi ceux, ayant une influence sur son développement, les conditions climatiques sont des paramètres écologiques essentiels dans le développement de tout être vivant. En effet, BA-ANGOOD (1977) signale que l'examen de vieilles mines a permis de constater que les fortes températures dépassant 41°C provoquent la mort et le dessèchement des nymphes de la mineuse. Par ailleurs, LAKRA *et al.* (1984) rapportent que 63% des chrysalides de *P. citrella* meurent lorsque la température atteint 46°C, alors qu'un taux d'humidité égal à 100% ou inférieur à 10% ne semble avoir aucun effet apparent sur l'insecte. Dans cette étude, les températures relevées n'ont pas dépassé ces extrêmes, la température maximale enregistrée étant de 42,5°C relevée le 19 juillet 2006. Pour JACAS *et al.* (1996), une température de 0°C serait létale pour la plupart des stades sensibles de la mineuse, mais dans la région d'étude, les températures minimales les plus rudes ne descendent jamais en dessous de 5°C, pendant l'hiver et au début du printemps, à une période où la mineuse est en hibernation à l'état adulte.

La comparaison des données climatiques (Fig. 4) et celle des taux de mortalité pour causes indéterminées (Fig. 12) enregistrés au cours des quatre années ne permettent pas de relier directement cette mortalité aux variations de la température et de l'humidité. Selon PINCEBOURDE (2005), les insectes endophytes maintiennent dans leur mine leur propre microclimat, ce qui facilite leur résistance aux changements climatiques du milieu environnant. La thermorégulation de la larve peut être significative quand la température de la mine est proche de sa température létale ; l'insecte a ainsi la possibilité de baisser sa température de 1,5°C pendant les fortes chaleurs.

Si elle dépend peu des conditions climatiques, la mortalité de nature indéterminée observée pourrait être liée notamment à la compétition intraspécifique s'exerçant entre les différentes larves de la mineuse ; KNAPP *et al.* (1995) rapportent, en effet, que la capacité de la mineuse à achever son cycle biologique diminue lorsque la densité de la population dépasse 2 à 3 mines par feuille. Selon MURAI (1974), les mines formées par *P. citrella* ne se croisent généralement pas, mais lorsque deux larves se retrouvent en contact l'une de l'autre, l'une des deux finit par mourir.

Une deuxième cause de mortalité peut être liée aux conditions d'entretien du verger ; dans les vergers expérimentaux, les irrigations étaient irrégulières et la fertilisation totalement absente, ce qui a des répercussions sur le feuillage, qui se développe mal et qui pourrait être la conséquence d'une baisse dans l'émission de jeunes feuilles tendres, favorisant alors l'augmentation de la

compétition entre les larves. Par ailleurs, les phénomènes de résistance naturelle de la plante suite aux agressions des phytophages peuvent également intervenir. D'après PARE et TURLINSON (1999), l'émission des substances chimiques volatiles par les feuilles des végétaux augmente lorsqu'elles sont attaquées par les insectes ravageurs, ce qui favorise l'attraction des ennemis naturels, essentiellement les parasitoïdes et les prédateurs. Selon HOPKINS et EVRARD (2006), des isoflavonoïdes et d'autres métabolites secondaires, appelés collectivement phytoalexines, sont synthétisés par les plantes pour les aider à se défendre contre les agressions des insectes et des maladies. Une plante attaquée par des insectes ou des microorganismes potentiellement pathogènes, répond typiquement par des réactions d'hypersensibilité.

D'autres facteurs biotiques contribuent également à la régulation naturelle de la mineuse ; parmi eux, le parasitisme et la prédation reposent essentiellement sur les performances et les potentialités des espèces auxiliaires locales et introduites. De nombreux pays infestés par la mineuse des agrumes ont opté plus particulièrement pour l'introduction et l'acclimatation d'espèces entomophages (ROSSLER *et al.*, 1997 ; LIM *et al.*, 2006) tandis que des dizaines d'espèces d'auxiliaires autochtones étaient recensées sur cet hôte dans divers pays (REINA et LASALLE, 2004 ; GARCIA-MARI *et al.*, 2004 ; VERCHER *et al.*, 2005).

En Chine, 1% des jeunes feuilles d'oranger étaient infestées au printemps, 5% au début d'été, 40 à 50% à la fin de l'été et 52,1 à 84,9% sur les pousses d'automne. Les mesures de lutte intégrée ont réduit les niveaux d'infestations de 80 à 9%, la réduction de l'utilisation des pesticides a permis le développement des populations des ennemis naturels de la mineuse (LIU *et al.*, 1985).

En Thaïlande, le parasitisme est passé de 25,4 à 91,9% du mois de mai à septembre, avec une moyenne de 59,1% (NANTA *et al.*, 1992).

En Tunisie, CHERMITI *et al.*, (2001) rapportent que l'action parasitaire a atteint 20% en été et 50% en automne.

Au Pendjab, aucune activité parasitaire n'a été observée en décembre et janvier, par contre les taux de parasitisme relevés ont été de 29,6% en juillet, 39,3% en août, 46,5% en septembre et 37,3% en octobre (BATRA et SANDHU, 1981).

Selon LONGO et SISCARO (1997), le niveau le plus élevé du parasitisme en Sicile (Italie) est proche de 50% pendant la période « fin été – automne » au moment où l'activité de la mineuse est à son maximum. SISCARO *et al.* (2003) rapportent en effet que le complexe parasitaire de *P. citrella* représente un élément important dans la lutte biologique ; l'activité des parasitoïdes est passée de

32% entre 1996 et 1998 à 58% entre 1999 et 2002. LO GENCO *et al.* (2006) signalent que les taux de parasitisme maximum observés en Sicile étaient de 30% en novembre 2002 et 25 et 20% respectivement en janvier 2004 et 2005.

Les résultats obtenus durant les quatre années d'étude dans la wilaya de Mostaganem ont fait ressortir des taux de parasitisme totaux variables d'une année à l'autre, le maximum a été enregistré pendant l'année 2004 avec 38,9%. Pour les deux autres types de mortalité, les taux observés étaient relativement plus faibles avec un maximum de 24,6% en 2004 pour la mortalité due à des causes indéterminées et de 12% en 2006 pour la prédation.

La comparaison des résultats obtenus avec ceux des données bibliographiques montre que les populations de la mineuse sont plus au moins régulées par l'action des différents facteurs de mortalité présents, ce qui permet d'atténuer son action néfaste sur le rendement et la production des agrumes.

### **3-3-4 Sensibilité des différents stades de la mineuse aux facteurs de mortalité**

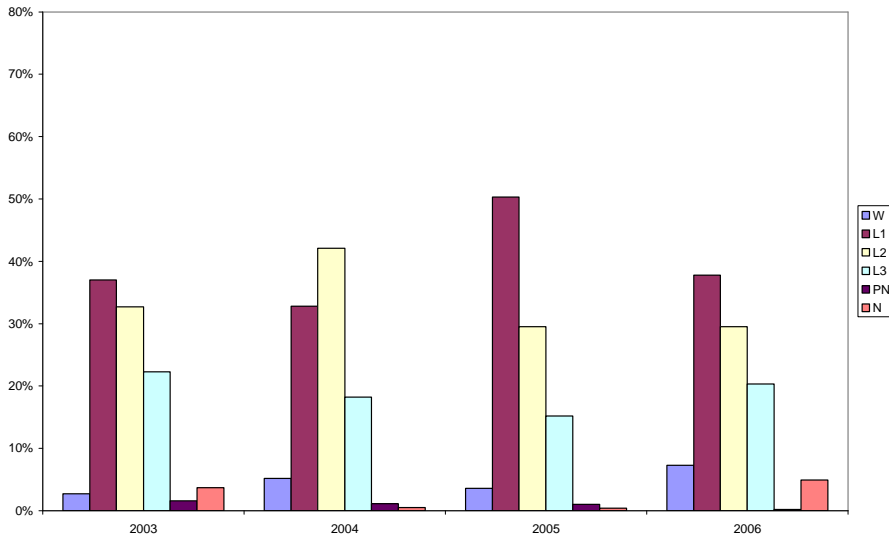
#### **3-3-4-1 Résultats**

La sensibilité des stades biologiques de la mineuse a été variable selon le type de mortalité et selon les années (Fig. 13-15).

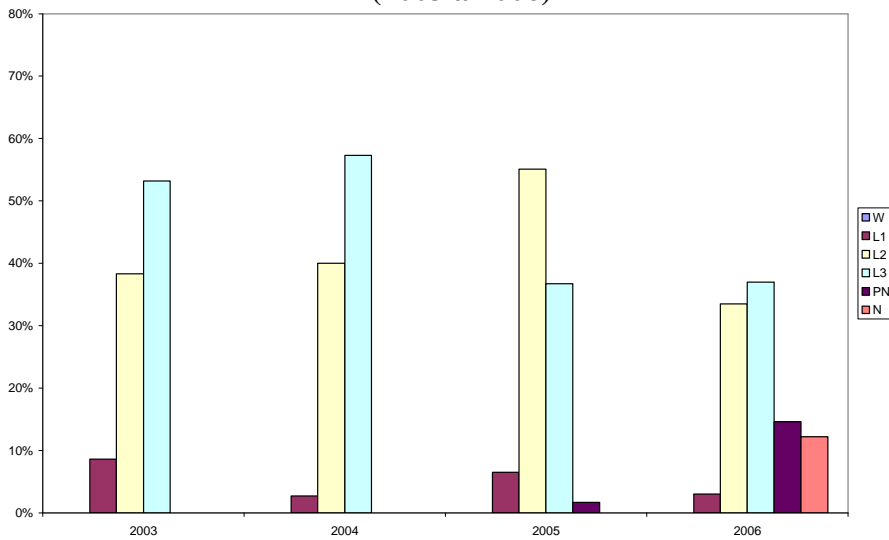
En 2003, il a été constaté que les plus forts taux de mortalité pour cause indéterminée ont concerné les stades L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub> avec des proportions respectives de 37 et 32,7%. La mortalité par prédation a été observée surtout sur les stades L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub>, avec des taux respectifs de 38,3 et 53,2%, alors que la mortalité due au parasitisme domine chez les L<sub>3</sub> et les nymphes avec des taux respectifs de 56,4 et 34,2%.

Les résultats obtenus en 2004 ont montré des taux élevés concernant la mortalité pour causes indéterminées essentiellement sur les stades L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub>, représentés respectivement par 32,8 et 42,1%. La prédation a été intense sur les stades L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> avec dans l'ordre 40 et 57,3%, tandis que l'action parasitaire a été maximale sur les stades L<sub>3</sub> et nymphe, avec 52 et 34% de mortalité.

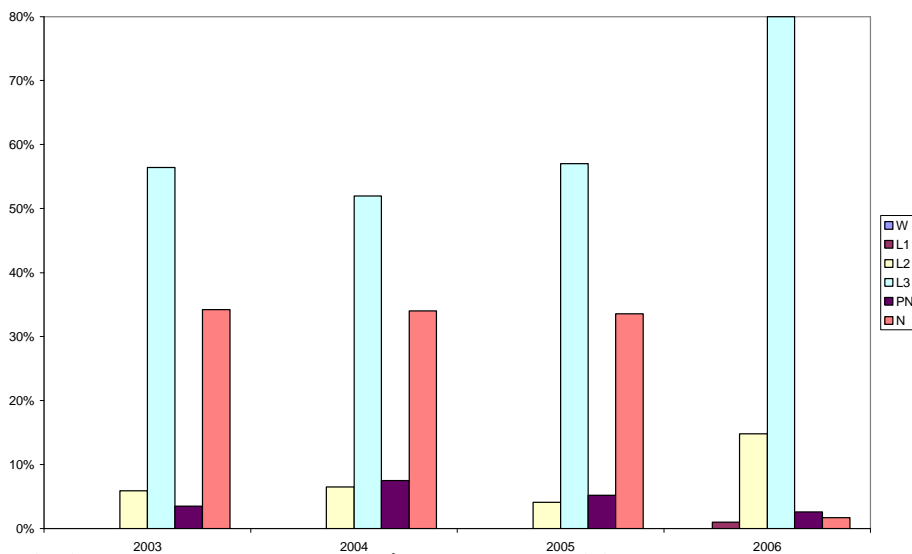
Au cours de l'année 2005, la proportion d'individus des différents stades de la mineuse régulés par les facteurs de mortalité a été du même ordre que pour les deux années précédentes. Pour la mortalité pour causes indéterminées, les deux premiers stades larvaires L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub> ont été les plus atteints avec chacun des taux de 50,3 et 29,5% ; par ailleurs, les L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> ont été plus sensibles à la prédation avec des proportions respectives de 55,1 et 36,7%. En ce qui concerne le parasitisme, un impact important se manifeste au niveau des larves du troisième stade et des nymphes avec des taux respectifs de 57 et 33,6%. La dernière année de l'étude (2006) a montré des résultats similaires quant à la sensibilité des stades L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub> à la mortalité pour causes indéterminées, avec respectivement 37,8 et 29,5%. Les stades L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> ont été les plus atteints par la prédation avec 33,5 et 37% tandis que le parasitisme a affecté presque exclusivement les L<sub>3</sub> qui ont subi un taux de mortalité de 80% sur les individus échantillonnés.



**Figure 13 : Variation du taux de mortalité indéterminée selon les stades de *P. citrella* (2003 à 2006)**



**Figure 14 : Variation du taux de mortalité due à la prédation selon les stades de *P. citrella* (2003 à 2006)**



**Figure 15 : Variation du taux de mortalité due au parasitisme selon les stades de *P. citrella* (2003 à 2006)**

### 3-3-4-2 Discussion

La sensibilité des différents stades de la mineuse a été étudiée par différents auteurs. En effet pour le parasitisme, VERCHER *et al.* (2003) signalent que le taux de mortalité dû aux parasitoïdes change en général avec le stade biologique de *P. citrella*, les stades préférés des parasitoïdes restent le troisième (27-38%) et le quatrième (30-53%) stades larvaires ; suivis par le deuxième stade (10%) et enfin les nymphes qui sont les moins attaquées (5%). Par ailleurs, HUANG *et al.* (1989) et CHEN *et al.* (1989) notent que les facteurs de régulation les plus importants pour le premier stade larvaire sont le climat et les maladies, avec un taux de mortalité de 27%. Le deuxième stade est régulé par l'action des prédateurs qui sont à l'origine d'un taux de mortalité de 12,3% ; par contre, l'action combinée des parasitoïdes et des prédateurs réduit 32% des effectifs du troisième stade larvaire.

Selon les résultats obtenus durant la présente étude, la sensibilité des différents stades aux facteurs de mortalité a fait ressortir des groupes qui permettent de mieux apprécier l'action de ces facteurs dans la nature. En effet, le premier groupe représenté par les stades L<sub>1</sub> et L<sub>2</sub> a montré une sensibilité à la mortalité pour causes indéterminées, suivi par les L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> qui ont été plus sensibles à la prédation et enfin le dernier groupe renfermant les stades L<sub>3</sub> et nymphes, les plus sensibles au parasitisme.

## Chapitre 4

### Les parasitoïdes de la mineuse des agrumes dans la région de Mostaganem

#### 4-1 Inventaire du complexe parasitaire de *P. citrella* (2003-2006)

Pour une meilleure maîtrise de la lutte contre la mineuse des agrumes, il est très important de procéder à un inventaire permettant de recenser tous les auxiliaires présents, suivi par une identification précise de chaque espèce récoltée. Cette identification permet d'avoir une approche sur les modalités de leur développement. Enfin, l'objectif final de telles études est d'instaurer des conditions de développement favorables aux plus performants.

##### 4-1-1 Matériel et méthodes

L'inventaire des ennemis naturels de la mineuse des agrumes s'est poursuivi, de 2003 à 2006, dans un verger d'orangers (*Citrus sinensis*) de l'exploitation expérimentale du département des sciences agronomiques de l'Université de Mostaganem. Les parcelles choisies n'étaient pas traitées chimiquement afin de travailler dans les conditions naturelles les plus favorables pour la récolte d'un maximum de matériel biologique.

Durant quatre années consécutives, de début juillet à début novembre, 250 feuilles minées renfermant des larves et des nymphes du ravageur ont été récoltées chaque semaine. Au laboratoire, les individus parasités au stade larvaire ont été placés dans des boîtes de pétri sur le milieu artificiel développé par MURACHIGUE et SKOOG (1962) jusqu'au stade nymphal ; les nymphes de parasitoïdes obtenues ont ensuite été isolées et placées individuellement dans un tube à essai jusqu'à l'émergence.

Après une première identification du genre à partir de la bibliographie (SCHAUFF *et al.*, 1998) sous la direction de C. Villemant (MNHN, Paris), l'identification définitive des espèces a été confiée à M. G. Delvare du CIRAD de Montpellier.

## 4-1-2 Caractéristiques morphologiques et biologiques des espèces inventoriées

Sept espèces appartenant à six genres ont été recensées comme parasitoïdes de *P. citrella* dans la région de Mostaganem. Toutes sont des chalcidiens appartenant à trois sous-familles de la famille des Eulophidae. Les principaux caractères utilisés pour diagnostiquer, seront présentés ici, permettant de distinguer les sous-familles avant de détailler les caractéristiques morphologiques et biologiques des espèces obtenues dans les élevages, en précisant l'étendue de leur répartition géographique et de leur spectre d'hôtes. Le tableau 3 (cf. chapitre 2) regroupe la liste des pays où chacune de ces espèces a été signalée. Cette liste ainsi que la liste des synonymes, celle des hôtes connus de ces espèces et les références bibliographiques correspondantes sont disponibles sur la base de données « Universal Chalcidoid Database » du National History Museum de Londres (NHM, 2007).

### 4-1-2-1 Les Eulophidae

Les **Eulophidae** se reconnaissent à leurs tarse de 4 articles ; l'éperon de leur tibia antérieur est droit et leur funicule antennaire formé de 2 à 4 articles. Leurs coxas postérieures ne sont pas aplaties. On distingue parmi eux trois sous-familles sur la base des caractères suivants (BOUCEK, 1988 ; SCHAUFF *et al.*, 1998 ; DELVARE, 2003) :

- les **Entedoninae** dont le scutellum ne possède qu'une paire de soies et le mésonotum est généralement dépourvu de notauli. La face porte des sillons ou des lignes subantennaires

- les **Tetrastichinae** avec la nervure postmarginale réduite ou absente, le scutellum pourvu de une à deux paires de sillons sublatéraux, les notauli toujours bien développés et les axilles fortement avancées. Le funicule antennaire possède trois segments chez la femelle et quatre chez le mâle ;

- les **Eulophinae** caractérisés par la présence de la nervure postmarginale au moins aussi longue que la moitié de la nervure stigmale (Fig. 16). Chez aucune espèce de cette sous-famille, il n'est possible de trouver au niveau du funicule antennaire, trois segments chez la femelle et quatre chez le mâle.

#### **4-1-2-2 Genre *Cirrospilus* Westwood 1832 (Eulophidae : Eulophinae)**

Espèce type du genre : *Cirrospilus variegatus* (Masi) (BOUCEK, 1959)

Synonymes : 15 synonymes dont *Atoposoma*, *Cirrospilopsis*, *Giraultia* (NOYES, 2001)

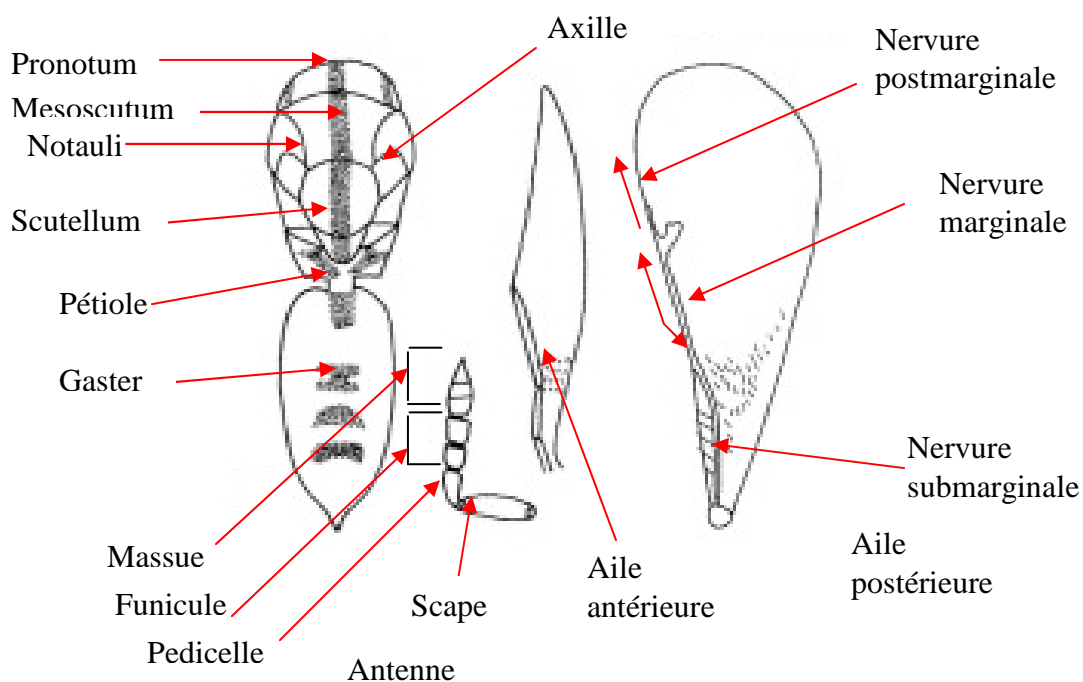
Caractères intrinsèques (Fig. 16) : Ce genre est caractérisé par des tarsi de 4 articles et un funicule antennaire avec deux segments (GRAHAM, 1959). La nervure submarginale avec au moins 3 soies dorsales et la nervure postmarginale subégale à la stigmale ; la paire postérieure des soies scutellaires est proche de la marge postérieure du scutellum ; les notauli sont distincts et atteignent la marge postérieure du mesoscutum ; le scutellum porte des lignes latérales (SCHAUFF *et al.*, 1998). Les axilles sont non ou peu proéminents antérieurement avec des notauli atteignant le bord postérieur du mesoscutum (DELVARE, 2003). Le mésothorax est souvent nettement réticulé et le corps présente en général des taches jaunes ou si le thorax est complètement noir alors le propodeum est distinctement réticulé (BOUCEK, 1988). Le corps est généralement bicolore, métallique ou non métallique et jaune orange terne (ASKEW, 1968).

Remarque : au moins 19 espèces de ce genre cosmopolite sont connues pour parasiter la mineuse des agrumes à travers le monde (SCHAUFF *et al.*, 1998).

#### ***Cirrospilus vittatus* Walker 1838**

Synonymes : une vingtaine de synonymes dont *Eulophus lineatus* Förster (Boucek, 1959), *Cirrospilus vittatus novickyi* Bakkendorf ; *Atoposomoidea pulcherrima* Mercet (Boucek, 1994).

Caractères intrinsèques (Fig. 16) : La tête est peu épaisse avec des antennes insérées en bas du front (BOUCEK, 1959). Le mesoscutum et le scutellum sont nettement réticulés (ZHU *et al.*, 2002), portent un pétiole court, lisse, inerme et subtriangulaire en vue dorsale (DELVARE, 2003). Caractérisé par une coloration variable à dominance jaune (ASKEW, 1984), le thorax est soit complètement métallique soit jaune avec des bandes longitudinales de longueur variables, sombres, métalliques ou noires avec des ailes hyalines (ZHU *et al.*, 2002) et un gaster généralement en grande partie jaune (GRAHAM, 1959).



**Figure 16 : *Cirrospilus vittatus* Walker** (d'après ZHU *et al.*, 2002)

Distribution géographique : Europe de l'Ouest et de l'Est, Moyen-Orient, Afrique du Nord, Amérique du Nord (NOYES, 2001).

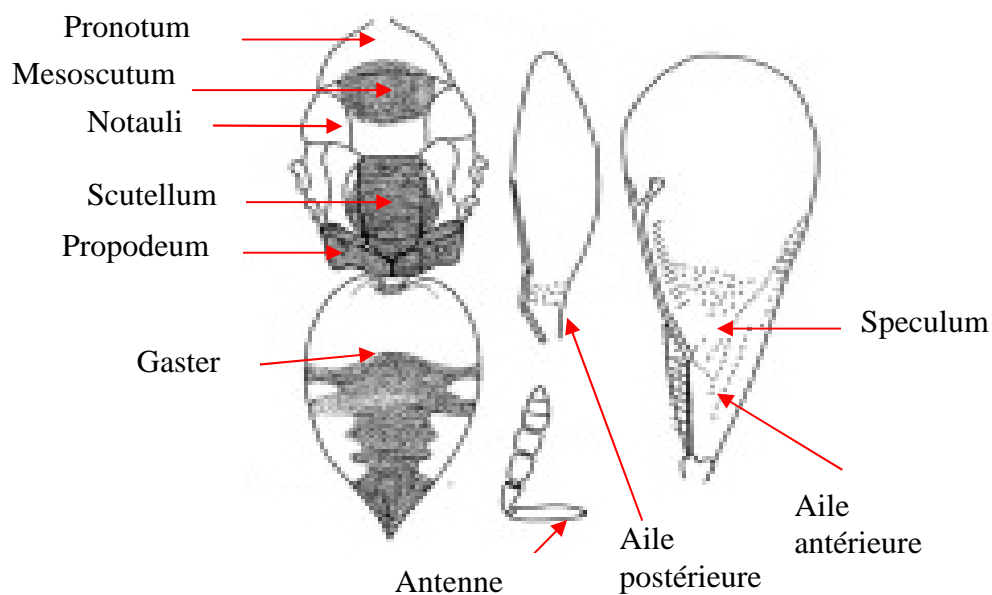
Hôtes : larves mineuses de Coléoptères Curculionidae ; Diptères Agromyzidae, Cecidomyidae ; Lépidoptères divers, surtout Gracillariidae et Nepticulidae ; œufs d'Hyménoptères Symphytes (NOYES, 2001).

Biologie : parasitoïde solitaire ou bien faiblement grégaire (SUNDBY, 1957 in BOUCEK et ASKEW, 1968) ; ectoparasitoïde des larves mineuses d'une centaine d'espèces d'insectes (NOYES, 2001).

#### ***Cirrospilus pictus* Nees 1834**

Synonymes : *Eulophus pictus* Nees, *Eulophus arcuatus* Förster, *Atoposomoidea ogimae* Howard, *Cirrospilus alnicola* Erdős, *Cirrospilus bifasciatus* Walker, *Cirrospilus thasus* Walker (NOYES, 2001) ; *Cirrospilus nigriscutellaris* Sheng et Wang, *Cirrospilus huangyaensis* Yang et Ren (ZHU *et al.*, 2002).

Caractères intrinsèques (Fig. 17) : cette espèce est caractérisée par des notauli droits atteignant le bord postérieur du mesoscutum et un scutellum avec des sillons longitudinaux distincts. La paire antérieure de soies scutellaires est à peine plus courte que la paire postérieure, les ailes antérieures portent au moins une rangée complète de soies le long de la nervure marginale. Le speculum est large, s'étendant antérieurement jusqu'à la moitié de la nervure marginale, alors que le propodeum est étroit et lisse, sans carène ; les ailes sont hyalines et les tibias médians sont de couleur jaune. Le gaster porte une tache noire s'étendant du bord du second tergite jusqu'à l'apex. La coloration est très variable ; tous les mâles ont une large bande brune transversale sur le gaster (ZHU *et al.*, 2002).



**Figure 17 : *Cirrospilus pictus* Nees (d'après ZHU *et al.*, 2002)**

Distribution géographique : Europe de l'Ouest à l'Est, Afrique du Nord, Russie, Chine, Amérique du Nord (Zhu *et al.*, 2002). Espèce d'origine typiquement méditerranéenne (DELUCCHI, 1958 in BOUCEK et ASKEW, 1968).

Hôtes : Parasitoïde de plus de 70 espèces d'insectes : larves mineuses de Lépidoptères Lyonetiidae, Nepticulidae, Tischeriidae, Tortricidae et surtout Gracillariidae, de Coléoptères Curculionidae, de Diptères Agromyzidae mais aussi d'Hyménoptères Braconidae, Ichneumonidae, Cynipidae et Tenthredinidae (NOYES, 2001 ; NHM, 2007).

Biologie : Selon BOUCEK et ASKEW (1968) c'est un Ectoparasitoïde des larves mineuses de feuilles, rarement sur nymphes. NOYES (2001) et Zhu *et al.* (2002) rapportent que c'est un Hyperparasitoïde se développant dans les cocons de Braconidae et d'Ichneumonidae attaquant les mineuses.

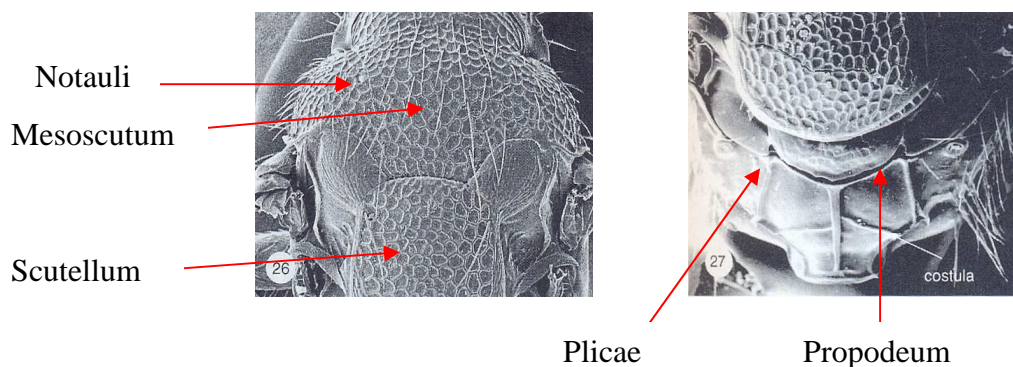
**4-1-2-3 Genre *Pnigalio* Schrank 1802 (Eulophidae : Eulophinae)**

Espèce type du genre : *Pnigalio pectinicornis* (Linnaeus 1758)

Synonymes : *Pingalio* Schrank, *Notanisomorphomyia* Girault, *Tineophaga* Rondani.

Caractères intrinsèques (Fig. 18) : Les tarses sont composés de 4 segments de même que le funicule et cela pour les deux sexes ; la nervure submarginale porte au moins trois soies dorsales, tandis que la nervure postmarginale est plus longue que la stigmale ; les notauli sont incomplets et le scutellum sculpté et non brillant et sans lignes latérales. Le propodeum est lisse et brillant avec une carène médiane et des plicae bien développées et souvent une costula (SCHAUFF *et al.*, 1998). La massue antennaire porte deux segments et le funicule quatre (4) ; le funicule est tripectiné chez le mâle (GRAHAM, 1959).

Remarque : au moins 5 espèces de ce genre essentiellement holarctique sont connues comme parasites de la mineuse des agrumes (SCHAUFF *et al.*, 1998).



**Figure 18 : Genre *Pnigalio* Schrank (d'après SCHAUFF *et al.*, 1998)**

### ***Pnigalio pectinicornis* (Linnaeus 1758)**

Synonymes : existe de nombreux synonymes dont *Eulophus coecilius* Walker, *Elachertus fusciventris* Nees, *Ichneumon pectinicornis* Linnaeus, *Ichneumon aeneusramicornis* Retzius.

Caractères intrinsèques (Pl. 3) : Les antennes sont ramifiées chez le mâle (DELUCCHI, 1958). Le Thorax est généralement de couleur noir et parfois brun-vert ou bleu-vert (ASKEW, 1968). Le Scutellum est distinctement sculpté mais sans lignes latéro-longitudinales (SCHAUFF *et al.*, 1998). Les ailes sont hyalines ou tirant vers le jaune au centre, le speculum est de taille moyenne et les métapleures portent 1 à 5 soies (GRAHAM, 1959). Les pattes sont oranges ternes, noires ou présentent la combinaison des deux couleurs, mais jamais marquées par le jaune pâle (ASKEW, 1968). Le propodeum avec plicae et costulae limitant une aire médiane caractéristique (DELVARE, 2003). L'abdomen de la femelle est ovoïde et aussi long que le thorax (DELUCCHI, 1958).

Distribution géographique : de l'Europe occidentale jusqu'à la Russie, Chine, Australie (NOYES, 2001).

Hôtes : il existe une centaine d'espèces d'hôtes, Coléoptères Anobiidae, Chrysomelidae et surtout Curculionidae, Diptères Agromizyidae et Tephritidae mais surtout Lépidoptères mineurs principalement des Gracillariidae (*Lithocolletis* spp., *Phyllonorycter* spp.) mais aussi Nepticulidae, Lyonetidae etc... (BOUCEK et ASKEW, 1968 ; NOYES, 2001). Parmi eux citons notamment *Phyllonorycter messaniella* (DELUCCHI, 1958 ; SWAN, 1973), *Phyllonorycter blancardella* (BLOMMERS et VAAL, 1996) et la mouche *Prays olea* (RAMOS et PANIS, 1975).

Biologie : ectoparasitoïde primaire solitaire mais aussi hyperparasitoïde de chenilles de Gracillariidae via le Braconidae *Apanteles circumscriptus* (VIGGIANI, 1962) ou l'Eulophidae *Enaysma splendens* (DELUCCHI, 1958).



**Planche 3 : *Pnigalio pectinicornis* (Linnaeus 1758)**

**(Photos originales) :** ♀ femelle ; ♂ mâle

#### 4-1-2-4 Genre *Semielacher* Boucek 1988 (Eulophidae : Eulophinae)

Espèce type du genre : *Semielacher silvicola* Boucek 1988.

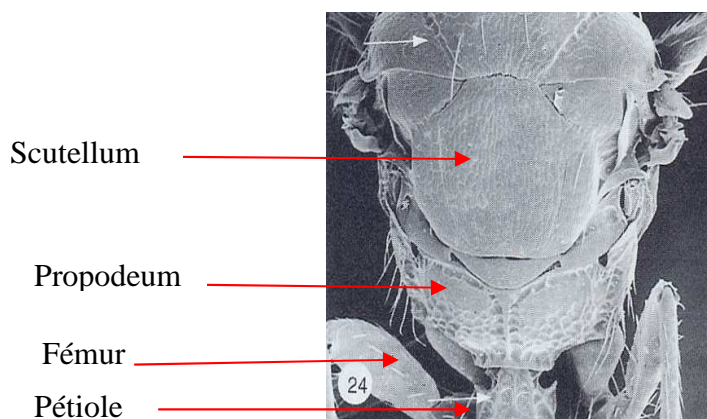
Caractères intrinsèques (Fig. 19) : Les tarses sont composés de 4 articles et le funicule de 2 articles pour les deux sexes, la face avec des insertions tentoriales (paire de punctuations visibles au dessus du clypéus) bien distinctes, caractérisés par un pronotum large et subcarré ; les notauli sont complets ; la nervure submarginale porte au moins 3 soies dorsales et la nervure postmarginale est présente ; le pétiole est court mais bien distinct et subcarré avec des dents saillantes (BOUCEK, 1988 ; SCHAUFF *et al.*, 1998).

Remarque : ce genre n'est connu que dans la région australienne avec comme hôte unique *P. citrella*. L'espèce *S. petiolatus* a été introduite dans la région paléarctique dans une perspective de lutte biologique contre la mineuse des agrumes ; elle se répand actuellement dans le Bassin méditerranéen (SCHAUFF *et al.*, 1998 ; BOUALEM *et al.*, 2007).

#### *Semielacher petiolatus* (Girault 1915)

Synonyme : *Pseudiglyphella petiolatus* Girault, 1915.

Caractères intrinsèques (Fig. 19) : C'est la seule espèce connue comme parasitoïde de *P. citrella* qui possède à la fois un funicule de deux articles dans les deux sexes et un pétiole bien distinct (SCHAUFF *et al.*, 1999). Elle se caractérise par une massue antennaire ovoïde et un thorax fortement aplati, brun sombre à noir et dépourvu d'éclat métallique (DELVARE, 2003). Le gaster est jaune chez la femelle et en partie marron chez le mâle (ARGOV et ROSSLER, 1996).



**Figure 19 :** *Semielacher petiolatus* (d'après SCHAUFF *et al.*, 1998)

Distribution : Australie (ARGOV et ROSSLER, 1996) ; Iles Salomon (SCHAUFF *et al.*, 1998). Algérie (SAHARAOUI *et al.*, 2001 ; BOUALEM *et al.*, 2007) ; Maroc (ABBASSI *et al.*, 1999 ; RIZQI *et al.*, 2003); Tunisie (KHEDER *et al.*, 2002) ; Afrique du Nord (LIOTTA *et al.*, 2003) ; Italie et Sicile (MASSA *et al.*, 2001) ; Espagne (GARCIA-MARI *et al.*, 2004 ; VERCHER *et al.*, 2000) ; Grèce (MICHELAKIS et VACANTE, 1997) ; Chypre (SCISCARO *et al.*, 1999) ; Turquie (ELEKÜOULU et UYGUN, 2006); Israël (ARGOV et ROSSLER, 1996 ; ARGOV et ROSSLER, 1998); Jordanie (ATEYYAT, 2002) ; Syrie (ALKHATEEB *et al.*, 1999) ; Oman (SISCARO *et al.*, 1999b).

Hôtes : Diptères (Agromyzidae) : *Agromyza hiemalis*, *Chromatomyia horticola*, *Chromatomyia syngenesiae*, *Liriomyza bryoniae*. Lepidoptères Gracillariidae (*Dialectica scalarrella*, *Phyllocnistis citrella*), Momphidae (*Cosmopterix pulchrimella*), Nepticulidae (*Stigmella aurella*) (MASSA *et al.*, 2001 ; NHM, 2007).

Biologie : ectoparasitoïde solitaire de *P. citrella* ; les œufs sont déposés à coté de la larve hôte ; les stades parasités sont le second et le troisième (ARGOV et ROSSLER, 1996, 1998).

#### **4-1-2-5 Genre *Citrostichus* Boucek 1988 (Eulophidae : Tetrastichinae)**

Espèce type du genre : *Citrostichus phyllocnistoides* (Narayanan) (BOUCEK, 1988)

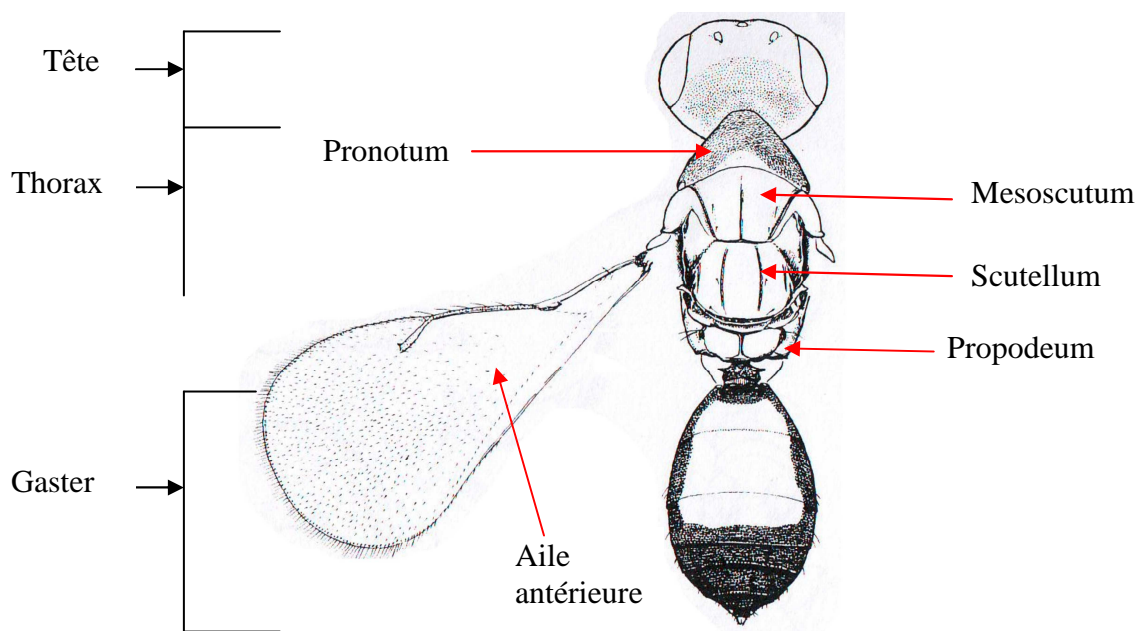
Caractères intrinsèques (Fig. 20) : Le tarse porte 4 articles, le funicule est de 3 segments chez la femelle et de 4 chez le mâle ; l'occiput est habituellement large, mat et granuleux ; le foramen magnum est plus proche de la bouche que des ocelles et la marge clypéale est droite ou légèrement arquée (BOUCEK, 1988). La nervure submarginale porte une seule soie dorsale et le gaster est porté par un pétiole distinct (DELVARE, 2003). Le scutellum porte deux paires de soies et deux paires de lignes longitudinales. Le corps est généralement brun noir avec un gaster portant de larges taches blanches dorsales (SCHAUFF *et al.*, 1998).

Remarque : ce genre n'est connu que de quelques espèces dont seule *C. phyllocnistoides* a été décrite et signalée comme parasitoïde de *P. citrella* (SCHAUFF *et al.*, 1998).

### ***Citrostichus phyllocnistoides* (Narayanan 1960)**

Synonymes : *Cirrospilus phyllocnistoides* Narayanan, 1960, *Cirrospiloideus phyllocnistoides* (Narayanan, 1960), *Cirrospilus phyllocnistidis* Narayanan, *Citrostichus phyllocnistoides* (Narayanan, 1960), *Tetrastichus phyllocnistoides* (Narayanan, 1960) (NOYES, 2001).

Caractères intrinsèques : Cette espèce porte un thorax nettement aplati et un pétiole court mais distinct présentant de chaque côté une petite dent ; le gaster est caractérisé par une large tache jaune pâle sur sa moitié antérieure (DELVARE, 2003).



**Figure 20 : *Citrostichus phyllocnistoides* (d'après Boucek, 1988)**

Distribution géographique : Australie (BOUCEK, 1988) ; Chine (SHENG *et al.*, 1995) ; Région paléarctique, Afrique et Asie (NOYES, 2001), Argentine (NHM, 2007).

Hôtes : *Trioza absoluta* (Hemiptère Triozidae) ; *Acalyptris minimella* ; *Stigmella* sp. (Lépidoptères Nepticulidae) ; *Phyllocnistis citrella* (SCHAUFF *et al.*, 1998).

Biologie : Ectoparasitoïde solitaire (ARGOV et ROSSLER, 1996) ; parasite le second et troisième stade larvaire de son hôte (DING *et al.*, 1989).

#### 4-1-2-6 Genre *Closterocerus* Westwood 1833 (Eulophidae : Entedoninae)

Espèce type du genre : *Closterocerus trifasciatus* Westwood (NOYES, 2001)

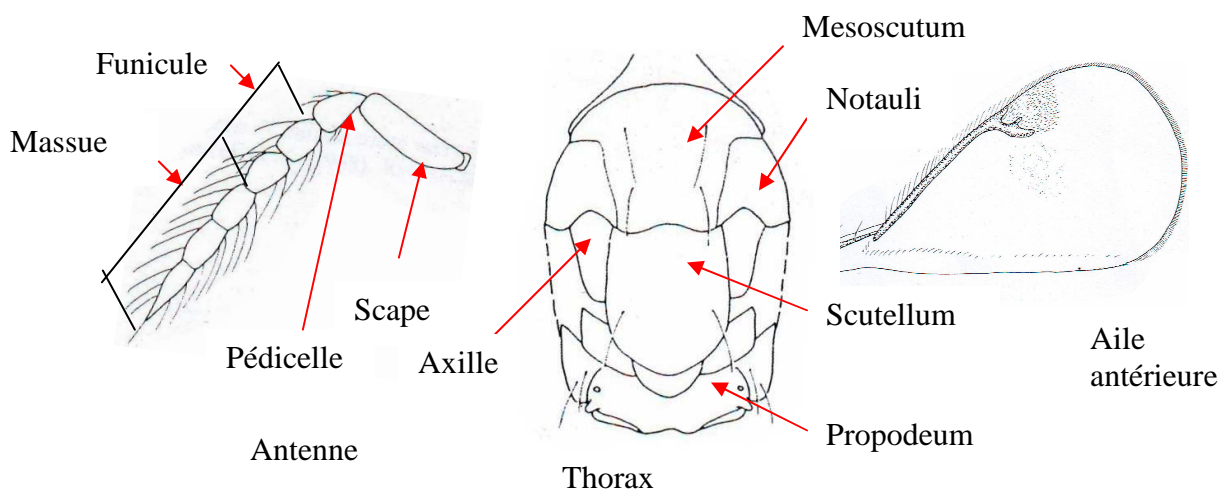
Synonymes : de très nombreux synonymes dont *Achrysochis*, *Achrysocharella*, *Neochrysocharis* (NOYES, 2001).

Caractères intrinsèques : Les tarsi portent 4 articles ; la nervure submarginale est pourvue de 2 soies et la nervure postmarginale est pas ou à peine plus longue que la stigmale. Les lignes frontales sont en forme de V et forment un Y avec la ligne scrobale ; le clypéus est séparé de la face par un sillon ; l'aile antérieure est caractérisée par une ligne de soies bien distincte qui s'étend au-delà de la nervure stigmale et souvent avec 1 à 3 bandes foncées. La nervure submarginale porte deux soies ; le propodeum est sans carènes médianes ni plicae (Fig. 21) et le pétiole est indistinct (SCHAUFF *et al.*, 1998 ; DELVARE, 2003). Le funicule porte deux segments (GATES *et al.*, 2002). Les antennes sont nettement comprimées et le scape est subtriangulaire (BOUCEK, 1988).

#### *Closterocerus formosus* Westwood 1833

Synonymes : très nombreux synonymes dont *Neochrysocharis formosa* (Westwood) (HANSSON, 1990), *Entedon phaenna* Walker (BOUCEK et ASKEW, 1968) ; *Chrysonotomyia formosa* Westwood (BOUCEK, 1977).

Caractères intrinsèques (Fig. 21) : le corps est à dominance vert pomme avec des reflets métalliques vert bleuté, les antennes sont entièrement noires (HANSSON, 1990).



**Figure 21:** *Closterocerus formosus* Westwood (d'après HANSSON, 1990)

Distribution géographique : Afrique ; Australie ; Europe ; Asie, Océanie, Amérique du Nord et du Sud (NOYES, 2001). Largement répandu dans le bassin méditerranéen (SCHAUFF *et al.*, 1998).

Hôtes : larves mineuses de Coleoptères Chrysomelidae et Curculionidae, de Diptères Agromyzidae, Cecidomyiidae, Drosophilidae et Tephritidae, de Lepidoptera (nombreuses familles, surtout Gracillariidae et Nepticulidae) ; de larves d'Hémiptères Aleyrodidae et Aphididae ; d'œufs d'Hyménoptères Symphytes (NOYES, 2001).

Biologie : C'est une espèce endoparasitoïde solitaire et polyphage, s'attaquant à plus de 80 insectes hôtes, surtout aux larves mineuses des diptères, lépidoptères, coléoptères et hyménoptères et aux œufs des tenthrèdes du pin (HANSSON, 1990 ; NOYES, 2001).

#### **4-1-2-7 Genre *Pediobius* Walker 1846** (Eulophidae : Entedoninae)

Synonymes : de nombreux synonymes dont *Entedon* (*Pediobius*) Walker, *Rhopalotus* Förster, *Entedonomyia* Girault, *Mesentedon* Girault (NOYES, 2001).

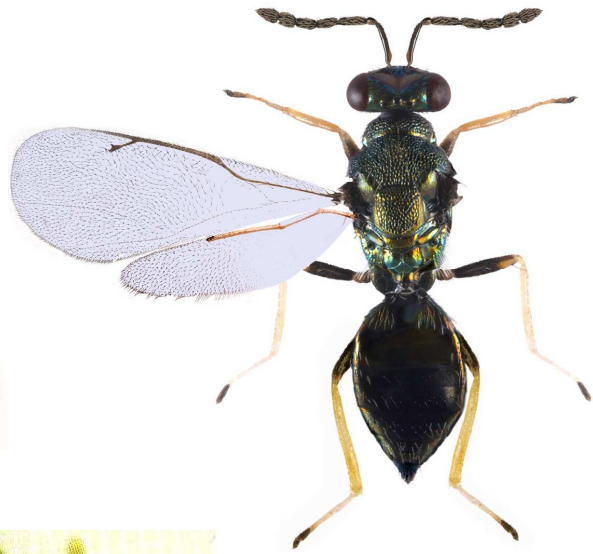
Caractères intrinsèques : Le tarse est de 4 segments ; la suture fronto-faciale est en forme de V et la marge antérieure du pronotum est carénée. Le mesoscutum est sans sillon médian ; le scutellum est avec une seule paire de soies et sans sillon médian ; la nervure submarginale est longue avec deux soies dorsales, alors que les nervures stigmale et postmarginale sont courtes. Le propodeum est caractérisé par la présence d'une paire de carènes médianes qui divergent postérieurement et des plicae latérales, le pétiole est présent et distinct. Le corps est fortement sclérotisé (BOUCEK, 1965 ; SCHAUFF *et al.*, 1998).

Biologie : genre cosmopolite, s'attaque à une très large variété d'hôtes en tant que parasitoïde primaire ou secondaire (SCHAUFF *et al.*, 1998) mais connu surtout comme hyperparasitoïde de nombreuses familles d'insectes (Hémiptères, Lépidoptères, Hyménoptères, Coléoptères) via des Hyménoptères Chalcidiens, Ichneumonidae et Braconidae (NOYES, 2001).

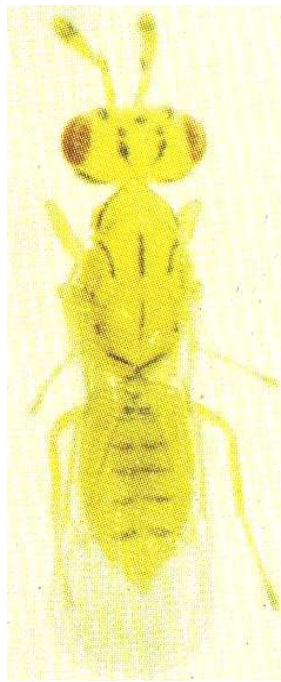
Remarque : une seule espèce encore indéterminée de *Pediobius* était connue comme parasitoïde de *P. citrella* en Indonésie (SCHAUFF *et al.*, 1998). Alors qu'une autre est présente dans la région de Mostaganem, mais toujours pas identifiée (BOUALEM, 2007, 2008).



a



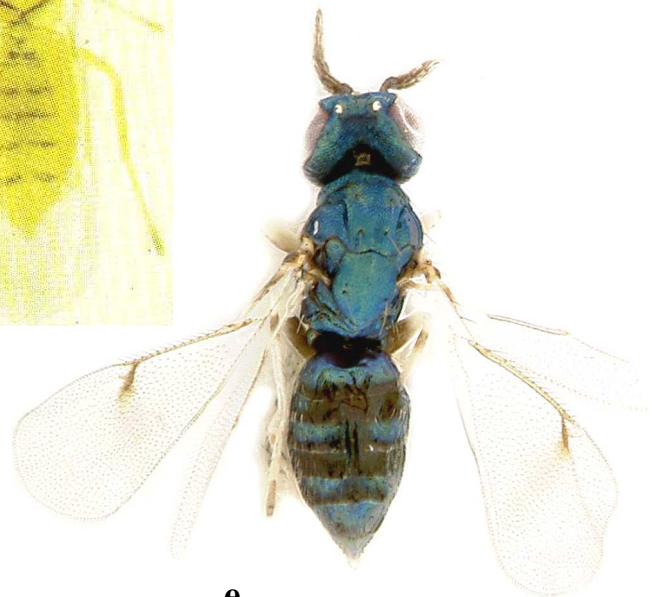
b



c



d



e

**Planche 4 : espèces parasitoïdes autochtones inventoriées durant l'étude :**

(a) *Cirrospilus pictus* Nees (1) ; (b) *Pnigalio pectinicornis* Linnaeus (2) ; (c) *Cirrospilus vittatus* Walker (3) ; (d) *Pediobius* sp. (1) ; (e) *Closterocerus formosus* Westwood (1).

1- H.-P. Aberlenc (Cirad-CBGP) ; 2- G. Delvare (Cirad-CBGP) ; 3- Vercher *et al.* (1995)



**a**



**b**

**Planche 5 : Espèces parasitoïdes allochtones inventoriées durant l'étude :**  
(a) *Semielacher petiolatus* Girault (1) ; (b) *Citrostichus phyllocnistoides* Narayanan (1)  
1- H.-P. Aberlenc (Cirad-CBGP)

## 4-1-2 Abondance relative des parasitoïdes inventoriés

### 4-1-2-1 Première année

L'inventaire de la faune parasitoïde inféodée à *P. citrella* au cours de la première année a permis de mettre en évidence la présence de sept espèces d'hyménoptères dont deux d'origine exotique : *Semielacher petiolatus* et *Citrostichus phyllocnistoides* (Fig. 22) (BOUALEM *et al.*, 2007 ; 2008). Parmi ces espèces, trois nouveaux antagonistes ont été signalés par BOUALEM *et al.* (2007) : *C. formosus*, *P. pectinicornis* et *C. phyllocnistoides*. Leur présence en Algérie peut s'expliquer de plusieurs façons : soit ces espèces existaient déjà dans la région avant l'introduction du ravageur (cas probable de *P. pectinicornis* ou *C. formosus*), soit elles ont suivi ce dernier par dispersion naturelle depuis un pays limitrophe tels que le Maroc (cas de *C. phyllocnistoides*). *C. phyllocnistoides* aurait pu aussi avoir été introduit de façon accidentelle lors des lâchers d'autres parasitoïdes dans le cadre des programmes de lutte biologique mis en œuvre par les Services de la Protection des Végétaux (BOUALEM *et al.*, 2007).

Les cinq espèces considérées comme autochtones : *Cirrospilus pictus*, *C. vittatus*, *Closterocerus formosus*, *Pnigalio pectinicornis* et *Pediobius* sp. (Pl. 4) avaient en 2003 des abondances relatives respectives de 19,1 ; 3,5 ; 2,6 ; 2,6 et 0,9% (Fig. 22) tandis que celle de *C. phyllocnistoides* atteignait 7,8% (Pl. 5).

*S. petiolatus* (Pl. 5) est la seule des espèces exotiques introduites volontairement dans la région (BERKANI, comm. pers ; SAHARAOU *et al.*, 2001) qui a été retrouvée lors de l'étude (Fig. 22). C'est aussi la seule des quatre espèces lâchées en Mitidja à s'être acclimatée (SAHARAOU *et al.*, 2001). Cet insecte, qui a été introduit dans plusieurs autres pays méditerranéens (ROSSLER *et al.*, 1997 ; KHEDER *et al.*, 2002 ; RIZQI *et al.*, 2003 ; GARCIA-MARI *et al.*, 2004 ), se serait répandu spontanément en Italie et en Jordanie (MASSA *et al.*, 2001). *S. petiolatus* avait en 2003, une abondance relative de 63,5%, ce qui correspond à l'activité parasitaire de loin la plus importante par rapport à l'ensemble des espèces inventoriées (Fig. 22a).

Les relevés ont mis en évidence une présence régulière de *S. petiolatus*, *C. pictus* et *C. phyllocnistoides*. L'abondance relative des espèces a varié avec une prédominance de *C. pictus* aux mois de juillet et août, et celle de *S. petiolatus* durant les autres mois (cf. Annexe 32).

#### 4-1-2-2 Deuxième année

La deuxième année a révélé également la présence des mêmes espèces de parasitoïdes avec les abondances relatives suivantes : 30,1, 39,8, 1,8, 5,3, 14,1, 1,8 et 7,1% respectivement pour *S. petiolatus*, *C. pictus*, *C. vittatus*, *C. formosus*, *P. pectinicornis*, *Pediobius* sp., et *C. phyllocnistoides* (Fig. 22b). Dans l'ensemble *S. petiolatus* était deux fois moins abondant que l'année précédente au profit de *C. pictus* et de *P. pectinicornis* dont l'abondance a doublé. Les proportions mensuelles de chacune des espèces ont montré une présence régulière de *S. petiolatus* et *C. pictus* durant les différents mois avec une prédominance de *C. pictus* au mois d'août et octobre (cf. Annexe 33).

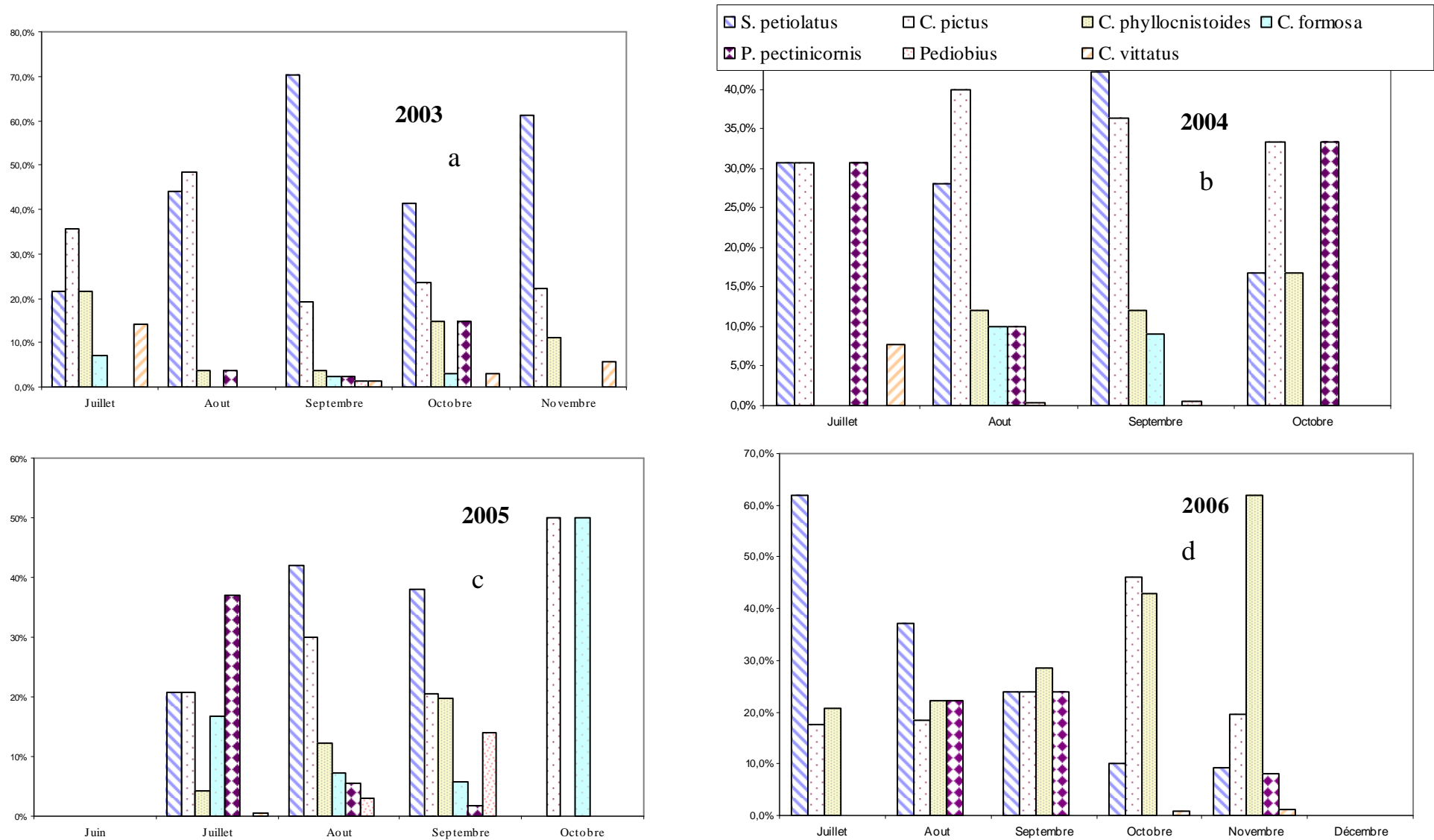
#### 4-1-2-3 Troisième année

Les abondances relatives en 2005 ont été les suivantes : *S. petiolatus* à 43,6%, *C. pictus* à 25,8%, *C. phyllocnistoides* à 13,8%, *C. formosus* à 6%, *Pediobius* sp. à 6%, *P. pectinicornis* à 4,3 % et *C. vittatus* à 0,6%, soit des chiffres relativement proches de ceux de l'année précédente excepté pour *C. pictus* et *P. pectinicornis* dont l'abondance semble plus faible (Fig. 22c). *S. petiolatus*, *C. pictus*, *C. phyllocnistoides* et *C. formosus* ont été actifs de juillet à octobre, avec une prédominance de *S. petiolatus* aux mois d'août et septembre et de *C. pictus* au mois d'octobre (cf. Annexe 34).

#### 4-1-2-4 Quatrième année

Lors de la quatrième année d'inventaire, cinq espèces seulement ont été observées ; il s'agit de : *C. phyllocnistoides*, *C. pictus*, *S. petiolatus*, *P. pectinicornis* et *C. vittatus*, avec des abondances relatives respectives de 32,5 ; 29,4 ; 24,8 ; 12,6 et 0,61% ; (Fig. 22d) montrant une nette augmentation des populations de *C. phyllocnistoides* aux dépens des autres parasitoïdes.

La présence mensuelle des espèces inventoriées a permis de faire ressortir l'activité constante de *S. petiolatus*, *C. pictus* et *C. phyllocnistoides* de juillet à novembre avec une dominance de *S. petiolatus* aux mois de juillet et août, de *C. pictus* au mois d'octobre et de *C. phyllocnistoides* aux mois de septembre et novembre (cf. Annexe 35).



**Figure 22 : Abondance relative mensuelle des parasitoïdes dans la région de Mostaganem**

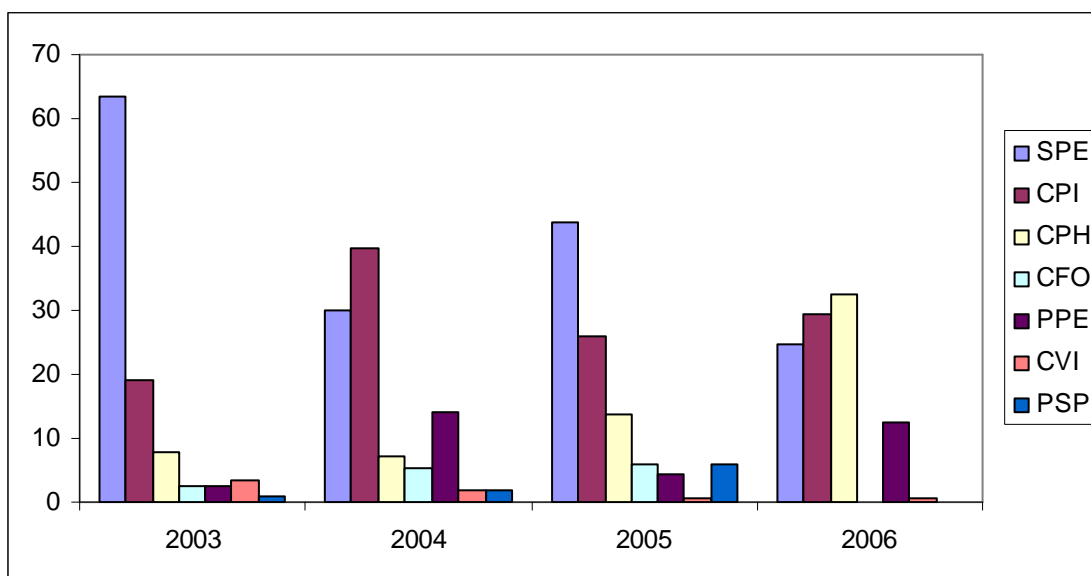
#### 4-1-3 Évolution de l'abondance relative des espèces (2003 et 2006)

L'inventaire échelonné sur quatre années a permis d'observer le même nombre d'espèces de parasitoïdes au cours des trois premières années, tandis qu'à la dernière *C. formosus* et *Pediobius* sp. étaient absents (Fig. 23). Par contre, les populations de *C. phyllocnistoides* ont progressivement augmenté, devenant ainsi l'espèce dominante parmi les parasitoïdes de *P. citrella* durant la dernière année de l'étude, avec des proportions de 32,5%. *S. petiolatus*, espèce dominante après son introduction en 1995, a perdu du terrain, passant ainsi d'une présence de l'ordre de 63,5% en 2003 à 24,8% en 2006. La troisième espèce est l'autochtone *C. pictus* dont l'activité a été importante et s'est stabilisée à des niveaux compris entre 20 et 40% des parasitoïdes présents.

Les résultats observés se rapprochent de ce qui a été constaté en Espagne où l'expansion et la prédominance croissante de *C. phyllocnistoides* s'est faite au dépens des autres espèces autochtones, trois ans après son introduction (GARCIA-MARI *et al.*, 2004). En Sicile, SCISCARO *et al.* (2003) et LO GENCO *et al.* (2008) constatent que *C. phyllocnistoides* est l'un des ennemis naturels de *P. citrella* les plus efficaces avec *S. petiolatus*. ARGOV *et al.* (1998) remarquent qu'en Israël, *C. phyllocnistoides* est l'auxiliaire le plus performant et le plus efficace devant *S. petiolatus* et *C. ingenuus*. WANG *et al.* (2006) à Fuzhou au Sud-Est de la Chine constatent également l'efficacité de *C. phyllocnistoides* dans la régulation des populations de *P. citrella*. Dans de nombreux pays, cette espèce est considérée actuellement comme l'un des auxiliaires les plus efficaces contre ce ravageur (CANELLAS et MARTINEZ, 2002 ; GARCIA *et al.*, 2000 ; URBANEJA *et al.*, 2000 ; VERCHER *et al.*, 2003 ; GARCIA-MARI *et al.*, 2004 ; WANG *et al.*, 2006). Les résultats montrent que *C. phyllocnistoides*, dont l'arrivée en Algérie n'est pas due à une introduction volontaire, commence à s'implanter efficacement dans la région de Mostaganem aux dépens des autres espèces parasitoïdes inféodées à *P. citrella*.

L'espèce exotique *S. petiolatus* et l'espèce autochtone *C. pictus* se sont montrées les plus efficaces au cours des trois premières années de l'étude ; leur présence est régulière tout au long de la période d'activité de la mineuse. Selon KHEDER *et al.* (2002), l'impact croissant de *S. petiolatus* depuis son introduction en Tunisie, semble avoir provoqué une diminution de l'impact des parasitoïdes indigènes, à l'exception de *C. pictus* dont l'activité parasitaire se maintient à un niveau non négligeable. C'est le même phénomène qui semble s'être produit en Algérie depuis l'introduction de *S. petiolatus*. La situation semble toutefois se modifier peu à peu, avec l'arrivée et la dominance progressive de *C. phyllocnistoides*. Dans de nombreux pays, cette dernière espèce est désormais considérée comme l'un des antagonistes les plus performants de *P. citrella*

(VERCHER *et al.*, 2003 ; GARCIA-MARI *et al.*, 2004).



**Figure 23 : Abondance des différentes espèces de parasitoïdes de la mineuse**

SPE : *Semiela cher petiolatus* ; CPI : *Cirrospilus pictus* ; CPH : *Citrostichus phyllocnistoides*; CFO : *Closterocerus formosus*; PPE : *Pnigalio pectinicornis*; CVI : *Cirrospilus vittatus* ; PSP *Pediobius* sp. (hyperparasitoïde)

## 4-2 Durée du cycle biologique des parasitoïdes

En lutte biologique, une bonne connaissance de la biologie des auxiliaires est nécessaire pour réguler les populations des phytophages ennemis des cultures. La connaissance des exigences climatiques et biologiques de chaque espèce entomophages permet de créer des conditions favorables à un élevage en masse dans des conditions contrôlées ou semi-contrôlées.

C'est dans cette perspective que les six principales espèces répertoriées ont fait l'objet d'un suivi du cycle biologique au laboratoire.

### 4-2-1 Matériel et méthodes

Pour chaque échantillon, les larves de *P. citrella* portant des œufs de parasitoïdes fraîchement pondus ont été isolées, puis placées dans un milieu artificiel préconisé par MURASHIGUE et SKOOG (1962) à une température moyenne de  $29 \pm 1,03^{\circ}\text{C}$ , une humidité relative de 60 à 75% et une photopériode de 16 / 8 jusqu'au stade nymphal. Les nymphes des parasitoïdes ont été ensuite transférées individuellement dans des tubes numérotés ; après l'émergence, les adultes des parasitoïdes ont été identifiés.

Le suivi du développement des parasitoïdes est effectué quotidiennement et deux fois par jour (matin et soir).

### 4-2-2 Résultats et discussion

Il ressort de cette étude que, sous des conditions d'élevage identiques, les différentes espèces de parasitoïdes ont des cycles biologiques différents (Tab. 15). L'espèce qui a montré la durée de développement la plus courte est *S. petiolatus* avec  $12,43 \pm 3$  jours. SCISCARO *et al.* (2003) et ARGOV et ROSSLER (1996) signalent que *S. petiolatus* accomplit son cycle biologique en 10 jours sous une température moyenne de  $25^{\circ}\text{C}$ , tandis que sous la même température LIM et HOY (2005) ont noté un cycle de 8,4 à 9,5 jours.

*C. phyllocnistoides* et l'hyperparasitoïde *Pediobius* sp. ont au contraire montré la durée de développement la plus longue (17 jours). Selon ARGOV et ROSSLER (1996), le cycle de vie de *C. phyllocnistoides* à une température de  $25^{\circ}\text{C}$  est de 12 jours.

La durée de développement des trois autres espèces était comprise entre 14 et 15 jours (BOUALEM *et al.*, 2008). KALAITZAKI *et al.* (2007) ont noté la variation de la durée de développement de *P. pectinicornis* selon la température :  $24,12 \pm 0,34$  jours à  $15^{\circ}\text{C}$  ;  $12,35 \pm 0,11$  jours à  $20^{\circ}\text{C}$  ;

8,99 ± 0,13 à 25°C ; 8,24 ± 0,10 à 30°C et 8,61 ± 0,04 jours à 32,5°C alors que la durée moyenne enregistrée pour *P. pectinicornis* au cours de l'expérimentation a été de 14,80 ± 3,07 jours. URBANEJA *et al.* (2001b) signalent qu'avec un photopériodisme de 16 / 8, *Cirrospilus* a accompli son cycle en 16,39 ± 0,33 jours pour le mâle et 17,11 ± 0,39 jours pour la femelle.

**Tableau 15** : Durée du développement postembryonnaire des parasitoïdes de la mineuse

Espèces	Effectif	Durée de développement (jours)
<i>Semielacher petiolatus</i>	139	12,43 ± 3
<i>Cirrospilus pictus</i>	102	14,81 ± 3,39
<i>Citrostichus phyllocnistoides</i>	92	14,77 ± 2,52
<i>Pnigalio pectinicornis</i>	42	14,80 ± 3,07
<i>Closterocerus formosus</i>	44	17 ± 2,94
<i>Pediobius sp.</i>	26	16,96 ± 3,34

Le suivi du développement de chacun des stades postembryonnaires des différentes espèces étudiées montre que leur durée diffère peu d'une espèce à l'autre ; ainsi dans les conditions d'élevage de l'essai (29 ± 1,03°C), le stade embryonnaire dure entre 2 et 4 jours ; le développement larvaire s'effectue en 4 à 5 jours et enfin le stade nymphal dure entre 5 à 7 jours (Tab. 16).

**Tableau 16** : Durée de développement à 29 ± 1,03°C des différents stades des parasitoïdes de *P. citrella*

Espèce	Cœufs	Larves	Nymphes	Total
Durée de vie				
<i>Semielacher petiolatus</i>	2,79 ± 1,39	4,14 ± 1,55	5,50 ± 1,52	12,43 ± 3
<i>Cirrospilus pictus</i>	3,83 ± 1,53	4,61 ± 1,85	6,38 ± 2,18	14,81 ± 3,39
<i>Citrostichus phyllocnistoides</i>	4,12 ± 2,04	4,59 ± 1,74	6,06 ± 1,69	14,77±2,52
<i>Pnigalio pectinicornis</i>	3,31 ± 1,13	4,38 ± 1,06	7,12 ± 1,31	14,80 ± 3,07
<i>Closterocerus formosus</i>	3,63 ± 1,36	5,91 ± 1,51	7,45 ± 1,82	17 ± 2,94
<i>Pediobius sp.</i>	3,61 ± 1,35	5,46 ± 1,10	7,88 ± 1,27	16,96 ± 3,34

Ces résultats apportent des informations sur la durée du développement des différentes espèces de parasitoïdes à 29°C, correspondant à des températures sévissant dans la région. Pour

avoir une meilleure idée de l'influence de la température sur l'évolution du développement des parasitoïdes, il serait intéressant dans l'avenir de répéter cette expérimentation à différentes températures (inférieures et supérieures à 29°C) afin de mieux apprécier les durées maximales et minimales de développement de chacune des espèces mais aussi de déterminer quelles sont les températures extrême pouvant être supportées par les insectes.

Les travaux d'URBANEJA *et al.* (2000) à Valence, ont mis en évidence que la durée du cycle biologique de *C. brevis* a varié de 50,2 à 9,1 jours sous des températures variant entre 15 et 30°C (URBANEJA *et al.*, 2001a), alors que son exposition à différentes photopériodes : 16:8 ; 12:12 et 8:16 (L: D) n'a eu aucun effet sur son développement (URBANEJA *et al.*, 2001b).

## Conclusion

Plusieurs travaux ont été réalisés en Algérie depuis l'introduction de *Phyllocnistis citrella* (BERKANI, 1995 ; 1996 ; 1998 ; 1999 ; 2003 ; DOUMANDJI *et al.*, 1999 ; SAHARAOUI *et al.*, 2001). Les six dernières années, l'étude de la dynamique des populations du ravageur (BOUALEM, 2002 ; BOUALEM *et al.*, 2007 ; 2008) a mis en évidence, l'impact des dégâts sur les *Citrus* dans la région de Mostaganem par une évaluation des infestations et en particulier l'identification des facteurs de régulation naturelle du phytophage. Les travaux effectués entre 2003 et 2006 ont permis d'apporter de nouvelles données sur le mode de vie de la mineuse, mais également sur l'évolution de ses populations, l'impact de ses ennemis naturels (parasitisme et prédation) et de certains facteurs abiotiques tels que le climat. L'étude a été enrichie par un inventaire du complexe parasitaire de *P. citrella* et complétée par une connaissance du cycle biologique de chacune des espèces entomophages observées sur le site d'investigation.

La première partie est une synthèse bibliographique des données sur le ravageur, sa plante hôte et ses ennemis naturels.

Le premier chapitre rappelle la situation de l'agrumiculture en Algérie et dans la région concernée avant de décrire la biologie du ravageur et les méthodes de lutte mises en œuvre dans le cadre d'une lutte raisonnée.

Le second chapitre fait le point des connaissances acquises sur les parasitoïdes autochtones et exotiques et leur impact sur *P. citrella* dans le monde, par une synthèse des publications scientifiques. Un tableau récapitule la liste des parasitoïdes recensés jusqu'à ce jour en précisant leur nom scientifique actuel, les synonymes utilisés auparavant, et enfin les pays où ils ont été observés en distinguant l'aire d'origine et les acclimatations.

Le troisième chapitre traite de la dynamique des populations de *P. citrella* avec pour corollaire un certain nombre d'informations très utiles pour mieux comprendre l'évolution du ravageur :

Les infestations ont été assez importantes essentiellement sur la seconde poussée de sève atteignant des maximums allant de 96 à 99% selon les années, avec un maximum en 2005. Lors de la troisième poussée de sève, les taux ont été moins élevés, variant de 86 à 90% selon les années, les niveaux d'infestations les plus élevés ont été observés en 2005. Malgré ces taux assez importants, les infestations enregistrées au cours des quatre années d'étude restent moins élevées que celles relevées au cours des travaux antérieurs (BOUALEM, 2002), où ils ont atteint 100% sur les pousses d'été et d'automne. CHERMITI *et al.* (2001) ont observé également des taux d'infestations de 100% au cours

des premières années ayant suivi l'introduction de *P. citrella* dans les vergers tunisiens, alors que URBANEJA *et al.* (2000) ont signalé un taux de 90% en Espagne.

Une diminution du niveau des infestations, semble indiquer une régulation des populations du phytophage comparativement aux années précédentes dans les vergers agrumicoles du bassin méditerranéen. Ce phénomène est lié notamment à l'intervention croissante de divers facteurs naturels, telle que l'action répressive combinée des parasitoïdes et des prédateurs (MASSA *et al.*, 2001 ; SISCARO *et al.*, 2003 ; LIOTTA *et al.*, 2003 ; VERCHER *et al.*, 2005 ; XIAO *et al.*, 2007 ; BOUALEM *et al.*, 2007 ; 2008).

Le suivi de l'évolution des abondances relatives des différents stades de développement de *P. citrella* a mis en évidence la faible proportion d'œufs enregistrés dans les relevés (2 à 4% de la totalité des individus recensés) ; cette sous-représentation est la conséquence du développement embryonnaire dont la durée est inférieure à l'intervalle entre deux échantillonnages. Les larves (tous stades confondus) représentent 68 à 71% des effectifs échantillonnés pendant les trois premières années, alors que les nymphes ne représentent que 26 à 30% ; ceci implique que 56 à 63% des larves n'ont pas atteint le stade nymphal. Par contre, en 2006, les nymphes ne représentent que 7% des individus dénombrés mettant en évidence une mortalité larvaire plus importante que les années précédentes.

La durée de chaque génération est conditionnée par un ensemble de facteurs, en particulier les conditions climatiques, telles que la température et la pluviométrie. A travers les observations étalées sur plusieurs années de suivi consécutif, quatre générations ont été mises en évidence : deux sur les pousses d'été et deux autres sur les pousses d'automne. Le temps nécessaire à l'achèvement d'une génération a été moins long sur la seconde poussée de sève du fait des températures relativement élevées, proches des conditions favorables au développement du ravageur.

Dans la même région, des travaux antérieurs signalent l'existence de six (BERKANI *et al.*, 1996) ou de cinq générations (BOUALEM, 2002). En Espagne, par contre, URBANEJA *et al.* (2000) rapportent l'existence de 10 à 13 générations par an.

La densité des populations a varié d'une année à l'autre et d'une génération à l'autre, en fonction des poussées de sève.

Les densités moyennes maximales enregistrées au mois de juillet sur la seconde poussée de sève (PS<sub>2</sub>) ont atteint 1,38 I/F (2003), 1,1 I/F (2004), 2,34 I/F (2005) et 3,01 I/F (2006)

respectivement pour des températures moyennes mensuelles de l'ordre de : 28°C, 26,2°C, 26,3°C et 28,6°C.

Au mois d'août, elles étaient de 3,42 I/F (2003), 3,38 I/F (2004), 2,97 I/F (2005) et 2,5 I/F (2006), sous des températures moyennes respectives de : 27,1°C, 27,3°C, 26,3°C et 24,6°C.

Pendant la troisième poussée de sève (PS<sub>3</sub>), des densités maximales notées au mois de septembre atteignaient 2,32 I/F (2003), 2,43 I/F (2004), 4,09 I/F (2005) et 1,59 I/F (2006), respectivement pour des températures moyennes de 23,3°C, 24,1°C, 22,9°C et 22,6°C.

Au mois d'octobre, elles étaient de 1,74 I/F (2003), 1,3 I/F (2004), 0,84 I/F (2005) et 1,58 I/F (2006), sous des températures moyennes respectives de 18,8°C, 20,6°C, 21°C et 21,1°C.

Le nombre moyen d'individus par feuille a été globalement plus élevé sur la PS<sub>2</sub>, à l'exception du mois de juillet des années 2003 et 2004, où il est resté relativement bas ; il en est de même pour l'année 2005 où les densités des populations de la mineuse ont atteint un maximum de 4,09 I/F sur la PS<sub>3</sub> au mois de septembre. SAHARAOUI *et al.* (2001) rapportent que les densités les plus importantes de la mineuse dans la Mitijda ont été enregistrées sur la poussée estivale avec des effectifs de 4,89 et 5,48 I/F respectivement pour les mois de juillet et août.

Les forts niveaux des infestations sur la seconde poussée de sève s'expliquent par des conditions climatiques particulièrement favorables, avec des températures minimales plus au moins élevées et une humidité relative moyenne appropriée au développement du phytophage, ayant pour conséquence un développement accéléré de chaque stade de l'insecte et par conséquent induisant un cycle biologique plus court.

*P. citrella* est soumise à différentes mortalités, bien qu'elle ait un mode de vie endophyte et qu'elle soit protégée par l'épiderme de la feuille. Durant les trois années d'études (2003 à 2005), le facteur de mortalité le plus intéressant a concerné le parasitisme avec respectivement des taux de 31,9 ; 38,9 et 30,6%, alors qu'en 2006, il n'était que de 20,4%, conséquence probable d'une régulation élevée par la prédation. La mortalité globale tous facteurs confondus a toujours été supérieure à 50% soit : 50,5 ; 65,1 ; 50,1 et 56,6% pour les années 2003, 2004, 2005 et 2006. La mortalité pour cause indéterminée n'a jamais dépassé le seuil maximum de 24,6% (enregistré en 2004), tandis que la prédation a toujours été inférieure à 5% sauf en 2006 où elle a atteint 12%.

Ces résultats montrent que les populations de la mineuse des feuilles des agrumes sont régulées par l'action d'une combinaison de différents facteurs de mortalité parmi lesquels les parasitoïdes qui demeurent incontestablement les plus efficaces.

Les différentes observations ont montré en outre que les stades de développement de la mineuse subissent différemment l'impact des facteurs de mortalité.

La mortalité des premiers et deuxièmes stades larvaires dépend particulièrement de l'action des facteurs indéterminés, alors que les L<sub>2</sub> et L<sub>3</sub> subissent plus fortement les attaques des prédateurs et les L<sub>3</sub> et les nymphes celle des parasitoïdes. Par contre, pour VERCHER *et al.* (2003), ce sont surtout les troisième et quatrième stades larvaires qui sont régulés par les parasitoïdes tandis que le deuxième stade est le moins attaqué, suivi par les nymphes. Selon HUANG *et al.* (1989) et CHEN *et al.* (1989) les facteurs climatiques et les maladies sont la cause de la mortalité de 27% des L<sub>1</sub>, alors que 12,3% des L<sub>2</sub> sont régulées par la prédation et 32% des L<sub>3</sub> par l'action parasitaire.

Le quatrième chapitre a concerné l'inventaire du complexe parasitaire de *P. citrella*, les caractéristiques morphologiques et biologiques des espèces recensées ainsi que des données sur l'évolution de leur abondance et de leur cycle biologique.

L'inventaire a révélé la présence constante de cinq espèces de parasitoïdes inféodées à *P. citrella* dans la région de Mostaganem : *Cirrospilus pictus*, *C. vittatus*, *Citrostichus phyllocnistoides*, *Pnigalio pectinicornis* et *Semiolachar petiolatus*. Les espèces *Closterocerus formosus* et *Pediobius* sp. ont été rencontrées pendant les trois premières années seulement.

L'espèce la plus abondante reste *S. petiolatus* : elle représente 63,5% des parasitoïdes récoltés en 2003, mais dont le niveau des populations a subi une baisse progressive atteignant un taux de 24,8% en 2006. *C. phyllocnistoides* a montré au contraire, des abondances relatives de plus en plus importantes d'une année à l'autre ; en 2003 cette espèce représentait 7,8% des parasitoïdes collectés, alors qu'au cours de la dernière année, elle a enregistré des proportions de l'ordre de 32,5%, lui conférant ainsi la première position comparativement aux espèces répertoriées.

De même, l'espèce autochtone *C. pictus* a prouvé toute son importance dans la régulation des populations du phytophage ; en effet sur les quatre années, elle a atteint des proportions de : 19,1 ; 39,8 ; 25,8 et 29,4% respectivement pour les années 2003, 2004, 2005 et 2006.

L'étude du cycle biologique des différentes espèces de parasitoïdes de *P. citrella* sous des conditions d'élevage identiques ( $29 \pm 1,03^{\circ}\text{C}$ , une HR de 60 à 75% et une photopériode de 16 : 8), a révélé les résultats suivants : *S. petiolatus* (139)  $12,43 \pm 3$  ; *C. pictus* (102)  $14,81 \pm 3,39$  ; *C. phyllocnistoides* (92)  $14,77 \pm 2,52$  ; *P. pectinicornis* (42)  $14,80 \pm 3,07$  ; *C. formosus* (44)  $17 \pm 2,94$  et *Pediobius* sp. (26)  $16,96 \pm 3,34$  jours. Le suivi du développement de chacun des stades de ces différentes espèces a montré que la durée de vie diffère peu d'une espèce à l'autre ; ainsi le stade embryonnaire dure entre 2 à 4 jours ; le développement larvaire s'effectue en 4 à 5 jours et enfin le stade nymphal en 5 à 7 jours.

## Conclusion générale et perspectives

Les résultats observés indiquent que malgré tous les efforts consentis par les agriculteurs, *P. citrella* est présent avec des taux d'infestations souvent importants. Le complexe des ennemis naturels de la mineuse reste le facteur de régulation des populations le plus important et le plus intéressant. De nouvelles espèces de parasitoïdes autochtones ou introduites ont été identifiées dans ce complexe au cours des années, leur présence a entraîné une évolution de l'équilibre existant entre les espèces. Toutefois, il a été constaté que lors du processus d'acclimatation de ces dernières, certaines ont tendance à dominer le reste des espèces. C'est le cas de *C. phyllocnistoides*, espèce allochtone qui n'a pas été introduite volontairement en Algérie et dont l'abondance relative croît d'année en année depuis sa découverte (BOUALEM *et al.*, 2007 ; 2008). Ce parasitoïde est considéré par de nombreux auteurs comme l'un des plus prometteurs pour limiter les populations de la mineuse en région méditerranéenne (RIZQI *et al.*, 2003 ; VERCHER *et al.*, 2003).

Il est très important dans l'avenir de poursuivre l'étude de la dynamique des populations de la mineuse et de ses ennemis naturels, ceci afin de pouvoir suivre réellement l'évolution de cet insecte dans les vergers d'agrumes et en parallèle de mettre en évidence les actions des facteurs de régulation les plus efficaces et les plus fréquents.

Il faut en outre, combiner les efforts pour élaborer un programme de lutte intégrée incluant toutes les mesures de lutte biologique adéquates et rentables qui permettront de réduire les infestations du ravageur au dessous du seuil de nuisibilité. Ceci en s'assurant de la complémentarité entre les moyens de lutte biologique par l'utilisation d'ennemis naturels et des bioinsecticides, ainsi que le développement d'espèces végétales résistantes par l'utilisation de moyens biotechnologiques.

La mise en œuvre de programmes de lutte biologique rentables en Algérie implique une meilleure connaissance de la biologie et de l'écologie des différentes espèces d'auxiliaires intervenant dans la régulation des populations de cet insecte. Une meilleure connaissance des hôtes alternatifs de ces entomophages permettrait en particulier en toute connaissance de causes de favoriser le développement de leurs populations grâce au maintien ou à la multiplication de leurs plantes-hôtes aux abords ou à l'intérieur des vergers, comme c'est pratiqué déjà dans plusieurs pays pour la viticulture (MURPHY *et al.*, 1996 ; BÖLL *et al.*, 2006).

Pour être réalisés, de tels travaux nécessitent également de bonnes connaissances taxonomiques et une identification correcte des espèces étudiées. Un des objectifs de ce travail a été de fournir des informations précises et des mises à jour sur l'inventaire du complexe parasitaire de *P.*

*citrella*, dans la région par des données morphologiques et des illustrations graphiques permettant une identification correcte des parasitoïdes de *P. citrella* dans l'Ouest algérien.

A l'avenir, il serait important de reprendre les élevages au laboratoire des principales espèces d'entomophages présents dans la région afin de mieux comprendre l'influence des facteurs abiotiques et biotiques sur leur développement biologique et la dynamique de leurs populations, permettant une meilleure maîtrise des facteurs de régulation naturelles des populations de *P. citrella*.

Outre l'utilisation des auxiliaires, la lutte à l'aide de bioinsecticides qui a déjà prouvé son efficacité dans d'autres pays, pourrait être mise en œuvre pour renforcer l'action répressive des ennemis naturels. Un dernier moyen de lutte qui intervient de façon incontestable dans la régulation des populations de *P. citrella* est la bonne santé de la plante hôte ; il est donc important de maintenir ces plantations dans de bonnes conditions de développement, leurs permettant ainsi d'augmenter leurs pouvoir de résistance naturelle à l'encontre des prédateurs de toutes sortes.

## Références Bibliographiques

1. **ABASSI M., OULACHEN B. et ABOULAMA S. (1995)** : *La mineuse des agrumes Phyllocnistis citrella Stainton* (Lepidoptera : Gracillariidae). Note ingénieur, 480, SASMA, Casablanca, Maroc. 12 p.
2. **ABASSI M. (1997)** : Biologie et écologie de la mineuse des feuilles de *Citrus Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae) au Maroc. *Actes du Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes*, INRAA, Blida 16-17 Décembre 1996.
3. **ABASSI M., HARCHAOUI L., RIZQI A., NADORI E.B. et NIA M. (1999)** : Biological control against the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae). *Proceedings of the fifth international conference on pests in agriculture*, part 3, Montpellier, France, 7-9 : 609-615.
4. **AIT YAHIA M. et RACHEF S.A. (1997)** : Essai d'efficacité d'insecticides sur la mineuse des feuilles *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae). *Actes du Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes*, INRAA, Blida 16-17 Décembre 1996.
5. **AL-KHATEEB N., RAIE A., GAZAL K., SHAMSEEN F. et KATTAB S. (1999)** : A study on population dynamics of citrus leaf miner *Phyllocnistis citrella* Stainton and its parasitoids. *Arab J. Plant Prot.* 17 (2) : 60–65.
6. **AMALIN D., PEÑA J.E. et MCSORLEY R. (1996)** : Abundance of spiders in lime groves and their potential role in suppressing the citrus leafminer population. In: M. Hoy (ed), *Proceedings of an International Conference Managing the Citrus Leafminer*, April 23–25. University of Florida, Gainesville, Florida. 72 p.
7. **AMALIN M., REISKIND J., PEÑA J.E. et MCSORLEY R. (2001)** : Predatory behavior of three species of sac spiders attacking citrus leafminer. *J. Arachnol.*, 29 : 72-81.
8. **AMALIN D.M., PEÑA J.E., DUNCAN R.E., BROWNING H.W. et MCSORLEY R. (2002)** : Natural mortality factors acting on citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, in lime orchards in South Florida. *BioControl*, 47 : 327–347.
9. **ANDO T. K. Y., TAGUCHI M., UCHIYAMA, UJIYE T. et KUROTO H. (1985)** : (7Z-11Z) 7, 11 hexadecadienal; Sexe attractant (Lepidoptera : Gracillariidae). *Agric. Biol. Chem.* (Tokyo), 49 : 3633-3653.
10. **ANONYME (1998)** : Biological Control of Insect Pests: Southeast Asian Prospects. *ACIAR Monograph Series*, 51: 257-286.
11. **ANONYME (2008)** : *Données statistiques*. Direction des Services Agricoles de la Wilaya de Mostaganem.

12. **ARGOV Y. et RÖSSLER, Y. (1996)** : Introduction, release and recovery of several exotic natural enemies for biological control of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, in Israel. *Phytoparasitica*, 24: 33-38.
13. **ARGOV Y. et RÖSSLER Y. (1998)** : Rearing methods for the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton and its parasitoids in Israel. *Biol. Control*, 11: 18-21.
14. **ASKEW R.R. (1968)** : Hymenoptera 2. Chalcidoidae Section (b). *Handbooks for the Identification of British Insects*, 8(2)b : 39 pp.
15. **ASKEW R.R. (1980)** : The diversity of insect communities in leaf-meaning and plant-galls. *J. Anim. Ecol*, 49: 817-829.
16. **ASKEW R.R. (1984)** : Variation in *Cirrospilus vittatus* Walker (Hym : Eulophidae) and the description of a new species from Britain. *Entomol. Month. Mag.* 120 : 63-68.
17. **ATEYYAT M.A. (2002)** : Parasitoid complex of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* on lemon in the Central Jordan Valley. *BioControl* 47: 33–43.
18. **AYOUB M.A. (1960)** : *Phyllocnistis citrella* Stainton, A main citrus pest in Saudi Arabia. *Bull. Entomol. Soc. Egypt.* 44: 387-391.
19. **BA-ANGOOD S.A.S. (1977)** : A contribution to the biology and occurrence of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Staint., in the Sudan. *Z. angew. Entomol.* 83: 106-111.
20. **BA-ANGOOD S.A.S. (1978)** : On the biology and food preference of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton, in PDR of Yemen. *Z. angew. Entomol.* 86: 53-57.
21. **BADAWY A. (1967)** : The morphology and biology of *Phyllocnistis citrella* Stainton, a citrus leafminer in Sudan (Lepidoptera: Tineidae). *Bull. Entomol. Soc. Egypt.* 51: 95-103.
22. **BALACHOWSKY A.S. (1966)** : Entomologie appliquée à l'agriculture. Lépidoptères, Masson, Paris, Tome II, Vol. 1, 1057 p.
23. **BARBAGALLO S., LONGO S., REINA P. et ZAPPALA L. (2000)** : Status of biological control of the Citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton) in Italy. *Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Congress of Entomology*, Brazil 2000, Poster n° 1487: 375.
24. **BARROGA S.F. (1968)** : Biological notes and control of citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton) affecting citrus seedlings. *Philip. J. Plant Ind.* 33 : 17-29.
25. **BATRA R.C. et SANDHU GS. (1981)** : Batra, Sandhu Differential population of citrus leaf-miner and its parasites. *J. Res. Punjab Agric. Univ.* 18, 170–176.
26. **BATRA R.C., SANDHU G.S., SHARMA S.C. et CHANANA Y.R. (1988)** : Biology of *Citrus* leafminer on some *Citrus* root-stocks and its relationship with abiotic factors. *Punjab Hort. J.(Patiala)*, 28 : 30-35.

27. **BATRA R.C., SHARMA D.R. et CHANANA Y.R. (1992)** : Screening of citrus germplasm for their resistance against citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton. *J. Ins. Sci.* 5: 150–152.
28. **BAUTISTA-MARTINEZ N., CARRILLO-SANCHEZ J.L., BRAVO-MOJICA H. et KOCH S.D. (1998)** : Natural Parasitism of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae) at Cuitlahuac, Veracruz, Mexico. *Florida Entomol.* 81 (1) : 30-37.
29. **BEATTIE G.A.C. et SMITH D. (1993)** : *Citrus leafminer*. Agfact H2.AE.4, Second Edition, NSW Agriculture.
30. **BEATTIE G.A.C., SOMSOOK V., WATSON D.M., CLIFT A.D. et JIANG L. (1995)** : Field Evaluation of *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (Rhabditida : Steinernematidae) and Selected Pesticides and Enhancers for Control of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae). *J. Aust. entomol. Soc.*, 1995, 34: 335-342.
31. **BENZIANE T., ABBASSI M. et BIHI T. (2003)** : Evaluation de deux méthodes de lutte intégrée contre les ravageurs en vergers d'agrumes. *J. Appl. Entomol.* 127 : 51-63.
32. **BERKANI A. (1995)** : Apparition en Algérie de *Phyllocnistis citrella* Stainton, chenille mineuse nuisible aux agrumes. *Fruits*, 50 : 347-352.
33. **BERKANI A., MOUATS A. ET DRIDI B. (1996)** : Observation sur la dynamique des populations de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) en Algérie. *Fruits*, 51 : 417-424.
34. **BERKANI A. ET MOUATS A. (1998)** : Vers une lutte biologique de *Phyllocnistis citrella* par introduction de *Ageniaspis citricola* en vergers d'agrumes dans l'ouest algérien. *Fruits*, 53 : 99-103.
35. **BERKANI A. (1999)** : Contribution à l'étude du cycle biologique de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) dans les conditions semi-contrôlées. *Actes des VI<sup>ème</sup> journées sur les activités de recherches en sciences Agronomiques*, 26 et 27 octobre 1999, Université de Mostaganem (Algérie), 4 p.
36. **BERKANI A. (2003)** : Etude morphométrique des stades pré-imaginaux de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) en Algérie. *Fruit*, 2003, Vol. 58, p. 83-88.
37. **BERMUDEZ E.C., MARTINEZ N.B., GRAZIANO J.V., BERNAL H.C.A. et PANIAGUA A.H. (2004)** : *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae) and its parasitoids in Citrus in Ecuador. *Florida Entomol.* 87(1) : 10-17.
38. **BLOMMERS L.H.M. et VAAL F.W.N.M. (1996)** : Natural control of tentiform leafminer *Phyllonorycter blancardella* in Dutch apple orchards. *IOBC-WPRS Bull.*, 19 (4): 214-218.

- 39. BÖLL S., SCHWAPPACH P. ET HERRMANN J.V. (2006) :** Planting dog roses – an efficient method to promote mymyard populations in the vineyards, *IOBC-WPRS Bull.* 29 (11): 175-181.
- 40. BOUALEM M. (2002) :** *Etude bioécologique de Phyllocnistis citrella Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) Mineuse des feuilles de Citrus dans l'ouest algérien.* Thèse de magister, Université de Mostaganem, 171 p.
- 41. BOUALEM M., VILLEMANT C. et BERKANI A. (2007) :** Présence en Algérie de trois nouveaux parasitoïdes (Hymenoptera, Eulophidae) de la Mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera, Gracillariidae). *Bull. Soc. Entomol. Fr.*, 112 (3), 2007 : 381-386.
- 42. BOUALEM M., VILLEMANT C. et BERKANI A. (2008) :** Bio-ecological study of the parasitoid complex of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in Western Algeria. *IOBC/WPRS Bull.*, 38: 183-188.
- 43. BOUCEK Z. (1959) :** A study of central European Eulophidae, II : *Diaulinopsis* and *Cirrospilus* (Hymenoptera). *Acta Entomol. Mus. Nat. Pragae*, 33: 171-194.
- 44. BOUCEK Z. (1965) :** Studies of European Eulophidae, IV: *Pediobius* Walk. and Two Allied Genera (Hymenoptera). *Acta Entomol. Mus. Nat. Prague*, 36: 5-90.
- 45. BOUCEK Z. et ASKEW R.R. (1968) :** Palaearctic Eulophidae sine Tetrastichinae. In: Delucchi V. et Remaudière G. *Index of Entomophagous Insects*, 3. Paris, Le François, 260p.
- 46. BOUCEK Z. (1977) :** Taxonomic studies on some Eulophidae (Hym.) of economic interest mainly from Africa. *Entomophaga*, 21 (4) : 401- 414.
- 47. BOUCEK Z. (1988) :** Australasian Chalcidoidea (Hymenoptera). A biosystematic revision of genera of fourteen families, with a reclassification of species. Wallingford: CAB International, 832 p.
- 48. BOUCEK Z. (1994) :** Synonymic and taxonomic notes on some European Eulophidae and Torymidae. *Ann. nat-hist. Mus. Wien* 96B : 115-120.
- 49. BOUGHADAD A., ABDEKHALE L., BOUAZZAOUI Y. et BELARBI A. (1997) :** Nuisibilité et écologie des populations de la mineuse des feuilles des agrumes, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) au Maroc. *Actes du Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes*, INRAA, Blida 16-17 Décembre 1996 : 48-57.
- 50. BRAHAM M., CHERMITI B., SOUISSI R. et ZNAIDI M. (2006) :** Establishment and dispersal of the parasitoids *Ageniaspis citricola* Logvinovskaya (Hymenoptera : Encyrtidae) and *Semiela cher petiolatus* Girault (Hymenoptera : Eulophidae), introduced into Tunisia for the biological control of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae). *Int. J. Pest Manag.* 52 (4): 353-363.

- 51. BROWNING H.W., PENA J.E. et STANSLY. (1996)** : Evaluating impact of indigenous parasitoids on populations of citrus leafminer. In: M.A. Hoy, ed., Managing the citrus leafminer. *Proceedings from an International Conference*, Orlando Florida, April 23–25: 14–15.
- 52. BRUN P. (1996)** : Situation de la mineuse des feuilles d'agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) en Corse. *Actes du Séminaire du C.L.M.A.M sur la mineuse des feuilles des agrumes Moncada* (Valencia), 11-13 Mars : 20-23.
- 53. CABELLO T., JAIMEZ R. et PASCUAL F. (1994)** : Spatial and temporal distribution of *Liriomyza* spp. and their parasitoids on horticultural crops in greenhouses of southern Spain (Diptera: Agromyzidae). *Bol. San. Veg. Plagas*, 20 (2) : 445-455.
- 54. CALECA V. et LO VERDE G. (1997)** : Fenologia dell'infestazione di *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in limoneti siciliani. *Phytophaga*, 7: 23-30.
- 55. CANELLAS N. et MARTINEZ M.T. (2002)** : Parasitismo del minador de los brotes tiernos de los cítricos *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae) en Tarragona. *Lev. Agric.*, 360 : 140–144.
- 56. CANO E., DE LA LLANA A., HERNANDEZ J., RUIZ F., PENA J. E. et EVANS G. (1996)** : Dynamics and biological control of the citrus leafminer in Nicaragua, p. 76. In M. A. Hoy [ed.], *Managing the citrus leafminer*. Proceedings from an International Conference, 23-25 April, Orlando, FL. University of Florida, Gainesville, 119 p.
- 57. CHEN R.T., CHEN Y.H. et HUANG M.D. (1989)** : Biology of green lacewing, *Chrysopa boninensis* and its predation efficiency on citrus leafminer. *Collection on integrated management of Citrus insect pests in China*: 96–105.
- 58. CHERMITI B., GAHBICHE H., ONILLON J.C. et LAARIF A. (1995)** : Introduction et acclimatation en Tunisie d'*Eretmocerus debachi* Rose et Rosen (Hymenoptera, Aphelinidae), parasitoïde de *Parabemisia myricae* (Kuwana) (Homoptera, Aleurodidae), *IOBC/WPRS Bull.*, 18 (5) : 88-102.
- 59. CHERMITI B. (1997)** : Outline for country report on the status of *Citrus* leafminer (CLM) *Phyllocnistis citrella* in Tunisia. Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes. *Actes du Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes*, INRAA, Blida 16-17 Décembre 1996.
- 60. CHERMITI B., GAHBICHE H., BRAHAM M. et DALI M. (1999)** : Natural parasitism of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) in Tunisia. *Fruits* (Paris). 54 : 1, 11-22.
- 61. CHERMITI B., BRAHAM M., ZNAIDI M., GAHBICHE H., MESSELMANI B., DALI M. et MESSELMANI H. (2001)** : Premiers résultats sur l'acclimatation d'*Ageniaspis citricola* Logvinovskaya (Hym., Encyrtidae), parasitoïde spécifique de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lep., Gracillariidae), en Tunisie. *J. Appl. Entomol.* 125, 45-52.

- 62. CHIVERTON P.A. (1986)** : Predator density manipulation and its effects on populations of *Rhopalosiphum padi* (Hom.: Aphididae) in spring barley. *Ann. Appl. Biol.* 109 : 49–60.
- 63. CNUCED (2007)** : site web : D’après les données statistiques de l’Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture ;  
<http://www.unctad.org/infocomm/francais/orange/marche.htm>
- 64. CODERRE D. et VINCENT C. (1992)** : La lutte biologique : Toile de fond de la situation : 3-18.  
*In* : C. Vincent et D. Coderre (eds.). *La lutte biologique*. Gaëtan Morin éditeur, Boucherville, Québec, 671 p.
- 65. COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAUX (CAB) (1970)** : *Phyllocnistis citrella* Stnt. *In* : Commonwealth Institute of Entomology. *Distribution maps of pests*. Ser. A, Map No. 274. The Eastern Press Ltd., London.
- 66. COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAUX (CAB) (1995)** : Commonwealth Institute of Entomolog. 1995. In Distribution Maps of pests. *Phyllocnistis citrella* Stainton“ Ser. A, Map N°. 274, June 1995.
- 67. CONTI F., FISICARO R., PEDROTTI C.C. et COLOZZA S. (2006)** : Application of biorational pesticides on nursery trees against *Phyllocnistis citrella* Stainton in Sicily : the effects on différent citrus species. Integrated Control in Citrus Fruit Crops. *IOBC/WPRS Bull.*, 29 (3) : 273-282.
- 68. DAJOZ R. (1985)** : *Précis d’écologie*. Paris, Dunod Université, 505 p.
- 69. DASH P.C. ET DAS A.K. (1997)** : Arthropod fauna associated with kendu, *Diospyres melanoxylon* (Roxb.) (Ebenaceae) in Orissa. *Insect Environ.*, 3 (3) : 71-72.
- 70. DELUCCHI V. (1958)** : *Lithocolletis messaniella* Zeller (Lep. Gracillariidae). Analysis of some mortality factors with particular reference to its parasite complex. *Entomophaga* 3 : 203-270.
- 71. DELVARE G. (2003)** : *Les Hyménoptères Parasitoïdes Auxiliaires de l’Homme dans les Iles de l’Océan Indien*. Stage de formation CIRAD-Réunion. 17-21 mars 2003 : 80 p.
- 72. DIAS C., GARCIA P., SIMOES N. et OLIVEIRA S. (2005)** : Efficacy of *Bacillus thuringiensis* Against *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Phyllocnistidae). Biological and Microbial Control, *J. Econ. Entomol.* 98 (6) : 1880-1883.
- 73. DIEZ P.A. et FIDALGO P. (2004)** : *Cirrospilus neotropicus* sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae) : an indigenous biocontrol agent of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Entomol. News*, 114 : 76-81.

- 74. DIEZ P.A., PEÑA J.E. et FIDALGO P. (2006a):** Population dynamics of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its parasitoids in Tafí Viejo, Tucumán, Argentina. *Florida Entomol.* 89 (3) : 328-335.
- 75. DIEZ P.A., TORRENS J. et FIDALGO P. (2006b) :** A new species of *Elasmus* (Hymenoptera : Eulophidae), parasitoid of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae) in South America. *Entomol. News*, 117 (2) : 167-174.
- 76. DING Y., LI M. et HUANG M.D. (1989) :** Studies on biology of two species of parasitoids. *Tetrastichus phyllocnistoides* and *Cirrospilus quadriastus*, and their parasitization to the leaf miner, *Phyllocnistis citrella* Stn. In : *Studies on the Integrated Management of Citrus Insect Pests*. Beijing, Academic Book and Periodical Press : 106-113.
- 77. DOUMANDJI-MITICHE B., SAHARAOU L. et ZOUAOUI H. (1999) :** The parasitic's complex of the citrus leaf-miner *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) in the Alger's coast. *Ann. Soc. Entomol. France*, 35 : 379-383.
- 78. DREA J.J., JEANDEL D. ET GRUBER F. (1982) :** Parasites of agromyzid leafminers (Diptera: Agromyzidae) on alfalfa in Europe. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 75 (3) : 297-310.
- 79. ELEKÇLOGLU N.Z. et UYGUN N. (2006) :** The Parasitoid Complex of the Citrus Leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in the East Mediterranean region of Turkey and Their Role in Biological Control. *Turk. J. Zool.* 30: 155-160.
- 80. EL OUARD R. (1997) :** La mineuse des feuilles des agrumes (*Phyllocnistis citrella*) au Maroc. Ampleur de problème et gestion de situation. Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes. *Actes du Séminaire International sur la Mineuse des feuilles des agrumes*, INRAA, Blida 16-17 Décembre 1996.
- 81. EVANS G.A. (1999) :** A new species of *Cirrospilus* (Hymenoptera : Eulophidae) and two new synonymies of parasitoids reared from the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae). *Florida Entomol.* 82 (3) : 448-453.
- 82. F.A.O (2004 et 2005) :** Données de la base statistique de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture sur le site : <http://apps.fao.org>.
- 83. FRAVAL A. (1992) :** La lutte biologique contre les ravageurs des cultures. In « *INRA* » *Mensuel*, 62 : 42-51.
- 84. GARCIA G.E. (1995) :** Metodologia para el control del minador de los brotes de los citricos *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Lev. Agric.*, 331 : 125-129.
- 85. GARCIA-MARI F., COSTA-COMELLES J., VERCHER R., VERDU M.J. et ALIAGA J.L. (1996) :** Population trends and native parasitoids of the citrus leafminer in Valencia (Spain). In: M.A. Hoy, ed., *Managing the citrus leafminer. Proceedings from an International Conference*, Orlando Florida, April 23–25, 1996, 81 p.

86. GARCIA F.J., ALFARO C., MARZAL C., BUENO V., VILLALBA M., GRANDA C., VERCHER R. et COSTA J. (2000) : Expansion por los citricos valencianos de un parasito importado del minador, *Citrostichus phyllocnistoides*. *Lev. Agric.* 8 : 136–140.
87. GARCIA-MARI F., VERCHER R., COSTA-COMELLES J., MARZAL C. et VILLALBA M. (2004) : Etablissements of *Citrostichus phyllocnistoides* (Hymenoptera : Eulophidae) as a biological control agent for the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae) in Spain. *Biol. Control*, 29 : 215-226.
88. GARIJO C. et GARCÍA E.J. (1994) : *Phyllocnistis citrella* (Stainton, 1856) (Insecta: Lepidoptera: Gracillariidae: Phyllocnistidae) en los cultivos de cítricos de Andalucía (Sur España) : Biología, ecología y control de la plaga. *Bol. San. Veg. Plagas*, 20 : 815-826.
89. GARRIDO A. (1994) : Detection of the CLM *P. citrella* Stainton in Spain, and enemies found in Malaga. *IOBC/WPRS Bull.*, 18 (5) : 1-17.
90. GARRIDO V.A. et DEL BUSTO T. (1994) : Enemies of *Phyllocnistis citrella* Stainton, found in Malaga (in Spanish, English summary). *Investigacion Agraria, Produccion y Proteccion Vegetales*, 2 : 87–92.
91. GATES N.W., HERATY J.M., SCHAUFF M.S., WAGNER D.L., WHITFIELD J.B. et WAHL D.B. (2002) : Survey of the Parasitic Hymenoptera on Leafminers in California. *J. Hym. Res.*, 11(2): 213-270.
92. GONZALEZ L., BERNABE P. ET CASTANO M. (1996) : Enemigos naturales de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera, Gracillariidae, Phyllocnistinae) en la provincia de Huelva. Distribucion geografica, evolucion estacional y tasas de parasitismo. *Bol. San. Veg. Plagas*, 22 : 741–760.
93. GRAHAM MWR de V. (1959) : Keys to the British genera and species of Elachertinae, Eulophinae, Entedontinae and Euderinae (Hym., Chalcidoidea). *Trans. Soc. Br. Entomol.* 13 : 169-204.
94. GRANDA C. (2000) : *Influencia del Minador de Hojas Phyllocnistis citrella en la Brotacion y Cosecha de Plantaciones Adultas de Citricos*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València, València, Spain.
95. GREVE C. et REDAELLI L.R. (2006) : Variação Sazonal dos Estágios Imaturos de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) em Pomares de *Citrus sinensis* sob Dois Sistemas de Cultivo. *Neotr. Entomol.* 35(6) : 828-833.
96. GUEROUT R. (1974) : Apparition de *Phyllocnistis citrella* Stainton en Afrique de l'ouest. *Fruits*, 29 (7-8) : 519–523.
97. HANSSON C. (1990) : A taxonomic study on the Palearctic species of *Chrysonotomyia* Foerster and *Neochrysocharis* Kurdjumov (Hymenoptera : Eulophidae). *Entomol. Scand.* 20 : 29-52.

98. HAWKINS B.A. (1994) : *Pattern and process in host-parasitoid interactions*. Cambridge, Cambridge University Press, 190 p.
99. HEPPNER J.B. (1993) : Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae : Phyllocnistinae) in Florida. *Tropic. Lepidoptera*, 4 : 49-64.
100. HOPKINS W.G. et EVRARD C.-M. (2006) : *Physiologie Végétale*. Paris, De Boeck Université, 536 p.
101. HUANG M.L., LU Y.S., QIU Z.S., ZHOU Q.M., MEN Y.J. et LIN S.G. (1989) : Life history of *Phyllocnistis citrella* Stainton, and its occurrence. *Acta Phyt. Sin.* 16 : 159–162.
102. JACAS J., VERDU M.J., DENG M., GASCON I., NAVARRO L., SASTRE J. et GARRIDO A. (1996) : Research activities concerning the Citrus leafminer developed at the Instituto Valenciano de Investigaciones Agraria. *Proceedings of the CLAM Citrus Leafminer (Phyllocnistis citrella) seminary*, Moncada (Valencia), Spain: 47–50.
103. JERRAYA J.B., KHEIDER B., JRAD F. et FEZZANI M. (1997) : Lutte contre la mineuse des agrumes, effet de l'acétamipride, nouvel insecticide. *Phytoma*, 499 : 46-50.
104. JOURDHEUIL P., GRISON P. et FRAVAL A. (1991) : La lutte biologique « un aperçu historique » *.Les dossiers de la cellule environnement de l'INRA*, 15 : 37-60.
105. KALAITZAKI A.P., LYKOURESSIS D.P., PERDIKIS D.C. et ALEXANDRAKIS V.Z., (2007) : Effect of Temperature on Development and Survival of the Parasitoid *Pnigalio pectinicornis* (Hymenoptera: Eulophidae) Reared on *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Environ. Entomol.*, 36 (3) : 497-505.
106. KERNS D., WRIGHT G. et LOGHRY J. (2004) : Citrus Leafminer (*Phyllocnistis citrella*), Additional Information: Part of the “Citrus Arthropod Pest Management in Arizona” <http://ag.arizona.edu/crops/citrus/insects/leafminer.pdf>
107. KHEDER S.B., JERRAYA A., JRAD F. et FEZZANI M. (2002) : Étude de la Mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lep. Gracillariidae) dans la région du Cap Bon (Tunisie). *Fruits*, 57 : 29-42.
108. KNAPP J., PENA J., STANSLY P., HEPPNER J. et YANG Y. (1993) : Citrus leafminer, a new pest of citrus in Florida. *Citrus Industry*, 74(10): 42-43.
109. KNAPP J., PEÑA J., STANSLY P., HEPPNER J. et YANG Y. (1994) : The citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, a new pest of citrus in Florida. *Fla. Coop. Ext. Ser.* IFAS, University of Florida, Gainesville, 8 p.
110. KNAPP J.L., ALBRIGO L.G., BROWNING H.W., BULLOCK R.C., HEPPNER J.B., HALL D.G., HOY M.A., NGUYEN R., PEÑA J.E. et STANSLY P.A. (1995) : Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton: Current Status in Florida- 1994. *Fla. Coop. Ext. Ser.* IFAS : 35. University of Florida, Gainesville, 26 p.

111. **KURISAKI M. (1920)** : On the life-history of the citrus leaf miner, *Phyllocnistis saligna* Zell., and the relation between the miner and citrus canker, *Pseudomonas citri* Hasse. *Konehu Sekai*, Gifu 24: 39–44.
112. **LACASA A., MARTINEZ A., ONCINA M. et SANCHEZ J.A. (1997)** : Enemigos naturales de *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) y su incidencia en los cítricos de Murcia. In “Libro de Resúmenes de las VI Jornadas Científicas de la SEEA.” *Soc. Esp. Entomol. Applic.*, Madrid.
113. **LAL K.B. (1950)** : Insect-pests of fruit trees grown in the plains. *Agric. Anim. Husband. Uttar Pradesh* 1: 30-45.
114. **LAKRA R.K., SINGH Z. et KHARUB W.S. (1984)** : Population dynamics of Citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Phyllocnistidae) in Haryana in India, *Rev. Indian J. Entomol.* (1984) : 146–159.
115. **LASALLE J. et SCHAUFF M.E. (1996)** : The genera of chalcid parasitoids (Hymenoptera : Chalcidoidea) of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) a workshop presentation. In: M.A. Hoy (ed.). *Managing the citrus leafminer. Proceedings from an International Conference*, Orlando Florida, April 23–25, 1996. p 60.
116. **LASALLE J. et PEÑA J.E. (1997)** : A new species of *Galeopsomyia* (Hymenoptera: Eulophidae : Tetrastichinae): a fortuitous parasitoid of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Florida Entomol.* 80 : 461-470.
117. **LEAL W.S., PARRA-PEDRAZZOLI A.L., COSSÉ A.A., MURATA Y., BENTO J.M.S. et VILELA E.F. (2006)** : Identification, synthesis and field evaluation of the complete sex pheromone from the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*. *J. Chem. Ecol.* 32 : 173-186.
118. **LEGASPI J.C., FRENCH J.V., SHAUFF M.E. et WOOLEY J.B. (1999)** : The citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in south Texas: Incidence and parasitism. *Fla. Entomol.* 82 : 305-316.
119. **LEGASPI J.C., FRENCH J.V., GARZA ZUNIGA A. et LEGASPI B.C., JR. (2001)**: Population dynamics of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae), and its natural enemies in Texas and Mexico. *Biol. Control*, 21 : 84-90.
120. **LEKCHIRI A. (1996)** : La mineuse des feuilles des agrumes. Lutte biologique: tous les espoirs sont permis. Maroc, *Fruits*, Mars : 9.
121. **LIM U.T. et HOY M.A. (2005)** : Biological assessment in quarantine of *Semielacher petiolatus* (Hymenoptera: Eulophidae) as a potential classical biological control agent of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), in Florida. *Biol. Control*, 33 : 87-95.

- 122. LIM U.T., ZAPPALÀ L. et HOY M.A. (2006)** : Pre-release evaluation of *Semielacher petiolatus* (Hymenoptera: Eulophidae) in quarantine for the control of citrus leafminer: Host discrimination, relative humidity tolerance, and alternative hosts. *Biol. Control*, 36: 65–73.
- 123. LIOTTA G. (1997)** : *Phyllocnistis citrella* Stainton: The status of infection in Sicily. Integrated Control in Citrus Fruit Crops, IOBC wprs Bulletin, *Bull. OILB srop*, 20 : 63-65.
- 124. LIOTTA G., AGRO A. et LO GENCO A. (2003)** : Activity of indigenous and exotic parasitoids of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) in western Sicily. *IOBC/WPRS Bull.*, 26 ( 6 ) : 23-25.
- 125. LIU Y.D., FANG J.M., HUANG S.F. et CHEN W. (1985)** : A study on integrated control measures for *Phyllocnistis citrella* Stainton. *Rev. Appl. Entomol.* (A), 74 : 5797, 1986).
- 126. LIU Z. M., BEATTIE G.A.C., HODGKINSON M., ROSE1 H.A. et JIANG L. (2001)** : Influence of petroleum-derived spray oil aromaticity, equivalent *n*-paraffin carbon number and emulsifier concentration on oviposition by citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). *Austr. J. Entomol.* , 40 : 193–197.
- 127. LLACER E., URBANEJA A., GARRIDO A. et JACAS J.A. (2006)** : Temperature requirements may explain why the introduced parasitoid *Quadrastichus citrella* failed to control *Phyllocnistis citrella* in Spain. *BioControl*, 51: 439–452.
- 128. LO GENCO A., GIUSEPPE L., PAOLO L. ET LO PINTO M. (2006)** : Investigations on population dynamics and mortality of *Phyllocnistis citrella* in Western Sicily (Italy). *IOBC/WPRS Bull.*, 29 (3) : 267-271.
- 129. LO GENCO A., CIOTTA C. et LO PINTO M. (2008)** : Evolution of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) and its parasitoids in the last five years in citrus orchards of western Sicily (Italy). *IOBC/WPRS Bull.*, 38 : 178-182.
- 130. LONGO S. et SISCARO G. (1997)** : Recent approaches to the biological control of CLM in Italy. *IOBC/WPRS Bull.*, 20 (7) : 71-77.
- 131. LO PINTO M. (1997)** : Parasitism and Biology of *Ratzburgiola incompleta* Boucek (Hymenoptera : Eulophidae : Eulophinae) Ectoparasitoid of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae : Phyllocnistinae). *Frustula entomol.* n.s, 20 (33) : 184-192.
- 132. LO PINTO M. et FUCARINO A. (2000)** : Osservazioni biologiche su *Phyllocnistis citrella* in Sicilia. *Info. Fitopato.*, 3 : 54–60.
- 133. MAFI S.A. et OHBAYASHI N. (2004)** : Seasonal prevalence of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) and its parasitoids in controlled and

uncontrolled Citrus iyo groves in Ehime Prefecture, Japan. *Appl. Entomol. Zool.*, 39 (4) : 597-601.

134. MARQUEZ A.L., GARCIA S., GARCIA E., OLIVERO J. et WONG E. (2003) : Native auxiliary complex of Citrus Leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton in Malaga province (Spain). Effects of competence with the introduced auxiliary species *Citrostichus phyllocnistoides* Narayanan. *IOBC/WPRS Bull.*, 26 (6) : 17-22.
135. MASSA B., RIZZO M.C. ET CALECA V. (2001) : Natural alternative hosts of Eulophidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) parasitoids of the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Mediterranean Basin. *J. Hym. Res.*, 10 (1) : 91-100.
136. MAZIH A. (2008) : Current situation of Citrus pests and the control methods in use in Morocco. Integrated Control in Citrus Fruit Crops, *IOBC/WPRS Bull.*, 38 : 10-16.
137. MICHAUD J. P. (2002) : Classical Biological Control : A Critical Review of Recent Programs Against Citrus Pests in Florida. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 94 (5) : 531-540.
138. MICHELAKIS S.E. et VACANTE V. (1997) : The citrus leafminer status in Greece. *IOBC/WPRS Bull.*, 20 : 81–82.
139. MINEO G., CALECA V. et MASSA B. (1998) : *Semielacher petiolatus* (Girault) (Hymenoptera : Eulophidae), Natural Antagonist of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae), New for Italian Entomofauna. *Naturalist. Sicil.*, 22 (1-2) : 3-6.
140. MINEO G. (1999) : Records on indigenous antagonists of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) new for Italy. *Boll. Zool. Agr. Bachic. Ser. II*, 31 (1) : 97-105.
141. MINEO G. et MINEO N. (2000) : On the introduction of *Citrostichus phyllocnistoides* (Narayanan) in Sicily and its simultaneous rearing with *Semielacher petiolatus* (Girault) (Hym. Eulophidae) under seminatural climatic conditions. *Boll. Zool. Agr. Bachicoltura*, 31(2) : 197-206.
142. MINEO N., MINEO G. ET SINACORI A. (2000) : Side effects of sprays with azadirachtin mixed with Biolid E© against the natural parasitoids of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lep. Gracillariidae). *Boll. Zool. Agr. Bachicoltura*, 32 (2) : 157-162.
143. MINGDU H. et SHUXIN L. (1989) : The damage and economic threshold of citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* Stainton to citrus. In *Studies on the Integrated Management of Citrus Pests*: 84-89. Academic Book and Periodical Press, Guanzhou, China.
144. MORAKOTE R. et NANTA P. (1996) : Managing the citrus leafminer in Thailand. pp. 30–33 in ed. M.A. Hoy, Managing the citrus leafminer. *Proceedings from an International Conference*, Orlando Florida, April 23–25, p 90.

- 145. MOREIRA J.A., McELFRESH J.S. ET MILLAR J.G. (2006)** : Identification, synthesis, and field testing of the sex pheromone of citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*. *J. chem. Ecol.*, 32(1) : 169-94.
- 146. Murai M. (1974)** : Studies on the interference among larvae of the citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* stainton (lepidoptera: Phyllocnistidae). *Pop. Ecol.*, 16 (1) : 80-111.
- 147. MURASHIGE T. et SKOOG F. (1962)** : A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 15 : 473-497.
- 148. MURPHY B.C., ROSENHEIM J.A. ET GRANETT J. (1996)** : Habitat diversification for improving biological control: abundance of *Anagrus epos* (Hymenoptera Mymaridae) in grave vineyards. *Environ. Entomol.*, 25 : 295-304.
- 149. NANTA P., MORAKOTE R., SAMANKKANEE B. et BOONYONG S. (1992)** : The role of hymenopterous parasitoids attacking citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* in pummelo orchard at Pichit Province, Thailand. *Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Congress of Entomology*, Beijing, China: 328.
- 150. NEALE C., SMITH D., BEATTIE G.A.C. et MILES M. (1995)** : Importation, host specificity, rearing and release of three parasitoids of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) in eastern Australia. *J. Austr. Entomol. Soc.* 34 : 343–348.
- 151. NHM (2007)** : Universal Chalcidoidea Database. <http://www.nhm.ac.uk/jdsml/research-curation/research/projects/chalcidoids/> Chalcidoidea Database.
- 152. NOYES J.S. (2001)**: Chalcidoidea 2001. Biological and taxonomical information. In: Yu D.S. *Taxapad 2002*. Scientific names for information management, Vancouver.
- 153. NUCIFORA A. et NUCIFORA M.T. (1997)** : The Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton in Sicily. Development, damages and strategies of control. *IOBC/WPRS Bull.* 20 : 7, 13-24.
- 154. NYFFELER M. et BENZ G. (1988)** : Feeding ecology and predatory importance of wolf spiders (*Pardosa* spp.) (Araneae : Lycosidae) in winter wheat fields. *J. Appl. Entomol.* 106 : 123–134.
- 155. PARÉ P.W. et TUMLINSON J.H. (1999)** : Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiol.*, 121: 325-32.
- 156. PEROVIĆ et HRNČIĆ S. (2008)** : The control of Citrus leaf miner *Phyllocnistis citrella* Stainton with bioinsecticides. Control in Citrus Fruit Crops. *IOBC/WPRS Bull.*, 38: 191-194.
- 157. PINCEBOURDE S. (2005)** : *Biophysique Environnementale des Insectes Endophytes*. Thèse doctorat de l'Université de Tours. École Doctorale : Santé, Sciences et Technologies, 165 p.

158. POMERINKE M.A. (1999) : *Biological control of citrus leafminer, Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in southwest Florida. Ph.D. dissertation, University of Florida, Gainesville, Florida, U.S.A. p. 102.
159. PRALORAN J.C. (1971) : *Les agrumes*. Paris, Maisonneuve et Larose, 565 p.
160. QUILICI S., FRANCK A., VINCENNOT D. et MONTAGNEUX B. (1995) : Un nouveau ravageur des agrumes à la Réunion, la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton, *Phytoma*, 474 : 37–40.
161. QUILICI S., FRANCK A., VINCENOT D., MONTAGNEUX B. et PASTOU D. (1996) : First studies on the Citrus leaf-miner *Phyllocnistis citrella* (Stainton) (Lepidoptera : Gracillariidae) in Reunion island In : *Proceedings of the 8th Congress of the International Society of Citriculture*. 1996-05-12/1996-05-17, Sun City, Afrique du Sud, Riverside : ISC : 542-548.
162. QUILICI S., FRANCH A., VINCENOT D., MONTAGNEUX B. et PASTAU D. (1997) : Studies on the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) in La Reunion. Integrated Control in Citrus Fruit Crops, *IOBC/WPRS Bull.*, 20: 83-90.
163. RADKE S.G. et KANDELKAR H.G. (1988) : Chemical control of Citrus leafminer. The *P.K.V. Res.J.*, 12 (2): 123-125.
164. RAE D.J., WATSON D.M., LIANG W.G., TAN B.L., LI M., HUANG M.D., DING Y., XIONG J.J., DU D.P., TANG J. et BEATLE G.A.C. (1996) : Comparison of petroleum spray oils, Abamectin, Cartap and Methomyl for control of Citrus Leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) in Southern China. *J. Eco. Entomol.*, 89 (2) : 493-500.
165. RAMOS P. et PANIS A. (1975) : The chalcid parasites of *Prays olea* (Lep : Plutellidae) in Andalousia. *Entomophaga*, 20(3) : 225-227.
166. REBOUR H. (1966) : *Les agrumes*, manuel de cultures des Citrus pour le bassin méditerranéen. Paris, J. B. Baillièrre et fils : 28-31.
167. REINA P. ET LASALLE J. (2004) : Two new species of *Quadrastichus* Girault (Hymenoptera: Eulophidae): parasitoids of the leafminers *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) and *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae). *J. Hym. Res.*, 13 (1) : 108-119.
168. RIECHERT S.E. et LOCKLEY T. (1984) : Spiders as biological control agents. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 299–320.
169. RIZQI A., NADORI E.B., ABASSI M. et NIA M. (1999) : Comparison of three different rearing methods of *Ageniaspis citricola*, parasitoid of Citrus leafminer. *Proceedings 5<sup>th</sup> World Congress of the International Society of Citrus Nurserymen*. Montpellier, France, 5-8 March, 1997: 247-250.

- 170. RIZQI A., NIA M., ABBASSI M. et ROCHD A. (2003)** : Establishment of Exotic Parasites of Citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*, in Citrus Groves in Morocco. Integrated Control in Citrus Fruit Crops. *IOBC/WPRS Bull.*, 26 (6) : 1-6.
- 171. RIZZO M.C. et MASSA B. (2002)** : Ecology of the Eulophid Parasitoid Community Living on Host Spontaneous Flora Linked to Citrus Grove (Hymenoptera : Chalcidoidea : Eulophidae). *Proceedings of the International Symposium: "Parasitic Hymenoptera : Taxonomy and Biological Control"*: 351-361.
- 172. RIZZO M.C. (2003)** : Tri-trophic interactions involving Eulophid parasitoids (Hymenoptera : Eulophidae) of the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton. Integrated Control in Citrus Fruit Crops. *IOBC/WPRS Bull.*, 26 (6) : 39-51.
- 173. ROSENHEIM J.A., WILHOIT L.R. et ARMER C.A. (1993)** : Influence of intraguild predation among generalist insect predators on the suppression of an herbivore population. *Oecologia* 96 : 439-449.
- 174. ROSSLER Y., ARGOV Y. et VACANTE V. (1997)** : Introduction and release of exotic natural enemies to control the citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella* Stainton) in Israel: interim report 1994-1996. *IOBC/WPRS Bull.*, 20 (7) : 91-95.
- 175. SABINE B.N.E. (1971)** : Citrus leafminer. *Queensland Agr. J.*, 97: 127-129.
- 176. SAHARAOU L., BENZARA A. et DOUMANDJI-MITICHE B. (2001)** : Dynamique des populations de *Phyllocnistis citrella* Stainton (1856) et impact de son complexe parasitaire en Algérie. Note technique. *Fruits*, 56 : 403-413.
- 177. SAUBRY A.J. (1992)** : Les agrumes en méditerranée, problématique et perspectives. Les fruits et légumes dans les économies méditerranéennes. *Option méditerranéenne*, sér. A, 19 : 193-199.
- 178. SCHAFFER B., PENA J.E., COLLS A.M. et HUNSBERGER A. (1997)** : Citrus leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) in lime: Assessment of leaf damage and effects on photosynthesis. *Crop Protection*, 16 (4) : 337-343.
- 179. SCHAUFF M.E., LASALLE J. et WIJESEKARA G.A. (1998)** : The Genera of Chalcid Parasitoids (Hymenoptera : Chalcidoidea) of Citrus Leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae). *J. Nat. Hist.* 32 : 7, 1001 – 1056.
- 180. SHILIRO E., COLOMBO A., CONTI F., SERGES T., FISICARO R., SARACENO F. ET RACITI E. (1996)** : Prime esperienze sul contenimento di *Phyllocnistis citrella* in Sicilia. *Info. fitopatol.*, 46: 9, 47-52.
- 181. SISCARO G., BARBAGALLO S., LONGO S. et PATTI I. (1997)** : Prime acquisizioni sul controllo biologico e integrato della minatrice serpentina degli agrumi in Italia. *Info. fitopatol.*, 7/8 : 19-26.

182. SCISCARO G., BARBAGALLO S., LONGO S., REINA P. et ZAPPALA L. (1999b) : Esiti dell'introduzione di parassitoidi esotici di *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera : Gracillariidae) in Sicilia. *Phytophaga* ; Palermo 9, 31-39.
183. SISCARO G., LONGO S., MAUGERI V., REINA P. et ZAPPALA L. (1999a) : Establishment in Sicily of *Ageniaspis citricola*. *Info. Agr.* 55 (16) :85-86.
184. SISCARO G., CALECA V., REIN P., RIZZO M.C. ET ZAPPALA L. (2003) : Current status of the biological control of the citrus leafminer in Sicily. *IOBC/WPRS Bull.*, 26 (6): 29-36.
185. SHENG J.K. et WANG G.H. (1993) : One new species and two new records of parasitoids of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Hymenoptera: Eulophidae) from Jiangxi. *Acta Agri. Univer. Jiangxiensis.* 15 (1) : 37, 39.
186. SMITH J.M. et HOY M.A. (1995) : Rearing methods for *Ageniaspis citricola* (Hymenoptera : Encyrtidae) and *Cirrospilus quadristriatus* (Hymenoptera: Eulophidae) released in a classical biological control program for the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Florida Entomologist* 78 : 600–608.
187. SMITH D., BEATTIE G.A.C. et BROADLEY R (1997) : *Citrus Pests and their Natural Enemies.* Integrated Pest Management in Australia. Queensland Department of Primary Industries, 272 p.
188. STAINTON H.T. (1856) : Descriptions of three species of Indian microlepidoptera. *Trans. Entomol. Soc. London.* (N.S.), 3: 301–304.
189. SWAN D.I. (1973) : Evaluation of biological control of the oak leaf-miner *Phyllonorycter messaniella* (Zell.) (Lep., Gracillariidae) in New Zealand. *Bull. entomol. Res.*, 63 (1) : 49-55.
190. SWINGLE W. (1967) : *The botany of citrus and Wild relatives*, Chap. 3. In: *The Citrus industry.* Citrus research center and agricultural experiment. Station, university of California at riverside, E-U, LID. *Ucr. Edu.*
191. TAN B. et HUANG M. (1996) : Managing the citrus leafminer in China. In: .A. Hoy, (ed.), *Managing the citrus leafminer. Proceedings from an International Conference,* Orlando Florida, April 23–25, 1996, 49–52.
192. TANAKA T. (1954) : *Citrologie ; semi centennial commemoration papers on citrus studies.* Citrologie supporting fondation, Osaka Japan 114 p.
193. TANAKA T. (1961) : *Species problem in citrus.* Ueno, japenese society for the promotion of science.
194. THOMAS H.S. (2001) : Projections de la production et de la consommation mondiales d'agrumes en 2010. *Symposium sur les agrumes, Chine/FAO* (2001) : 5-13.
195. UJIYE T. (1988) : Parasitoid complex of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Phyllocnistidae) in several citrus-growing districts of Japan. [in

Japanese, English summary]. *Proceedings of the Association for Plant Protection of Kyushu*, 34: 180–183.

- 196. UJIYE T. (1990)** : Studies on the utilisation of a sex attractant of the citrus leafminer moth *Phyllocnistis citrella* Stainton, Lepidoptera: Phyllocnistidae. Analyses of seasonal population trends and some behavioural characteristics of male moths by the use of synthetic sex attractant traps in the field. [in Japanese]. *Bull. Fr. Tr. Res. Station*: 19-46 (Biosis abstract 91, 117, 315).
- 197. URBANEJA A., JACAS J. A., VERDU M. et GARRIDO A. (1998)** : Dinamica e impacto de los parasitoides autoctonos de *Phyllocnistis citrella* Stainton en la Comunidad Valenciana. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.*, 13: 787–796.
- 198. URBANEJA A., LLACER E., TOMAS O., GARRIDO A. et JACAS J.A. (1999)** : Effect of temperature on development and survival of *Cirrospilus* sp. near *lyncus* (Hymenoptera : Eulophidae), a parasitoid of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Environ. Entomol.*, 28 : 339–344.
- 199. URBANEJA A., LLACER E., TOMAS O., GARRIDO A. et JACAS J.A. (2000)** : Indigenous natural enemies associated with *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) in Eastern Spain. *Biol. Control.*, 18 : 199–207.
- 200. URBANEJA A., LLACER E., GARRIDO A. et JACAS J.A. (2001a)** : Effect of Temperature on the Life History of *Cirrospilus* sp. near *lyncus* (Hymenoptera: Eulophidae), a Parasitoid of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Biol. Control.*, 21 : 293–299.
- 201. URBANEJA A., LLACER E., GARRIDO A. et JACAS J.A. (2001b)** : Effect of variable photoperiod on development and survival of *Cirrospilus* sp. nr. *lyncus* (Hymenoptera : Eulophidae), an ectoparasitoid of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera : Gracillariidae). *Florida Entomol.*, 84 (2) : 305-307.
- 202. URBANEJA A., LLACER E., GARRIDO A. et JACAS J.A. (2003)** : Interspecific competition between two ectoparasitoids of *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae): *Cirrospilus brevis* and the exotic *Quadrastichus* sp. (Hymenoptera : Eulophidae). *Biol. Control.*, 28 : 243–250.
- 203. VERCHER R., VERDU M. J., COSTA COMELLES J., GARCIA-MARI F. (1995)** : Parasitoides autóctonos del minador de hojas de cítricos *Phyllocnistis citrella* en las comarcas centrales valencianas. *Lev. Agric.*, 333: 306-312.
- 204. VERCHER R., CASTRILLON D., COSTA J., MARZAL C. et GARCIA F. (1998)** : Parasitoides autoctonos del minador de las hojas de los cítricos, *Phyllocnistis citrella* en las comarcas centrales valencianas. *Lev. Agric.*, 333: 305–312.
- 205. VERCHER R., GARCIA-MARI F., COSTA-COMELLES J., MARZAL C. et GRANDA C. (2000)** : Importación y establecimiento de parásitos del minador de hojas de cítricos

- Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Bol. San. Veg., Plagas*, 26: 577-591.
- 206. VERCHER R., GARCIA-MARI F., COSTA-COMELLES J., MARZAL C. et VILLALBA M. (2003)** : Biological control of the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in Spain: native parasitoids and establishment of *Citrostichus phyllocnistoides* (Hymenoptera: Eulophidae). *IOBC/WPRS Bull.*, 26 : 7-15.
- 207. VERCHER R., COSTA-COMELLES J., MARZAL C. ET GARCÍA-MARÍ F. (2005)**: Recruitment of native parasitoid species by the invading leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) on citrus in Spain. *Envir. Entomol.*, 34 (5): 1129-1138.
- 208. VILLANUEVA-JIMENEZ J.A. et HOY M.A. (1996)** : Critical points for attack – what do we know about the biology of the citrus leafminer. In: M.A. Hoy, ed., *Managing the citrus leafminer. Proceedings from an International Conference*, Orlando Florida, April 23–25, 1996: 53–59.
- 209. VIGGIANI G. (1962)** : Results of a study of *Lithocolletis millierella* Stgr. and its parasites. *Monti e Boschi.*, 13 (2): 72-78.
- 210. WALKER F. (1846)** : *List of the specimens of Hymenopterous insects in the collection of the British Museum*. Part 1 Chalcidites. London, vii + 100 p.
- 211. WANG L., BISSELEUA D.H.B., YOU M., HUANG J. et LIU B. (2006)** : Population dynamics and functional response of *Citrostichus phyllocnistoides* (Narayanan) (Hym., Eulophidae) on citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lep., Phyllocnistidae) in Fuzhou region of south-east China. *J. Appl. Entomol.*, 130 (2): 96–102.
- 212. WILSON C.G. (1991)** : Notes on *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Phyllocnistidae) attacking four citrus varieties in Darwin. *J. Austral. Entomol. Soc.*, 30 : 77–78.
- 213. WISE H.D. (1993)** : *Spiders in Ecological Webs*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- 214. XIAO Y., QURESHI J.A., STANSLY P.A. (2007)** : Contribution of predation and parasitism to mortality of citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) populations in Florida. *Biol. Control*, 40 : 396–404.
- 215. YOUNG O.P. et EDWARDS G.B.,( 1990)** : Spiders in United States field crops and their potential impact on crop pests. *J. Arachnol.* 18: 1–27.
- 216. ZHANG A., O’LEARY V.C. et QUARLES W. (1994)** : Chinese IPM for citrus leafminer, *IPM Practitioner*, 16 (8):10-12
- 217. ZHU C-D., LASALLE J. et HUANG D-W. (2002)** : A Study of Chinese *Cirrospilus* Westwood (Hymenoptera : Eulophidae). *Zool. Stud.*, 41(1): 23-46.

# *ANNEXES*

## Annexes

### Annexe 1 : Effectifs des différents stades de *P. citrella* collectés en 2003

Date	W	L1	L2	L3	PN	N	Effectif
							total
09-juil	0	18	32	158	4	234	446
19-juil	14	0	68	158	22	234	497
26-juil	0	50	50	148	18	187	454
06-août	0	169	108	205	29	259	770
16-août	0	43	122	227	43	349	785
26-août	4	173	68	482	65	439	1231
06-sept	29	122	155	259	40	140	745
16-sept	32	158	151	338	50	104	835
27-sept	11	61	72	166	22	50	382
08-oct	40	212	166	184	7	18	626
18-oct	4	94	144	119	7	14	382
30-oct	0	112	122	108	7	14	364
<b>Total</b>	<b>133</b>	<b>1213</b>	<b>1260</b>	<b>2552</b>	<b>313</b>	<b>2045</b>	<b>7517</b>
<i>Ab.</i>							
<i>relative</i>	2%	16%	17%	34%	4%	27%	100%

**Annexe 2 : Effectifs des différents stades de *P. citrella* collectés en 2004**

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L<sub>1</sub></b>	<b>L<sub>2</sub></b>	<b>L<sub>3</sub></b>	<b>PN</b>	<b>N</b>	<b>Effectif</b>
							<b>total</b>
19-juil	0	22	18	36	4	18	97
26-juil	11	40	32	101	32	180	396
02-août	0	83	90	266	79	248	767
09-août	61	115	122	313	32	238	882
16-août	32	58	72	335	68	382	947
23-août	0	144	148	378	25	522	1217
30-août	54	205	223	281	22	133	918
06-sept	40	187	194	220	25	94	760
13-sept	90	137	270	238	25	115	875
20-sept	4	144	223	202	14	104	691
27-sept	18	115	202	241	43	94	713
04-oct	11	90	112	130	0	126	468
12-oct	4	25	86	122	18	90	346
18-oct	0	4	22	61	4	72	162
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>1368</b>	<b>1814</b>	<b>2923</b>	<b>392</b>	<b>2416</b>	<b>9238</b>
<i>Ab.</i>							
<i>relative</i>	<i>4%</i>	<i>15%</i>	<i>20%</i>	<i>32%</i>	<i>4%</i>	<i>26%</i>	<i>100%</i>

**Annexe 3 : Effectifs des différents stades de *P. citrella* collectés en 2005**

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L<sub>1</sub></b>	<b>L<sub>2</sub></b>	<b>L<sub>3</sub></b>	<b>PN</b>	<b>N</b>	<b>Effectif</b>
							<b>total</b>
12-juin	32	22	32	108	22	292	508
19-juin	0	14	29	29	14	400	486
06-juil	0	36	418	86	32	252	824
10-juil	11	22	148	101	0	162	443
16-juil	101	101	36	79	3	144	464
23-juil	4	101	79	216	50	371	821
31-juil	0	223	36	230	68	284	842
10-août	0	50	65	446	86	151	799
20-août	0	61	68	234	25	612	1001
29-août	29	115	90	472	29	335	1069
08-sept	40	475	299	338	18	94	1264
14-sept	126	32	364	331	29	104	986
25-sept	4	238	583	490	22	137	1472
10-oct	1	61	140	90	4	7	304
<b>Total</b>	<b>347</b>	<b>1552</b>	<b>2387</b>	<b>3251</b>	<b>402</b>	<b>3344</b>	<b>11283</b>
<i>Ab.</i>							
<i>relative</i>	<i>3%</i>	<i>14%</i>	<i>21%</i>	<i>29%</i>	<i>4%</i>	<i>30%</i>	<i>100%</i>

**Annexe 4 : Effectifs des différents stades de *P. citrella* collectés en 2006**

Date	W	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	PN	N	Effectif
							total
08-juil	94	158	108	137	10	130	636
19-juil	4	601	122	270	1	86	1085
29-juil	7	166	90	306	3	86	658
08-août	14	241	94	522	3	25	899
18-août	4	205	76	410	3	11	708
28-août	0	198	36	202	3	11	449
07-sept	0	227	54	169	0	4	454
17-sept	0	187	18	76	0	3	283
27-sept	0	266	47	241	0	18	572
07-oct	14	302	43	90	0	4	454
17-oct	0	306	97	130	25	11	569
27-oct	0	101	25	166	29	90	410
06-nov	0	97	32	169	1	40	340
16-nov	0	115	14	162	3	32	327
26-nov	0	101	18	108	4	14	245
06-déc	0	72	18	90	0	0	180
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>3344</b>	<b>893</b>	<b>3247</b>	<b>82</b>	<b>564</b>	<b>8268</b>
<i>Ab.</i>							
<i>relative</i>	2%	40%	11%	39%	1%	7%	100%

**Annexe 5 : Température et humidité relative pour l'année 2003**

Date	Température °C			Humidité relative %	
	Temp. Min	Temp. Moy	Temp. Max	Hum. Min	Hum. Max
9/7	22	25,65	29,3	65	97
19/7	23,3	30,95	38,6	36	98
26/7	21,6	27,5	33,4	30	96
6/8	22,6	28,3	34	44	98
16/8	25,6	29,5	33,4	28	77
26/8	16	23,5	31	33	91
6/9	23,5	27,3	31,1	63	97
16/9	15,2	20,4	25,6	62	95
27/9	13,6	22,2	30,8	30	91
8/10	13,5	18,8	24,1	69	100
18/10	14,3	18	21,7	60	96
30/10	17,3	19,45	21,6	56	82

**Annexe 6 : Température et humidité relative pour l'année 2004**

Date	Température °C			Humidité relative %	
	Temp. Min	Temp. Moy	Temp. Max	Hum. Min	Hum. max
19/7	21,8	25,15	28,5	56	93
26/7	22,3	27,2	32,1	36	91
2/8	22,5	29	35,5	23	94
9/8	23	26,8	30,6	53	81
16/8	22	26,4	30,8	42	94
23/8	22,1	29,55	37	18	96
30/8	20	24,65	29,3	64	98
6/9	21,6	25,35	29,1	39	91
13/9	22,8	27,4	32	40	97
20/9	14,3	24,3	34,3	22	70
27/9	11,5	19,2	26,9	39	86
4/10	19,9	26,25	32,6	25	85
12/10	10,6	16,6	22,6	58	97
18/10	11	18,85	26,71	49	97

### Annexe 7 : Température et humidité relative pour l'année 2005

Date	Température °C			Humidité relative %	
	Temp. Min	Temp. Moy	Temp. Max	Hum. Min	Hum. max
12/6	18,6	23,85	29,1	43	98
19/6	14,5	23,55	32,6	33	93
6/7	20,9	27,8	34,7	43	98
10/7	20,5	25,95	31,4	53	96
16/7	23,3	29,1	34,9	51	98
23/7	14,9	22,95	31	32	87
31/7	22,6	25,75	28,9	78	98
10/8	24	26,5	29	43	93
20/8	22,6	26,9	31,2	41	97
29/8	17	25,45	33,9	31	98
8/9	18	22,1	26,2	66	95
14/9	21	26,25	31,5	43	85
25/9	14,8	20,25	25,7	53	98
10/10	15,3	20,95	26,6	45	97

### Annexe 8 : Température et humidité relative pour l'année 2006

Date	Température °C			Humidité relative %	
	Temp. Min	Temp. Moy	Temp. Max	Hum. Min	Hum. max
8/7	19,3	27	34,7	20	98
19/7	24	33,25	42,5	13	94
29/7	17,7	25,65	33,6	33	100
8/8	19,5	26,7	33,9	24	95
18/8	17,2	21,9	26,6	49	88
28/8	16,5	25,3	34,1	26	91
7/9	22,7	27,7	32,7	43	95
17/9	12,4	19,5	26,6	39	98
27/9	12,8	20,5	28,2	41	94
7/10	11,5	19,8	28,1	35	92
17/10	19,5	22,1	24,7	63	98
27/10	18,5	21,3	24,1	72	96
6/11	16	20,1	24,2	50	77
16/11	9,1	18,3	27,5	13	68
26/11	7,8	14,2	20,6	62	92
6/12	12,4	15,2	18	49	86

**Annexe 9 : Taux d'infestation de *P. citrella* (2003)**

Date	Taux (%)
9/7	67,45
19/7	80,21
26/7	83,21
6/8	86,35
16/8	95,08
26/8	97,37
6/9	92
16/9	86,51
27/9	78,13
8/10	76
18/10	66,09
30/10	54,12

**Annexe 10 : Taux d'infestation de *P. citrella* (2004)**

Date	Taux (%)
19/7	87,16
26/7	96,56
2/8	81,12
9/8	89,18
16/8	95,02
23/8	90,58
30/8	92
6/9	79,39
13/9	81
20/9	82,92
27/9	86,31
4/10	76,27
12/10	69,05
18/10	54,95

**Annexe 11 : Taux d'infestation de *P. citrella* (2005)**

Date	Taux (%)
12/6	10,09
19/6	12,53
6/7	30
10/7	20,92
16/7	60
23/7	59,36
31/7	89,39
10/8	98,67
20/8	99,02
29/8	90,92
8/9	89
14/9	86,71
25/9	84
10/10	90

**Annexe 12 : Taux d'infestation de *P. citrella* (2006)**

Date	Taux (%)
8/7	78,17
19/7	96,03
29/7	94,44
8/8	93,25
18/8	91,16
28/8	78,17
7/9	71,18
17/9	76,19
27/9	84,31
7/10	87,69
17/10	72,22
27/10	71,42
6/11	65,42
16/11	58,73
26/11	43,25
6/12	16,26

**Annexe 13 : Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2003**

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
09-juil	0,00	0,59	0,65	<b>1,24</b>
19-juil	0,04	0,69	0,65	<b>1,38</b>
26-juil	0,00	0,74	0,52	<b>1,26</b>
06-août	0,00	1,42	0,72	<b>2,14</b>
16-août	0,00	1,21	0,97	<b>2,18</b>
26-août	0,01	2,19	1,22	<b>3,42</b>
06-sept	0,08	1,60	0,39	<b>2,07</b>
16-sept	0,09	1,94	0,29	<b>2,32</b>
27-sept	0,03	0,89	0,14	<b>1,06</b>
08-oct	0,11	1,58	0,05	<b>1,74</b>
18-oct	0,01	1,01	0,04	<b>1,06</b>
30-oct	0,00	0,97	0,04	<b>1,01</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,03</b>	<b>1,24</b>	<b>0,47</b>	<b>1,74</b>

**Annexe 14 : Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2004**

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
19-juil	0	0,22	0,05	<b>0,27</b>
26-juil	0,03	0,57	0,50	<b>1,1</b>
02-août	0	1,44	0,69	<b>2,13</b>
09-août	0,17	<b>1,62</b>	0,66	<b>2,45</b>
16-août	0,09	1,48	1,06	<b>2,63</b>
23-août	0	1,93	<b>1,45</b>	<b>3,38</b>
30-août	0,15	<b>2,03</b>	0,37	<b>2,55</b>
06-sept	0,11	1,74	0,26	<b>2,11</b>
13-sept	0,25	<b>1,86</b>	0,32	<b>2,43</b>
20-sept	0,01	1,62	0,29	<b>1,92</b>
27-sept	0,05	1,67	0,26	<b>1,98</b>
04-oct	0,03	0,92	0,35	<b>1,3</b>
12-oct	0,01	0,70	0,25	<b>0,96</b>
18-oct	0	0,25	0,20	<b>0,45</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,06</b>	<b>1,29</b>	<b>0,48</b>	<b>1,83</b>

**Annexe 15 : Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2005**

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
12-juin	0,09	0,51	0,81	<b>1,41</b>
19-juin	0	0,24	<b>1,11</b>	<b>1,35</b>
06-juil	0	<b>1,59</b>	0,70	<b>2,29</b>
10-juil	0,03	0,75	0,45	<b>1,23</b>
16-juil	0,28	0,61	0,40	<b>1,29</b>
23-juil	0,01	1,24	1,03	<b>2,28</b>
31-juil	0	1,55	0,79	<b>2,34</b>
10-août	0	<b>1,80</b>	0,42	<b>2,22</b>
20-août	0	1,08	1,70	<b>2,78</b>
29-août	0,08	1,96	<b>0,93</b>	<b>2,97</b>
08-sept	0,11	<b>3,14</b>	0,26	<b>3,51</b>
14-sept	0,35	2,10	0,29	<b>2,74</b>
25-sept	0,01	<b>3,70</b>	0,38	<b>4,09</b>
10-oct	0,004	0,82	0,02	<b>0,84</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,07</b>	<b>1,51</b>	<b>0,66</b>	<b>2,24</b>

**Annexe 16 : Evolution temporelle de l'effectif moyen par feuille des différents stades de *P. citrella* en 2006**

<b>Date</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>Total</b>
08-juil	0,26	1,15	0,36	<b>1,77</b>
19-juil	0,01	<b>2,76</b>	0,24	<b>3,01</b>
29-juil	0,02	1,57	0,24	<b>1,83</b>
08-août	0,04	<b>2,39</b>	0,07	<b>2,50</b>
18-août	0,01	1,93	0,03	<b>1,97</b>
28-août	0	1,22	0,03	<b>1,25</b>
07-sept	0	1,25	0,01	<b>1,26</b>
17-sept	0	0,78	0,01	<b>0,79</b>
27-sept	0	<b>1,54</b>	0,05	<b>1,59</b>
07-oct	0,04	1,21	0,01	<b>1,26</b>
17-oct	0	<b>1,55</b>	0,03	<b>1,58</b>
27-oct	0	0,89	0,25	<b>1,14</b>
06-nov	0	0,83	0,11	<b>0,94</b>
16-nov	0	0,82	0,09	<b>0,91</b>
26-nov	0	0,64	0,04	<b>0,68</b>
06-déc	0	0,50	0	<b>0,5</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0,02</b>	<b>1,31</b>	<b>0,10</b>	<b>1,43</b>

**Annexe 17 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite aux causes indéterminées (2003)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total mortalité
9/7	0	0	10,8	57,6	0	0	68,4
19/7	0	0	25,2	36	0	10,8	72
26/7	0	25,2	10,8	25,2	0	18	79,2
6/8	0	133,2	36	18	0	0	187,2
16/8	0	32,4	75,6	14,4	0	3,6	126
26/8	0	126	10,8	57,6	0	10,8	205,2
6/9	0	10,8	50,4	32,4	3,6	0	97,2
16/9	32,4	10,8	57,6	3,6	10,8	0	115,2
27/9	0	28,8	10,8	3,6	0	0	43,2
8/10	0	3,6	57,6	10,8	3,6	0	75,6
18/10	0	32,4	3,6	3,6	0	0	39,6
30/10	0	36	36	0	0	0	72

**Annexe 18 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite aux causes indéterminées (2004)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total mortalité
19/7	0	0	10,8	21,6	0	0	32,4
26/7	0	10,8	14,4	32,4	3,6	0	61,2
2/8	0	28,8	21,6	36	10,8	3,6	100,8
9/8	39,6	82,8	86,4	21,6	0	7,2	237,6
16/8	32,4	43,2	36	21,6	10,8	0	144
23/8	0	122,4	111,6	46,8	0	0	280,8
30/8	0	115,2	72	32,4	0	0	219,6
6/9	10,8	126	122,4	43,2	0	0	302,4
13/9	36	54	162	54	0	0	306
20/9	0	57,6	133,2	32,4	0	0	223,2
27/9	0	64,8	115,2	21,6	0	0	201,6
4/10	0	36	36	25,2	0	0	97,2
12/10	0	3,6	21,6	18	0	0	43,2
18/10	0	0	14,4	7,2	0	0	21,6

**Annexe 19 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite aux causes indéterminées (2005)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total mortalité
12/6	32,4	21,6	10,8	43,2	0	0	108
19/6	0	0	0	0	0	0	0
6/7	0	252	25,2	25,2	0	0	302,4
10/7	0	10,8	21,6	21,6	0	0	54
16/7	3,6	14,4	3,6	7,2	0	3,6	32,4
23/7	0	18	18	10,8	3,6	3,6	54
31/7	0	165,6	10,8	32,4	10,8	0	219,6
10/8	0	25,2	18	25,2	0	0	68,4
20/8	0	57,6	54	21,6	3,6	0	136,8
29/8	28,8	82,8	28,8	46,8	0	0	187,2
8/9	0	111,6	54	10,8	0	0	176,4
14/9	3,6	126	82,8	18	0	0	230,4
25/9	0	68,4	187,2	21,6	0	0	277,2
10/10	0	9,36	50,4	6,48	0	0	66,24

**Annexe 20 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite aux causes indéterminées (2006)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total mortalité
8/7	90	93,6	97,2	46,8	3,6	10,8	342
19/7	28,4	18	36	21,6	0	7,2	111
29/7	5,4	14,4	43,2	36,0	0	7,2	106
8/8	10,8	68,4	50,4	25,2	0	25,2	180
18/8	2,5	68,4	57,6	64,8	0	3,6	197
28/8	0	75,6	25,2	28,8	0	3,6	133
7/9	0	82,8	43,2	32,4	0	3,6	162
17/9	0	57,6	25,2	14,4	0	0	97
27/9	0	82,8	64,8	46,8	0	7,2	202
7/10	10,8	21,6	18	10,8	0	3,6	65
17/10	0	3,6	10,8	10,8	0	0	25
27/10	0	0	7,2	10,8	0	0	18
6/11	0	28,8	21,6	14,4	0	10,8	76
16/11	0	50,4	32,4	25,2	0	7,2	115
26/11	0	50,4	32,4	10,8	0	3,6	97
6/12	0	43,2	28,8	7,2	0	3,6	83

**Annexe 21 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite au parasitisme (2003)**

Date / Stade	W	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	PN	N	Total parasitisme
9/7	0	0	10,8	79,2	0	0	90
19/7	0	0	3,6	68,4	7,2	0	79,2
26/7	0	0	14,4	61,2	3,6	68,4	147,6
6/8	0	0	21,6	129,6	18	93,6	262,8
16/8	0	0	32,4	126	32,4	162	352,8
26/8	0	0	3,6	270	21,6	306	601,2
6/9	0	0	21,6	140,4	0	82,8	244,8
16/9	0	0	21,6	201,6	0	61,2	284,4
27/9	0	0	0	126	0	32,4	158,4
8/10	0	0	0	61,2	0	10,8	72
18/10	0	0	0	32,4	0	3,6	36
30/10	0	0	10,8	57,6	0	0	68,4

**Annexe 22 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite au parasitisme (2004)**

Date / Stade	W	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	PN	N	Total parasitisme
19/7	0	0	0	10,8	0	0	10,8
26/7	0	0	0	32,4	18	25,2	75,6
2/8	0	0	32,4	198	54	32,4	316,8
9/8	0	0	10,8	169,2	25,2	39,6	244,8
16/8	0	0	20,52	270	36	241,2	567,72
23/8	0	0	7,2	284,4	21,6	230,4	543,6
30/8	0	0	25,2	194,4	10,8	111,6	342
6/9	0	0	36	97,2	18	82,8	234
13/9	0	0	10,8	111,6	21,6	97,2	241,2
20/9	0	0	39,6	133,2	10,8	75,6	259,2
27/9	0	0	46,8	190,8	37,4	79,2	354,2
4/10	0	0	0	68,4	0	90	158,4
12/10	0	0	3	93,6	10,8	64,8	172,2
18/10	0	0	0	18	3,6	54	75,6

**Annexe 23 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite au parasitisme (2005)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total parasitisme
12/6	0	0	0	0	0	0	0
19/6	0	0	0	0	0	0	0
6/7	0	0	0	3,6	10,8	0	14,4
10/7	0	0	0	36	0	10,8	46,8
16/7	0	0	1,44	46,8	0	18	66,24
23/7	0	0	3,6	72	7,2	39,6	122,4
31/7	0	0	0	126	18	50,4	194,4
10/8	0	0	25,2	352,8	54	18	450
20/8	0	0	10,08	273,6	25,2	471,6	780,48
29/8	0	0	10,8	342	25,2	280,8	658,8
8/9	0	0	21,6	216	0	61,2	298,8
14/9	0	0	39,6	226,8	21,6	97,2	385,2
25/9	0	0	25,2	237,6	18	111,6	392,4
10/10	0	0	2,88	33,84	1,44	1,44	39,6

**Annexe 24 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite au parasitisme (2006)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total parasitisme
8/7	0	3,6	25,2	115,2	0	14,4	158
19/7	0	3,6	14,4	144,0	0	10,8	173
29/7	0	1,08	18	140	3,6	0	163
8/8	0	0	3,6	95	21,6	0	121
18/8	0	0	18	94	14,4	0	126
28/8	0	0	14,4	101	0	0	115
7/9	0	0	32,4	97	0	0	130
17/9	0	0	14,4	77,4	0	0	92
27/9	0	0	36	108,0	0	0	144
7/10	0	0	3,6	64,8	0	0	68
17/10	0	0	36	90,0	0	0	126
27/10	0	0	10,8	104	0	0	115
6/11	0	3,6	3,6	50,4	0	0	58
16/11	0	0	3,6	25,2	3,6	2,52	35
26/11	0	0	14,4	39,6	0	0	54
6/12	0	0	0	7,2	0	0	7

**Annexe 25 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite à la prédation (2003)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total prédation
9/7	0	0	0	0	0	0	0
19/7	0	0	10,8	25,2	0	0	36
26/7	0	0	3,6	14,4	0	0	18
6/8	0	3,6	21,6	21,6	0	0	46,8
16/8	0	0	0	14,4	0	0	14,4
26/8	0	0	0	0	0	0	0
6/9	0	10,8	3,6	32,4	0	0	46,8
16/9	0	0	3,6	0	0	0	3,6
27/9	0	0	0	10,8	0	0	10,8
8/10	0	3,6	10,8	0	0	0	14,4
18/10	0	0	25,2	0	0	0	25,2
30/10	0	0	3,6	0	0	0	3,6

**Annexe 26 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite à la prédation (2004)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total prédation
19/7	0	0	0	0	0	0	0
26/7	0	0	3,6	0	0	0	3,6
2/8	0	0	0	10,8	0	0	10,8
9/8	0	0	3,6	32,4	0	0	36
16/8	0	0	1,8	3,6	0	0	5,4
23/8	0	3,6	0	0	0	0	3,6
30/8	0	0	10,8	7,2	0	0	18
6/9	0	0	0	0	0	0	0
13/9	0	0	21,6	21,6	0	0	43,2
20/9	0	0	10,8	0	0	0	10,8
27/9	0	0	7,2	3,6	0	0	10,8
4/10	0	0	0	0	0	0	0
12/10	0	0	0	7,2	0	0	7,2
18/10	0	0	0	0	0	0	0

**Annexe 27 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite à la prédation (2005)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total prédation
12/6	0	0	0	10,8	0	0	10,8
19/6	0	14,4	14,4	28,8	0	0	57,6
6/7	0	0	0	21,6	0	0	21,6
10/7	0	0	68,4	21,6	0	0	90
16/7	0	1,44	8,64	8,64	1,44	0	20,16
23/7	0	0	7,2	10,8	3,6	0	21,6
31/7	0	0	3,6	0	0	0	3,6
10/8	0	0	3,6	3,6	0	0	7,2
20/8	0	0	0	0	0	0	0
29/8	0	0	0	0	0	0	0
8/9	0	0	10,8	0	0	0	10,8
14/9	0	3,6	14,4	0	0	0	18
25/9	0	0	25,2	0	0	0	25,2
10/10	0	0	6,48	0	0	0	6,48

**Annexe 28 : Effectif des différents stades de *P. citrella* mort suite à la prédation (2006)**

Date / Stade	W	L1	L2	L3	PN	N	Total prédation
8/7	0	0	28,8	14,4	0	0	43,2
19/7	0	3,6	18	28,8	32,4	36	118,8
29/7	0	3,6	154,8	32,4	10,8	10,8	212,4
8/8	0	0	21,6	21,6	0	0	43,2
18/8	0	0	14,4	36,0	0	0	50,4
28/8	0	0	32,4	28,8	0	0	61,2
7/9	0	0	10,8	46,8	0	0	57,6
17/9	0	0	10,8	21,6	21,6	10,8	64,8
27/9	0	7,2	7,2	14,4	25,2	12,6	66,6
7/10	0	0	3,6	18,0	0	0	21,6
17/10	0	0	7,2	10,8	0	0	18,0
27/10	0	3,6	7,2	18,0	21,6	7,2	57,6
6/11	0	7,2	3,6	43,2	10,8	7,2	72,0
16/11	0	0	10,8	21,6	0	10,8	43,2
26/11	0	3,6	0	7,2	21,6	25,2	57,6
6/12	0	0,02	0	0,1	0,03	0,02	0,1

**Annexe 29 : Sensibilité (%) des stades de la mineuse à la mortalité aux causes indéterminées (2003 à 2006)**

<b>Année</b>	<b>Stade</b>	<b>W</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>PN</b>	<b>N</b>
2003		2,7	37	32,7	22,3	1,6	3,7
2004		5,2	32,8	42,1	18,2	1,1	0,5
2005		3,6	50,3	29,5	15,2	1,0	0,4
2006		7,3	37,8	29,5	20,3	0,2	4,9

**Annexe 30 : Sensibilité (%) des stades de la mineuse au parasitisme (2003 à 2006)**

<b>Année</b>	<b>Stade</b>	<b>W</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>PN</b>	<b>N</b>
2003		0	0	5,9	56,4	3,5	34,2
2004		0	0	6,5	52	7,5	34
2005		0	0	4,1	57	5,2	33,6
2006		0	1	14,8	80	2,6	1,7

**Annexe 31 : Sensibilité (%) des stades de la mineuse à la prédation (2003 à 2006)**

<b>Année</b>	<b>Stade</b>	<b>W</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>PN</b>	<b>N</b>
2003		0	8,6	38,3	53,2	0	0
2004		0	2,7	40	57,3	0	0
2005		0	6,5	55,1	36,7	1,7	0
2006		0	3	33,5	37	14,6	12,2

**Annexe 32 : Abondance relative (%) mensuelle des parasitoïdes récoltés (2003)**

Mois espèces	S. <i>petiolatus</i>	C. <i>C. pictus</i>	C. <i>phyllocnistoides</i>	C. <i>formosus</i>	P. <i>pectinicornis</i>	<i>Pediobius</i>	<i>C. vittatus</i>
Juillet	21,4	35,7	21,4	7,1	0	0	14,3
Aout	44,1	48,5	3,7	0	3,7	0	0
Septembre	70,2	19	3,6	2,4	2,4	1,2	1,2
Octobre	41,2	23,5	14,7	2,9	14,7	0	2,9
Novembre	61,1	22,2	11,1	0	0	0	5,6

**Annexe 33 : Abondance relative (%) mensuelle des parasitoïdes récoltés (2004)**

Mois espèces	S. <i>petiolatus</i>	C. <i>pictus</i>	C. <i>phyllocnistoides</i>	C. <i>formosus</i>	P. <i>pectinicornis</i>	<i>Pediobius</i>	<i>C. vittatus</i>
Juillet	30,8	30,8	0	0	30,8	0	7,7
Aout	28	40	12	10	10	0,4	0
Septembre	42,3	36,3	12	9	0	0,5	0
Octobre	16,7	33,3	16,7	0	33,3	0	0

**Annexe 34 : Abondance relative (%) mensuelle des parasitoïdes récoltés (2005)**

Mois espèces	S. <i>petiolatus</i>	C. <i>pictus</i>	C. <i>phyllocnistoides</i>	C. <i>formosus</i>	P. <i>pectinicornis</i>	<i>Pediobius</i>	<i>C. vittatus</i>
Juin	0	0	0	0	0	0	0
Juillet	20,8	20,8	4,2	16,7	37	0	0,5
Aout	42	30	12,3	7,2	5,4	3,1	0
Septembre	38	20,4	19,9	5,8	1,8	14,1	0
Octobre	24,2	30,6	25,8	19,39	0	0	0

**Annexe 35 : Abondance relative (%) mensuelle des parasitoïdes récoltés (2006)**

Mois espèces	S. <i>petiolatus</i>	C. <i>pictus</i>	C. <i>phyllocnistoides</i>	P. <i>pectinicornis</i>	<i>C. vittatus</i>
Juillet	61,9	17,5	20,6	0	0
Aout	37	18,5	22,2	22,2	0
Septembre	23,8	23,8	28,6	23,8	0
Octobre	10,2	46,1	43	0	0,8
Novembre	9,2	19,5	62,1	8	1,1
Décembre	0	0	0	0	0