Programme PETAAL (2008-2011)
Synthèse des travaux portant sur la stratégie combinée de lutte biologique contre le tigre du platane

Après trois ans de travaux de recherche, le programme PETAAL, coordonné par le centre technique national Plante & Cité et porté par la société KOPPERT, livre ses résultats. Les expérimentations ont permis de définir les éléments d'une stratégie globale de biocontrôle du tigre du platane (*Corythucha ciliata)* en espaces verts, faisant appel à l'utilisation combinée d'auxiliaires entomopathogènes et prédateurs.
Les résultats des expérimentations ont mis en évidence l'efficacité de nématodes entomopathogènes du genre *Steinerneima* (produits commercialisés : TIGRANEM® ou NEMADOR®) et de l'insecte prédateur indigène *Chrysoperla lucasina*(produits commercialisés : CHRYSOLYS® ou TIGRADOR®) à des doses spécifiques.

Ce document est la synthèse exhaustive des travaux menés au cours du projet. Il permettra ainsi aux gestionnaires et conseillers techniques de prendre connaissance des résultats ayant conduit à l'élaboration de la stratégie globale de biocontrôle du tigre du platane. Une rubrique F.A.Q. a été ajoutée pour anticiper les besoins d'informations pratiques préalables à la mise en œuvre sur le terrain des composantes de la stratégie de PETAAL.

SOMMAIRE

1. CONTEXTE DU PROGRAMME PETAAL 4
1.1. LE PLATANE DANS LE PATRIMOINE ARBORE URBAIN 4
1.2. IMPORTANCE DU TIGRE DU PLATANE EN ESPACES VERTS 5
1.3. ENJEUX ET EVOLUTION DES PRATIQUES PHYTOSANITAIRES EN VILLE 5
1.3.1. CONTEXTE ET ENJEUX REGLEMENTAIRES 5
1.3.2. ATTENTES DES GESTIONNAIRES DE PATRIMOINE VEGETAL : DE LA LUTTE CHIMIQUE AUX METHODES ALTERNATIVES A 6

2. LE TIGRE DU PLATANE, *CORYTHUCHA CILIATA* (SAY) (HEMIPTERA : TINGIDAE) 7
2.1. ELEMENTS DE BIOLOGIE 7
2.2. DEGATS ET NUISANCES 9
2.3. DYNAMIQUE DES POPULATIONS DU TIGRE DU PLATANE. 10

3. PERSPECTIVES DE LUTTE BIOLOGIQUE 12
3.1. POTENTIELSD'INSECTES PREDATEURS 12
3.2. POTENTIELS D'ORGANISMES ENTOMOPATHOGENES 13
3.3. IMPACT DES AUXILIAIRES SUR LA FAUNE DES PLATANES 13
3.4. CONCLUSIONS 14

4. METHODES ET OUTILS D'EXPERIMENTATION DEVELOPPES DANS LE CADRE DE PETAAL 16
4.1. ESSAIS GRANDEUR NATURE 16
4.1.1. EXPERIMENTATIONS 16
4.1.2. ESSAIS DE VALEUR PRATIQUE 16
4.2. CONCEPTION D'UN OUTIL D'ANALYSE D'IMAGES COULEUR POUR QUANTIFIER LES DECOLORATIONS FOLIAIRES DUES AU TIGRE 16

5. SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS DANS LE CADRE DES ESSAIS REALISES PREALABLEMENT SUR LE POTENTIEL DE CHACUN DES ORGANISMES BIOLOGIQUES A CONTROLER LE TIGRE DU PLATANE. 19

6. ETUDE DE LA MIGRATION DU TIGRE DU PLATANE : MISE EN PLACE D'UN RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION 21
6.1. OBJECTIFS 21
6.2. DISPOSITIF D'ETUDE 21
6.2.1. CHOIX DES LIEUX ET SITES D'ETUDE 21
6.2.2. OBSERVATIONS ET NOTATIONS 22
6.2.3. ANALYSE DES RESULTATS 22
6.3. PRINCIPAUX RESULTATS 22
6.3.1. ENSEIGNEMENTS ET PERSPECTIVES 23

7. MISE EN PLACE ET EVALUATION D'UNE STRATEGIE COMBINEE DE LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LE TIGRE DU PLATANE 25
7.1. OBJECTIFS 25
7.2. MATERIELS ET METHODES 25
7.2.1. DISPOSITIF EXPERIMENTAL 25
7.2.2. SPECIALITES COMMERCIALES ET MODALITES ETUDIEES 26
7.2.3. MATERIEL D'APPLICATION 26
7.2.4. EVALUATION DE L'EFFICACITE DES TRAITEMENTS. 28
7.2.4.1. OBSERVATION ET NOTATIONS 28
7.2.4.2. ANALYSE DES RESULTATS 28
7.3. RESULTATS GLOBAUX INTER-SITES 29
7.3.1. TRAITEMENT SUR TRONC ET CHARPENTIERES (NEMATODES) 29
7.3.2. TRAITEMENTS FOLIAIRES (NEMATODES ET CHRYSOPES) 29
7.3.3. PRINCIPALES CONCLUSIONS 30
7.4. RESULTATS DETAILLES INTRA-SITES 30
7.5. RESULTATS DE LA QUANTIFICATION DES DEGATS FOLIAIRES DUS AU TIGRE DU PLATANE A L'AIDE DE L'OUTIL D'ANALYSE D'IMAGE 36
7.6. CONCLUSIONS ET DISCUSSION 36
7.6.1. SYNTHESE DES PRINCIPAUX RESULTATS 36
7.6.2. COMMENTAIRES GENERAUX 37

8. STRATEGIE GLOBALE DE BIOCONTROLE DU TIGRE DU PLATANE – PRECONISATIONS ISSUES DU PROGRAMME PETAAL 38

9. REMERCIEMENTS 41

10. FAQ 41

11. BIBLIOGRAPHIE 43

1. Contexte du programme PETAAL

1.1. Le platane dans le patrimoine arboré urbain

Les végétaux utilisés en alignement pour l'accompagnement de voiries en ville constituent une part importante du patrimoine vert des collectivités territoriales et peuvent représenter plusieurs dizaines de milliers d'arbres dans les plus grandes collectivités territoriales. A titre d'exemples, la ville de Paris possède plus de 98 000 arbres d'alignement et l'ensemble des villes de la communauté urbaine du Grand Lyon en possède 70 000.
Quelles que soient la taille des villes et la nature de leur patrimoine vert, les arbres d'alignement constituent des éléments structurants et identitaires du paysage urbain, qui ont donc souvent dans l'histoire accompagné l'évolution de l'architecture des bâtis et de l'urbanisme.

Une enquête réalisée en 2007 par le centre technique Plante & Cité a permis de caractériser la diversité des plantations urbaines utilisées en alignements urbains à partir d'inventaires de patrimoines arborés. Sur le plan national, 150 genres et 415 espèces, variétés ou cultivars avaient été recensés mais l'étude a également permis de montrer que seuls 17 genres représentent plus de 80% du patrimoine arboré des alignements en accompagnement des voiries urbaines.
Les trois genres les plus plantés sont le platane, le marronnier et le tilleul dans toutes les régions françaises. Le genre *Platanus* est réparti de façon différente selon les départements (cf. Figure 1). Dans certaines villes, le platane peut représenter plus du tiers du patrimoine arboré des alignements urbains comme à Paris où l'on en compte plus de 30 000 (sur les 98 000). Si l'on souhaite prendre en compte les platanes situés en bordure des routes nationales et départementales, il n'existe pas de recensement précis mais les estimations qui ont pu être réalisées montrent l'importance du platane dans le paysage urbain et rural de nombreux départements français (Midi Pyrénées, Ile-de-France, PACA, Rhône-Alpes….). Par exemple, la région PACA compte plus de 400000 platanes, répartis en milieu urbain et en bordure de routes.
La large diffusion sur le territoire national et la prépondérance du genre *Platanus* au sein des espaces verts constituent des facteurs de généralisation et de développement exceptionnel du tigre du platane.

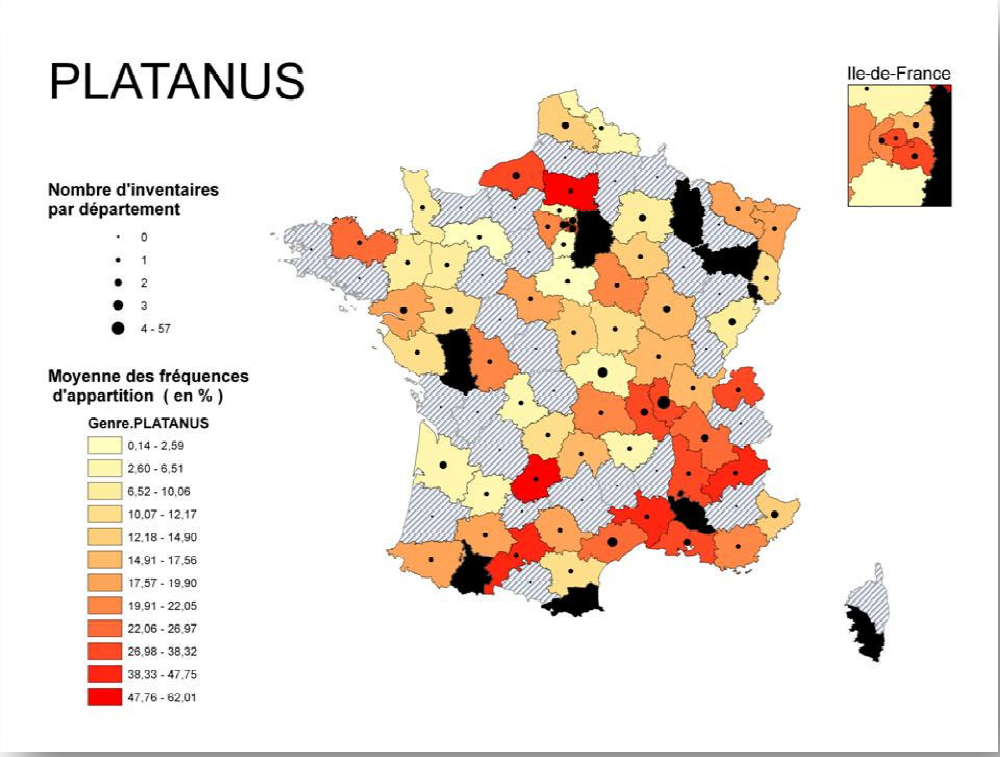


FIGURE 1. CARTOGRAPHIE DE LA FREQUENCE DE PLANTATION DU GENRE *PLATANUS* AU SEIN DU PATRIMOINE ARBORE DES VILLES (SOURCE : PLANTE & CITE, 2007)

1.2. Importance du tigre du platane en espaces verts

Le tigre du platane, *Corythucha ciliata* (Say, 1832), une petite punaise phytophage originaire d'Amérique du Nord, a été observé pour la première fois en Europe en 1964 à Padoue (Italie) puis en France en 1975 dans les Alpes Maritimes.
Depuis, son aire de propagation n'a cessé de s'étendre pour finalement coloniser la quasi-totalité du territoire français (cf. Figure 2).

FIGURE 2. REPARTITION DU TIGRE DU PLATANE EN FRANCE EN 2011
(VERT : REGIONS AYANT MENTIONNE LA PRESENCE DE *CORYTHUCHA CILIATA*– SOURCE : PLANTE & CITE)

Cette évolution a été facilitée par la prépondérance de son hôte au sein du patrimoine arboré des collectivités territoriales et à sa capacité de dispersion rapide. Cet insecte est inféodé au platane (d'Aguilar *et al.*, 1977et fait fait l'objet d'un suivi dans le cadre du dispositif de Surveillance Biologique du Territoire en Zones Non Agricoles qui vise à établir l'état phytosanitaire du territoire national (cf. http://www.ecophytozna-pro.fr).

1.3. Enjeux et évolution des pratiques phytosanitaires en ville

1.3.1.Contexte et enjeux réglementaires

Les enjeux de protection de l'environnement s'inscrivent désormais pleinement dans les objectifs de conception et de gestion durable des espaces verts urbains et péri-urbains. Concernant les produits phytosanitaires, plusieurs mesures réglementaires et incitatives sont mis en perspective les problématiques de réduction et d'encadrement de leur utilisation :

- L'arrêté du 12/09/06 pour l'encadrement des pratiques phytosanitaires en zones agricoles et non agricoles notamment en ce qui concerne les délais de rentrée sur sites traités et les conditions d'interventions pour limiter les risques de pollutions ponctuelles et diffuses ;
- La directive européenne N°2009/128/CE du 21/10/09 sur l'utilisation durable des pesticides (paragraphe 11 sur les espaces verts publics) ;
- Le plan Ecophyto 2018 en cours dont le groupe d'experts associés a mis en avant la nécessité de mobiliser la recherche, le développement et le transfert de méthodes alternatives et de systèmes plus économes en pesticides ;
- L'arrêté « Lieux Public » du 27/06/11 relatif à l'interdiction d'emploi de certains produits dans des lieux fréquentés par le grand public ou des groupes de personnes vulnérables.

En 2008, au commencement du projet PETAAL, la lutte chimique contre le tigre du platane reposait sur l'application de spécialités commerciales insecticides à base de trois substances actives : la Deltaméthrine, la Bifenthrine et le Tau-fluvalinate (toutes sont des pyréthrinoïdes de synthèse). Depuis, les préparations à base de Deltaméthrine et de Bifenthrine ont été retirées du marché (utilisation possible jusqu'au 30/04/2009 et 31/05/2011 respectivement). Par conséquent, en 2012, les gestionnaires de patrimoine arboré ont de moins en moins de possibilités pour contrôler le tigre du platane de manière conventionnelle.

1.3.2.Attentes des gestionnaires de patrimoine végétal : de la lutte chimique aux méthodes alternatives à

Dans le cadre du Programme PETAAL, une enquête réalisée en 2010auprès des gestionnaires d'espaces verts a permis d'étudier leurs pratiques vis-à-vis du tigre du platane. Cette dernière a mis en évidence d'une part que le critère principal de déclenchement des interventions était les plaintes des riverains et non pas les dégâts esthétiques sur les platanes. D'autre part, jusqu'à 4 interventions peuvent être réalisées par les villes chaque année pour réduire les nuisances, dont la majorité intervient 1 à 2 fois, et pour la plupart en été et fin d'hiver/printemps. Bien que l'ensemble d'entre elles traitent à l'aide de produits phytosanitaires de synthèse, l'intégration des enjeux environnementaux et des contraintes réglementaires dans les pratiques de gestion des espaces verts urbains les incitent de plus en plus à réduire l'utilisation de ce type de produits, notamment au niveau du patrimoine végétal, et à se tourner vers des techniques alternatives plus écologiques.
Certaines communes ont répondu à la charte pour l'environnement annexée à la constitution en 2005 en créant leur propre charte. C'est ainsi que plusieurs collectivités se sont fixées un objectif « zéro pesticide» à plus ou moins long terme. Les initiatives sont diverses pour tenter de réduire les utilisations de produits phytosanitaires dans l'entretien des espaces verts.
Dans ce contexte, de nombreuses communes et les applicateurs prestataires de services, modifient leurs pratiques phytosanitaires notamment en s'orientant vers des stratégies de Protection Biologique Intégrée(P.B.I.).
Dans le cas du tigre du platane, les collectivités territoriales sont démunies face à l'ampleur du problème. Avant le programme PETAAL, l'absence de moyens biologiques fiables et validés scientifiquement pour le contrôle du tigre du platane ne permettait pas aux gestionnaires de répondre favorablement à ces évolutions environnementales, sociétales et réglementaires.

CONTRIBUTION DU PROGRAMME PETAAL
A LA CONNAISSANCE DES PRATIQUES DES GESTIONNAIRES

- **35% des villes enquêtées traitent chimiquement contre le tigre du platane**
- **44% des villes ne disposent d'aucun matériel de traitement et s'orientent vers des prestataires de services**
- **65% des interventions sont réalisée en régie**
- **61% des interventions sont déclenchées par les plaintes, 27% par des observations préalables**
- **1 à 4 interventions par an sont réalisées**
  - **cas d'un seul traitement/an :**
    - **→ 62% traitent en Eté, 29% au Printemps, 9% en fin d'Hiver**
  - **cas de 2 interventions/an ou plus :**
    - **→ 36% en Eté, 25 % en fin d'Hiver+Eté, 25% au Printemps+Eté**
- **Critères de choix des méthodes de traitement :**
  - **→ Impact sur l'environnement**
  - **→ Coût et efficacité**

2. Le tigre du platane, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera : Tingidae)

2.1. Eléments de biologie

Le tigre du platane *Corythucha ciliata* est un insecte piqueur-suceur de la famille des Tingidés et de l'ordre des Hémiptères. Il s'agit d'une espèce multi-voltine qui présente en France 2 à 3 générations par an en fonction de la localisation géographique et des disponibilités nutritionnelles. Les zones méridionales sont propices à de nombreuses générations (Chauvel, 1988 ; Chapin *et al.*, 2006).
Deux phases totalement différentes se distinguent selon la période de l'année :

- ✓ une phase d'hivernation à l'état adulte sous les rhytidomes ;
- ✓ une phase d'activité pendant les périodes printanière et estivale (adultes et larves).

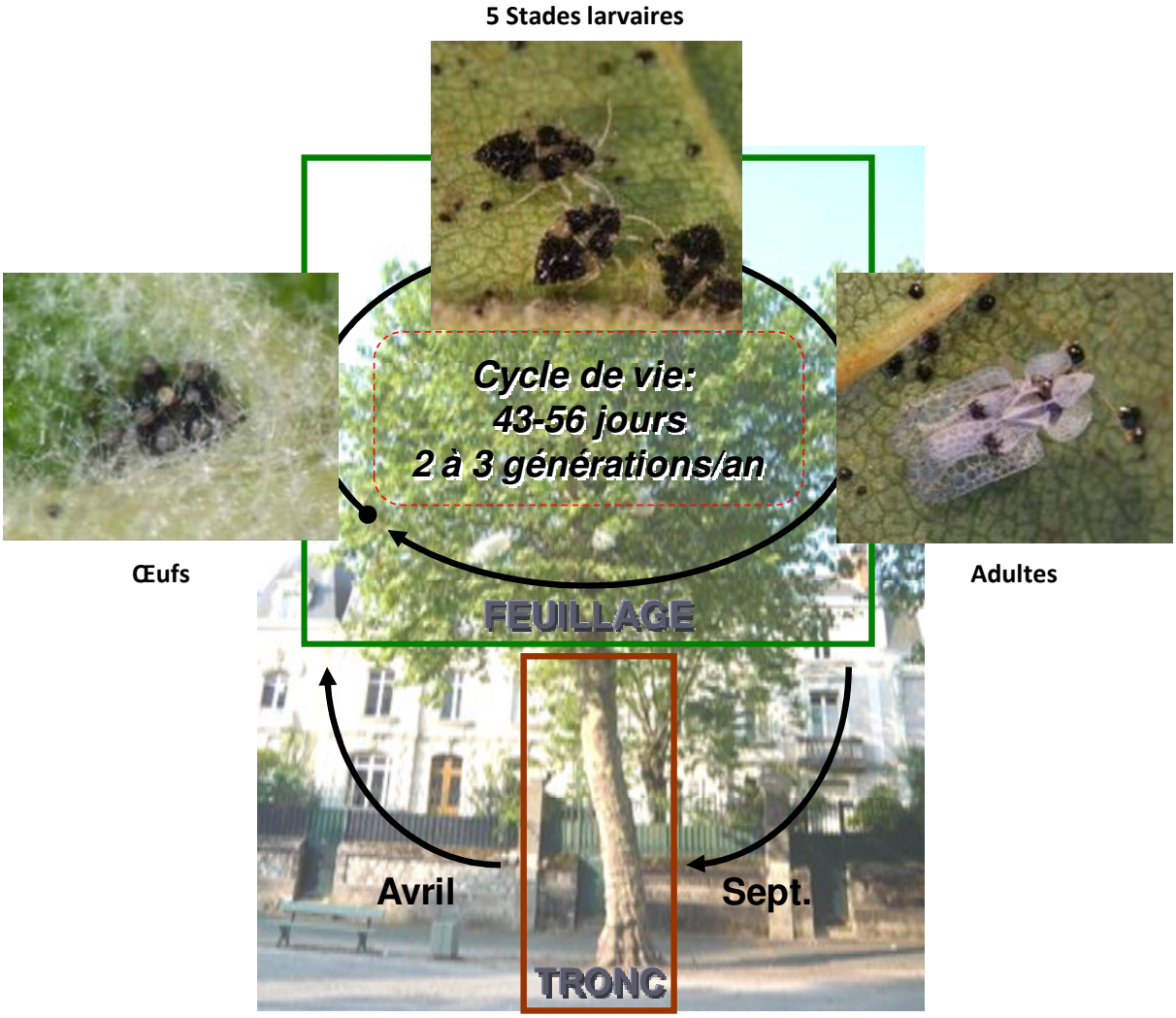


FIGURE 3. REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA DYNAMIQUE DU TIGRE DU PLATANE AU SEIN DU PLATANE. [CREDITS PHOTOS : T. VERFAILLE, AGROCAMPUS OUEST – CENTRE D'ANGERS INHP]

La phase d'inactivité du tigre du platane a lieu du mois d'octobre au mois d'avril environ.
Corythucha ciliata hiverne sous forme adulte sous les écorces partiellement détachées des troncs et des branches principales, nommées rhytidomes, ainsi que dans les crevasses et les fentes du bois (cf. Figure 3). Les tigres peuvent alors survivre à des températures négatives, avoisinant -30°C (Chauvel, 1988).
Lors de l'hivernation, les adultes de tigre du platane ont une tendance à l'agrégation sous les rhytidomes (cf. Figure 4) et hivernent préférentiellement sur la face Nord du tronc, qui présente le moins de variations de température et d'humidité, et à une hauteur comprise entre 0 et 3m (Zangheri, 1986 ; Longo, 1986 ; Chauvel, 1988).Le sexe ratio des adultes hivernants est alors de l'ordre de deux femelles pour un mâle (Zangheri, 1986).

FIGURE 4. PRESENCE D'ADULTES HIVERNANTS SUR TRONC APRES RETRAIT DES RHYTIDOMES.

Il faut noter que les platanes jeunes ou âgés ne présentent pas ou peu de populations hivernantes de *C. ciliata*. En effet, les jeunes platanes présentent très peu de rhytidomes ou d'anfractuosités où pourraient hiverner les adultes hivernants tandis que les platanes plus âgés ont une entomofaune hivernante importante sous leurs rhytidomes, pouvant contribuer à limiter la présence du tigre du platane (Oszi *et al.*, 2005). Le phénomène de desquamation des troncs des platanes peut également s'observer sur des sujets âgés.
La sortie d'hivernation du tigre du platane est liée à la température et à la photopériode. Ainsi, la migration du tigre du platane du tronc vers le feuillage a lieu au printemps, courant avril en général, et colonise les jeunes feuilles pour s'alimenter.
Durant sa phase d'activité dans le houppier des platanes, le tigre du platane passe par trois stades distincts : œufs, larves (5 stades larvaires) et adultes. Les caractères morphologiques de chacun des stades sont présentés dans le Tableau 1 ci-après.

Stades	Larvaires		Nymphaux			Adulte
	L1	L2	L3	L4	L5	
Couleur	Translucide à grisâtre.		Corps : noirâtre. Pattes : translucides.			- Corps noirâtre, - Ailes transparentes et réticulées de blanc, - Elytres marquées d'une tâche brune à noire au centre.
Longueur	<1mm		1mm	1 à 2mm	2 à 3mm	3 à 4mm
Forme	Plate et élargie					
Particularités	Stades délicats à différencier.		Développement des ébauches alaires (visibles à l'œil nu au stade L5), des soies et de la sclérification.			- Thorax et élytres pourvus d'extensions foliacées réticulées. - Tête surmontée d'un capuchon. - Antennes poilues, blanches, légèrement élargies à leurs extrémités en forme de massue.

TABLEAU 1. CARACTERES MORPHOLOGIQUES DE *CORYTHUCHA CILIATA* (SOURCE : FREDON PACA).

La Figure 5 ci-après illustre les caractères morphologiques décrits ci-dessus, du stade L1 au stade adulte, les œufs de tigre du platane n'étant pas pris en compte.

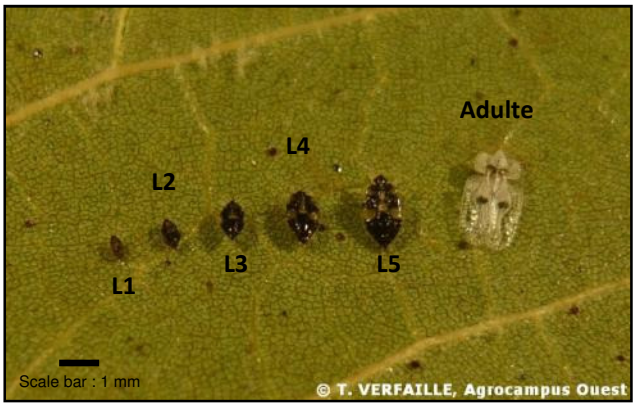


FIGURE 5. DIFFERENTS STADES DE DEVELOPPEMENT (LARVES ET ADULTE) DE *CORYTHUCHA CILIATA*.

La différence de taille est notable entre les stades du tigre du platane, avec l'apparition des ébauches alaires dès le troisième stade larvaire et la morphologie caractéristique de l'adulte avec ses extensions foliacées réticulées.

Une fois présents dans le feuillage après la migration ascendante des hivernants du tronc vers le houppier (Cf. §7),les adultes de tigre du platane commencent à s'alimenter et à s'accoupler. Les femelles hivernantes commencent à pondre 10 à 12 jours plus tard. En moyenne, une femelle pond de 40 à 100 œufs (Zangheri, 1986 ; Balarin & Maceljski, 1986b). Cependant, les références divergent quant aux valeurs moyennes de fécondité des femelles, dont les valeurs maximales peuvent atteindre plus de 280 œufs à une température constante de 30°C (Ju *et al.*, 2011). La période d'oviposition s'étale sur une période de 40 jours environ (Balarin & Maceljski, 1985).
Les œufs, en forme d'amphore et dont la partie basale est insérée dans les tissus de la feuille, sont pondus sur la face inférieure de la feuille en groupe ou de manière isolée le long de la nervure principale, et plus particulièrement à l'intersection de celle-ci avec les nervures secondaires. 14 à 21 jours après la ponte, les œufs éclosent et le développement larvaire, qui compte 5 stades, dure 33 à 46 jours selon les conditions climatiques. Les adultes de la génération suivante s'accouplent et pondent 8 à 10 jours plus tard et ainsi de suite. On observe un chevauchement des générations de juin à septembre, avec deux à trois générations par an en France (Euverte, 1981). Le cycle biologique de *C. ciliata* peut également être plus court selon les conditions climatiques ambiantes (Zangheri, 1986 ; Ju *et al.*, 2011) et dans ce cas présenter un plus grand nombre de génération.
La migration des adultes du tigre du platane pour hiverner, du houppier vers le tronc, a lieu principalement de la mi-septembre à début octobre, mais peut s'étaler de la fin août à fin octobre (Chauvel, 1988).

2.2. Dégâts et nuisances

Corythucha ciliata s'alimente sur la face inférieure des feuilles en ponctionnant le liquide intracellulaire ainsi que la sève. Le mode de nutrition exact et les tissus ponctionnés sont mal connus (Chauvel, 1988 ; Fraval, 2006). Il en résulte une dépigmentation des feuilles qui apparait d'abord à l'intersection entre la nervure principale et les nervures secondaires puis le long de ces nervures pour finalement s'étendre à l'ensemble du limbe (cf. Figure 6). La feuille peut ensuite prendre un aspect chlorotique voire bronzé (Halbert & Meeker, 1998).

FIGURE 6. DECOLORATIONS CARACTERISTIQUES DES FEUILLES DE PLATANES DUES A *CORYTHUCHA CILIATA*.

Cette prise alimentaire du tigre du platane est donc source de nuisances qui peuvent être de deux types :

- ✓ Des dégâts esthétiques avec une décoloration foliaire des platanes engendrant une défoliation prématurée qui affaiblit les arbres et les rend plus sensibles aux autres affections parasitaires;
- ✓ Des nuisances d'ordre commoditaire causées par les adultes qui envahissent les habitations, les terrasses de café et restaurant et qui, en produisant du miellat, souillent mobiliers urbains et voitures particulières.

C'est surtout ce deuxième aspect qui importe les gestionnaires d'espaces verts car il est source de plaintes de la part des riverains proches d'alignement de platanes infestés. Ces nuisances ont lieu durant l'été, notamment fin juillet-début août, période correspondant au pic de pullulation qui résulte du chevauchement des différentes générations et lorsque les températures favorisent les vols d'un grand nombre d'adultes de tigre du platane.

2.3. Dynamique des populations du tigre du platane.

Après une période d'hivernation des adultes de tigre du platane sous les rhytidomes de l'ordre de 6 mois, d'octobre à mars environ, la migration du tronc vers le houppier a lieu courant avril. Cette période de migration a fait l'objet de la mise en place d'un réseau national de suivi en 2011 (cf. §7) permettant d'approfondir nos connaissances sur cette phase clé, point de départ des dégâts et nuisances engendrés par les populations de *Corythucha ciliata*.
Une fois dans le feuillage, les adultes hivernants du tigre du platane s'alimentent et s'accouplent pour donner lieu à 2 ou 3 générations successives. En région PACA, les populations de tigres augmentent avec un pic de densité début août qui correspond au chevauchement des deux premières générations. Ce pic de densité des populations de *C. ciliata* correspond au pic de nuisances pour les riverains, avec un nombre important de plaintes enregistré par les collectivités à cette période (cf. Figure 7).Le nombre d'individus du ravageur diminue ensuite régulièrement jusqu'à mi-septembre, pour décroître rapidement ensuite (Chapin *et al.*, 2006).

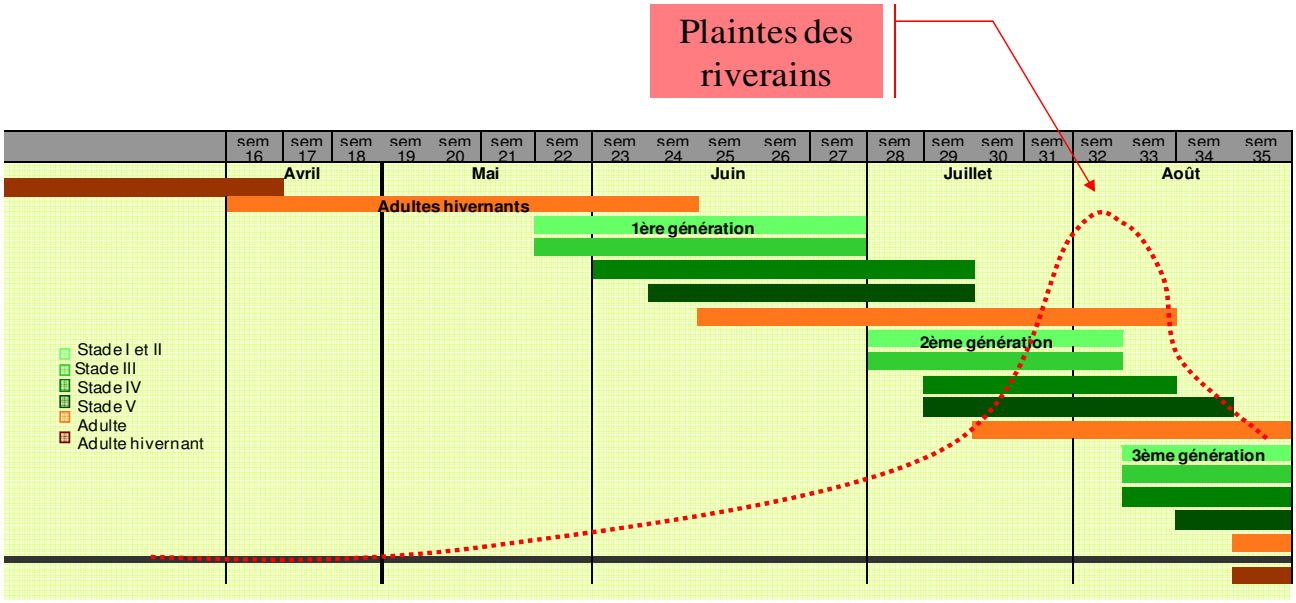


FIGURE 7. SCHEMA DE LA DYNAMIQUE DU TIGRE DU PLATANE OBSERVEE SUR HYERES EN 2004 (SOURCE : CHAPIN, FREDON PACA).

Ces pullulations de ravageur en milieu urbain s'expliquent par le mode de conduite du platane, qui est un facteur important de la dynamique des populations du tigre du platane (Euverte, 1989). En effet, l'élagage plus ou moins draconien et répété des platanes entraîne une pullulation du ravageur, plus importante que sur des platanes conduits en forme libre ou non élagués depuis une certaine période.
Cela s'explique par la physiologie du platane, qui présente deux types de bourgeons: ceux donnant des rameaux végétatifs et ceux donnant des rameaux florifères. Les rameaux végétatifs ont la particularité de s'accroître et de produire de façon continue de nombreuses feuilles de grande dimension de mars à mi-août tandis que l'apparition des feuilles (moins nombreuses et de plus petite taille) sur les rameaux florifères est beaucoup plus brève, s'étalant sur une période d'environ trois semaines uniquement, de la mi-mars à la première décade d'avril en général.
Or, les arbres élagués plus ou moins fréquemment ont une frondaison présentant principalement des rameaux végétatifs, à l'inverse des platanes au port naturel qui présentent majoritairement des rameaux florifères. La ressource alimentaire des individus de *C. ciliata* ainsi que les sites préférentiels de ponte des femelles (jeunes feuilles en cours de croissance) sont donc beaucoup plus importants sur les platanes fréquemment élagués que sur ceux à port libre ou non élagués depuis au moins 5 ou 6 ans. Le ravageur est alors capable de développer au moins trois générations par an sur les premiers, contre une seule sur les seconds (Euverte, 1989).

Par ailleurs, la dynamique des populations de *C. ciliata* au sein du houppier a été étudiée dans le cadre du Programme PETAAL en 2010 (Lormel, non publié) afin de pouvoir positionner plus finement les traitements biologiques. Plusieurs platanes à Angers ont ainsi été suivis de début juin à fin septembre. Cette étude a révélé qu'une fois dans le houppier des platanes, le nombre de formes mobiles de *C. ciliata* ne fait qu'augmenter pour atteindre un pic de populations autour de la mi-août, correspondant au chevauchement des deux premières

générations. A l'instar d'une autre étude sur la dynamique de *Corythucha ciliata* effectuée en Hongrie (Oszi *et al.*, 2005), il semblerait qu'il n'y ait eu que deux générations du ravageur en 2010 sur Angers.
Au sein du houppier, les individus de *C. ciliata* semble coloniser d'abord le tiers inférieur du houppier pour se répartir ensuite dans l'ensemble de la hauteur du houppier au cours de la saison. En termes de profondeur, les formes mobiles de *C. ciliata* sont observées en plus grand nombre à l'extérieur du houppier, au niveau des feuilles apicales, tout au long de la saison (Zangheri, 1986 ; Oszi *et al.*, 2005), avec cependant une colonisation de l'intérieur du feuillage à compter de la fin juin. Enfin, il semble que les individus de tigre du platane se répartissent en plus grand nombre sur la face Sud de la couronne en début de saison (feuilles les plus ensoleillées) pour ensuite coloniser les diverses orientations du houppier en pleine saison estivale. A la fin du mois d'août, on retrouve la face Sud comme étant l'orientation privilégiée des individus de *C. ciliata*.
La migration inverse des adultes du tigre du platane, du feuillage vers le tronc, a débuté mi-septembre et s'est échelonnée jusqu'à début octobre.

CONTRIBUTION DU PROGRAMME PETAAL
A L'AMELIORATION DES CONNAISSANCES DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS
DE *CORYTHUCHA CILIATA* DANS LE HOUPPIER DES PLATANES

- **ANGERS, 2010:**

➔2 générations.

➔Pic de populations observé autour de la mi-août.

➔ Comportement au sein du houppier : colonisation du 1/3 inférieur du feuillage, plutôt au niveau des feuilles apicales, face Sud pour ensuite coloniser l'ensemble de la couronne du platane.

➔ Début de migration autour de la mi-septembre.

- **DE MANIERE GENERALE: NORD *VS* SUD DE LA FRANCE**

➔ Il semblerait que les dégâts et les pullulations soient plus importants dans le Sud que dans le Nord de la France : conditions climatiques plus propices au développement d'un plus grand nombre de générations (confirmé par le nombre de générations plus faible observé sur Angers).

➔ L'infestation initiale (adultes hivernants sous rhytidomes) des platanes dans le Sud de la France n'est pas ou peu représentative de la pression qu'exercera le ravageur sur le feuillage au cours de l'été, à l'inverse du Nord. En effet, dans le Sud de la France, des platanes présentant de faibles populations d'adultes hivernants de tigre du platane sous rhytidomes pourront être soumis à une forte pression du ravageur en été.

3. Perspectives de lutte biologique

Différents travaux ont mis en évidence l'existence de nombreux ennemis naturels du tigre du platane (insectes, acariens, champignons entomopathogènes), avec une prépondérance des insectes prédateurs (Arzone, 1986). Parmi ces derniers, un certain nombre est commercialisé, notamment les chrysopes, coccinelles et anthocorides tandis que parmi les champignons entomopathogènes, trois ont démontré une plus grande virulence vis-à-vis de *C. ciliata*et sont aujourd'hui commercialisés pour d'autres usages : *Beauveria bassiana*, *Lecanicillium muscarium* et *Paecilomyces farinosus* (Arzone, 1986 ; Arzone *et al*., 1986 ; Ozino & Zeppa, 1988).
Des nématodes entomopathogènes ont également été retrouvés dans des individus de *C .ciliata* (larves et adultes) mais n'ont pas été identifiés (Sidor, 1986).
Au vu de ces informations, confrontées à la gamme de produits disponible des entreprises impliquées dans le projet, le choix des auxiliaires de lutte biologique testés dans le cadre du programme PETAAL, s'est porté sur un insecte prédateur indigène, *Chrysoperla lucasina,* et sur deux types d'organismes entomopathogènes, des nématodes du genre *Steinernema* spp. et un champignon, *Lecanicillium muscarium* souche Ve 6.

3.1. Potentiels d'insectes prédateurs

Plusieurs études font état de la capacité des Névroptères à contrôler le tigre du platane et plus particulièrement les Chrysopidae. En effet, les chrysopes du genre *Chrysoperla* spp. ont fait l'objet d'essais de prédation vis-à-vis du tigre du platane et leur capacité prédatrice a été démontrée.

FIGURE 8. PREDATION DE LARVES DE *CORYTHUCHA CILIATA* PAR UNE LARVE DE *CHRYSOPERLA LUCASINA*.

Dans le cadre d'essais en laboratoire, la capacité prédatrice quotidienne d'une larve de *Chrysoperla* spp. diffère selon les sources, variant de 5.6 (Çaldumbide & Jaloux, non publié) à 21 (Chapin *et al.,* 2006) larves de tigres consommées (tous stades confondus ; Figure 8) selon son stade de développement, en sachant que le dernier stade larvaire (L3) est le stade le plus consommateur (Malais & Ravensberg, 1992 ; Chaigneau *et al.*, 2002).Il est à noter que le potentiel prédateur de *Chrysoperla* spp. dépend de la densité de proie: plus la densité de proie est importante, plus la prédation augmente (Nisar Syed *et al.*, 2005).
Par ailleurs, les références diffèrent quant à la durée de vie du prédateur et à sa capacité de développement. Certains résultats ont démontré que *Chrysoperla*spp.ne pouvait accomplir totalement son cycle de développement sur un régime alimentaire unique de larves de *C. ciliata*. Les larves de C*hrysoperla* spp. avaient alors une durée de vie variant de 3,6 à 6 jours selon le stade de développement de *C. ciliata* consommé et seule une larve sur le grand nombre employé avait réussi à se nymphoser (Chapin *et al.*, 2006).Inversement, d'autres essais ont montré que *Chrysoperla* spp. pouvait effectuer un cycle complet de développement en s'alimentant uniquement de larves de tigre du platane (Chaigneau *et al*., 2002).
En conditions *in situ*, des essais de lâchers massifs de larves de plusieurs espèces du genre *Chrysoperla* n'ont pas permis de démontrer la capacité des larves de *Chrysoperla* spp. à contrôler les populations estivales de tigre du platane (Chapin *et al.*, 2006). Néanmoins, des efficacités ont été observées dans des démonstrations de lâchers massifs en 2009, avec notamment une réduction significative de l'ordre de 50% des populations de *C. ciliata* (Riboulet, comm. pers., 2011).
Il semblait donc intéressant d'approfondir les recherches sur cet auxiliaire indigène afin d'évaluer sa capacité de prédation et de dispersion *in situ*, au sein de la couronne des platanes, afin de comprendre quels sont les facteurs induisant une efficacité optimale et de pouvoir ainsi positionner au mieux des lâchers massifs pour un contrôle effectif du tigre du platane.

3.2. Potentiels d'organismes entomopathogènes

Des essais en laboratoire ont mis en valeur la capacité du nématode entomopathogène *Steinernema carpocapsae* (Figure 9a) à parasiter *Corythucha ciliata*, avec un taux de mortalité atteignant plus de 95% (Tarasco et Triggiani, 2006). La virulence du champignon entomopathogène *Lecanicillium muscarium* (Figure 9b) vis-à-vis du tigre du platane a également été démontrée (dose : 10^7 spores/ml, T°C=5°C, HR=95%), permettant d'atteindre 100% de mortalité des adultes hivernants de *C. ciliata* après 56 jours (Arzone *et al*., 1986).

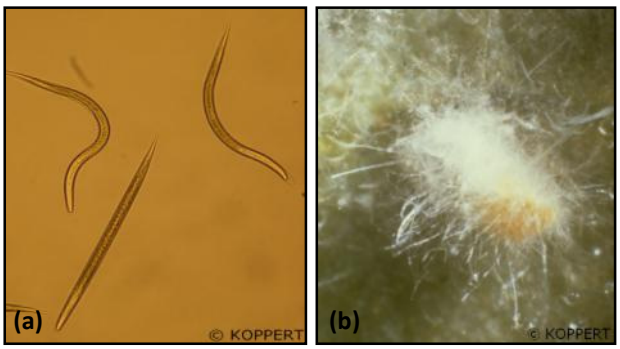


FIGURE 9. NEMATODES *STEINERNEMA* SPP. (A) ET *LECANICILLIUM MUSCARIUM* (B) [CREDITS : KOPPERT]

En conditions *in situ*, une application automnale de *Steinernema carpocapsae* sur tronc et charpentières contre les adultes hivernants du tigre du platane n'a pas démontré d'efficacité, avec une mortalité observée après traitement de l'ordre de 5% seulement (Tarasco et Triggiani, 2006). Cependant, l'espèce et la concentration employée (1000 nématodes/ml) ainsi que la période de traitement et les conditions climatiques n'étaient peut-être pas propices à une efficacité optimale.
Une autre étude effectuée en 2007 dans plusieurs villes françaises a révélé l'intérêt d'une autre espèce de nématode entomopathogène (*Steinernema feltiae*) qui, appliquée en pulvérisation sur tronc et charpentières (à la concentration de 1500 nématodes/ml), a permis une réduction significative des populations d'adultes hivernants de *C. ciliata* de 25% à 82% selon les sites d'étude. L'application du champignon entomopathogène *L. muscarium* (à la concentration de 10^7 spores/ml) a permis d'observer des taux de mortalité de *C. ciliata* de 32% à près de 80% (Chapin, *et al*., 2007).

Au regard des résultats obtenus, il paraissait donc important de poursuivre les travaux sur les nématodes du genre *Steinernema* et le champignon *Lecanicillium muscarium* sachant que la société Koppert dispose de ces organismes dans sa gamme de produits (plusieurs espèces de nématodes du genre *Steinernema*, complémentaires dans les conditions de températures où ils sont préconisés et le champignon en cours d'homologation) et de la simplicité de leur application, puisqu'un matériel de pulvérisation identique à celui des produits phytosanitaires de synthèse est nécessaire.

3.3. Impact des auxiliaires sur la faune des platanes

Des prospections *in situ*aux Etats-Unis, en France, Yougoslavie et Italie ont mis en évidence la présence d'environ 70 espèces d'arthropodes (insectes et arachnides) sur les platanes. Les plus nombreux appartiennent à l'ordre des Hémiptères (Anthocoridae, Miridae, etc.), Névroptères (Chrysopidae) et Coléoptères (Coccinellidés, Fig. 10b). Parmi eux, 20 insectes et 6 arachnides se sont révélées être des prédateurs de *Corythucha ciliata* (Arzone, 1986 ; Balarin & Maceljski, 1986a ; Chaigneau *et al.*, 2002).
Sous les rhytidomes, la faune corticole permanente est principalement constituée de Pseudoscorpions (Figure 10a), acariens, collemboles et Psocoptères ainsi que quelques araignées et des Coléoptères détritiphages ou mycétophages. S'y ajoute une faune temporaire constituée notamment de Myriapodes, de Crustacés Isopodes et d'Insectes (Emerit *et al.*, 1986).

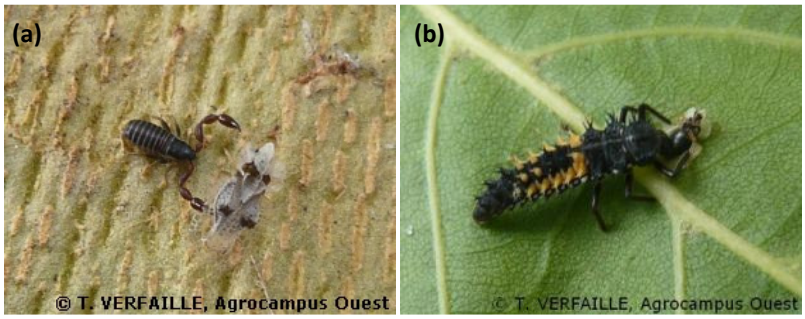


FIGURE 10. PREDATEURS DE *C. CILIATA* PRESENTS SUR LES PLATANES : UN PSEUDOSCORPION (a) ET UNE LARVE DE *HARMONIA AXYRIDIS* (b).

L'impact des nématodes entomopathogènes sur les arthropodes non cibles, et notamment sur les ennemis naturels du ravageur ciblé, est démontré et peut se produire en conditions réelles, mais leur effet ne sera que temporaire, spatialement restreint et n'affectera qu'une partie de la population considérée (Bathon, 1996 ; Ehlers & Hokkanen, 1996). Dans le cas d'applications foliaires, on peut également exclure un impact significatif des nématodes entomopathogènes sur les organismes non cibles vivants dans le feuillage étant donné leur mobilité réduite et qu'ils ne peuvent survivre longtemps en dehors du sol (Glazer, 2002).
De plus, ces derniers sont beaucoup plus spécifiques et donc moins nocifs pour l'entomofaune et l'environnement que des pesticides de synthèse, dont le spectre d'action est beaucoup plus large (Ehlers & Peters, 1995).

Quant à la possible interaction entre les auxiliaires candidats dans le cadre de PETAAL, des études ont révélé l'impact des organismes entomopathogènes (nématodes et champignon) sur les larves de *Chrysoperla* spp.
En effet, des essais en laboratoire ont démontré la virulence du champignon entomopathogène *Lecanicillium muscarium* vis-à-vis des larves de *Chrysoperla* spp., à des concentrations supérieures à $2.5.10^7$ spores/ml. Dans le cas d'inoculations aux concentrations de 5.10^7 et 4.10^8 spores/ml, on obtient des taux de mortalité des larves de *Chrysoperla* spp. de près de 17% et 60% respectivement, dans les deux jours suivants l'inoculation. De plus, des effets postérieurs ont été observés sur les larves ayant survécu: un pourcentage d'émergence des adultes plus faible, une fertilité et une voracité moindre ainsi qu'un pourcentage de formation des cocons et un poids de ces derniers beaucoup plus faibles (Pavlyushin, 1996).
D'autres essais, toujours en conditions de laboratoire, ont mis en évidence l'impact des nématodes entomopathogènes (*Steinernema feltiae* et *S. carpocapsae*) sur les larves de *Chrysoperla* spp. Des taux de mortalité variant de 18% à 85% ont été obtenus avec *S. feltiae*, aux concentrations de 500 et 5000 nématodes/ml respectivement et à une température de 15°C tandis qu'une infestation des larves de *Chrysoperla* spp. avec *S. carpocapsae* a engendré une mortalité de 90% à 100%, à des concentrations variant de 2500 à 5000 nématodes/ml et à une température comprise entre 20°C et 25°C (Rojht *et al*., 2009a).

3.4. Conclusions

Il ressort de ces informations que les auxiliaires de lutte biologique sélectionnés dans le cadre du programme PETAAL, l'insecte prédateur *Chrysoperla lucasina*, les nématodes entomopathogènes *Steinernema* spp. et le champignon entomompathogène *Lecanicillium muscarium* souche Ve 6, ont un réel potentiel à contrôler les populations du tigre du platane et qu'un impact de ces auxiliaires entre eux et sur la faune des platanes existe dans des conditions définies.
Les objectifs du programme PETAAL visent ainsi à approfondir les conditions d'emploi de tels organismes et d'étudier les conditions optimales de leur efficacité maximale contre *Corythucha ciliata* en testant différentes concentrations, le positionnement spatio-temporel des applications, l'adjonction d'un adjuvant, *etc*. en minimisant au maximum l'impact qu'ils pourraient avoir entre eux et sur la faune auxiliaire naturelle du platane.
Par ailleurs, il nous semblait important et nécessaire de privilégier, parmi les « auxiliaires candidats », l'emploi d'auxiliaires indigènes, notamment des macro-organismes, afin d'éviter le risque phytosanitaire et environnemental que pourrait avoir l'introduction d'organismes exotiques sur l'environnement mais également des micro-organismes dont les dossiers d'homologation étaient déjà bien avancés afin de pouvoir fournir aux gestionnaires d'espaces verts une solution efficace et applicable rapidement.

La parution au journal officiel du 30 janvier 2012 du Décret n° 2012-140 relatif aux conditions d'autorisation d'entrée sur le territoire et d'introduction dans l'environnement de macro-organismes non indigènes utilisés dans le cadre de la lutte biologique et de la pollinisation des cultures et dont le texte entrera en vigueur au 1er juillet 2012, est venue conforter les orientations du programme PETAAL.

BILAN DES AUXILIAIRES CANDIDATS POUR LE BIO-CONTROLE DU TIGRE DU PLATANE (REFERENCES PREALABLES)

- **Insecte prédateur : *Chrysoperla* spp.**
  - **Au laboratoire :**

➔ Capacité de prédation : jusqu'à 21 larves de *Corythucha ciliata* consommées quotidiennement ;
➔ Capacité de développement complet sur un tel régime alimentaire ;

  - ***In situ* (lâchers de larves de chrysopes dans le houppier des platanes) :**

➔ Jusqu'à 50% de réduction des populations de *C. ciliata*.

- **Organismes entomopathogènes**
  - **Au laboratoire :**

➔*Steinernema* spp. : Mortalité de plus de 95% des adultes de *C. ciliata*;
➔*Lecanicillium muscarium* : 100% de mortalité des adultes hivernants de *C.ciliata* à T+56j.

  - ***In situ* (application sur tronc et charpentières) :**

➔*Steinernema* spp. : 5% à 82% de réduction des adultes hivernants de *C. ciliata* selon la période d'application, l'espèce et la concentration de nématodes employées;
➔*Lecanicillium muscarium* : 32% à 80% de réduction des adultes hivernants de *C. ciliata* à T+2j.

4. Méthodes et outils d'expérimentation développés dans le cadre de PETAAL

4.1. Essais grandeur nature

Le projet PETAAL s'est volontairement positionné comme un programme de recherche appliquée se basant principalement sur des études de terrain, avec des essais effectués *in situ* en milieu urbain. Afin de répondre de manière appropriée et concrète à la problématique de gestion durable du tigre du platane, deux types d'essais ont été mis en place au cours des 4 années du projet:

- des essais complets sur le plan scientifique, nommés «expérimentations»,
- des essais dits «de valeur pratique» avec des dispositifs expérimentaux allégés et une participation accrue de gestionnaires d'espaces verts volontaires.

4.1.1. Expérimentations

Les expérimentations ont été effectuées par différents partenaires techniques tels que les Fédérations Régionales de Défense contre les Organismes Nuisibles des régions et le CETEV, qui ont assuré la mise en place des essais, par prestations de services, des organismes entomopathogènes (*Steinernema* spp. et *Lecanicillium muscarium*). Agrocampus Ouest-Centre d'Angers INHP a par ailleurs pris en charge les expérimentations concernant *Chrysoperla lucasina*.
L'objectif principal de ces expérimentations était d'évaluer le niveau et les conditions optimales d'efficacité et des différents auxiliaires de lutte biologique (doses, périodes d'application, adjuvant, *etc.*).

4.1.2. Essais de valeur pratique

Les essais de valeur pratique ont permis d'évaluer l'efficacité des organismes biologiques employés en conditions réelles (faisabilité et praticité de ce genre d'application), avec les contraintes propres au milieu urbain rencontrées dans le cadre d'une gestion quotidienne du patrimoine arboré des collectivités ainsi qu'avec le matériel qu'elles ont en leur possession.
Pour cela, les partenaires du projet se sont appuyés sur les services techniques gestionnaires du patrimoine arboré (collectivités territoriales ou entreprises prestataires). Il s'agissait alors de mettre en place un dispositif expérimental rigoureux mais dont le suivi ciblé serait allégé afin qu'il corresponde aux disponibilités et à la capacité technique des services gestionnaires impliqués dans ce programme. Il était toutefois prévu que ces données soient comparées à celles obtenues dans le cadre des expérimentations formalisées mises en œuvre dans le cadre de PETAAL sur d'autres sites.

4.2. Conception d'un outil d'analyse d'images couleur pour quantifier les décolorations foliaires dues au tigre

Dans le domaine de la protection des plantes, la quantification des dégâts occasionnés par les bioagresseurs est une donnée essentielle des études fondamentales, expérimentales, et ce, jusqu'à l'application. Cette mesure permet d'étudier la biologie et la dispersion d'un bioagresseur, d'évaluer expérimentalement l'efficacité d'un traitement ou le niveau de résistance d'une variété (Strickland, 1961). Au niveau opérationnel, la quantification des dégâts intervient dans la détection et le suivi des populations de ravageurs, la planification et le déclenchement de traitements phytosanitaires grâce à l'élaboration de seuils de nuisibilité (Chauvel, 1998).
De nombreuses méthodes ont été développées pour mesurer ces dégâts (Chiarappa, 1971, 1980) : des estimations basées sur des corrélations plus ou moins explicites avec des dénombrements de populations de ravageurs par observation directe (Schaffer *et al.*, 1997) ou grâce à l'utilisation de moyens de détection plus perfectionnés tels que la radiographie (Chalon, 2006). Les indices de présence liés à l'activité du ravageur tels que les impacts de miellat au sol (Pons & Lumbierres, 2009) ou la détection acoustique de larves xylophages (Gutiérrez *et al.*, 2010) peuvent également être utilisés. Ces corrélations sont souvent approximatives et les dégâts sur la plante peuvent être assez mal corrélés aux ravageurs dénombrés à un instant particulier ou à l'observation d'indices. La saison, le stade du ravageur ou des facteurs extérieurs peuvent affecter l'activité du bioagresseur et donc, les dégâts produits. De plus, les dégâts occasionnés sur une plante résultent souvent de l'action cumulée d'un ensemble d'individus s'étant développés successivement sur cette plante.

La mesure directe des dégâts peut faire intervenir des mesures de perte de rendement, lorsque celui–ci est mesurable et que ces dégâts l'affectent, ou des estimations visuelles telles que le nombre de feuilles attaquées ou la définition de classes de dégâts (Strickland, 1961). Ces classifications sont généralement peu précises, fastidieuses et subjectives. Les limites de ces approches méthodologiques apparaissent notamment dans un contexte expérimental visant à déterminer l'efficacité de traitements sur l'intensité de dégâts foliaires.
Ainsi, dans un cadre expérimental, la quantification des dégâts foliaires du tigre du platane nécessite une mesure précise des décolorations produites et l'analyse d'un grand nombre d'échantillons provenant de plusieurs sites pour pouvoir quantifier et valider l'efficacité réelle des solutions proposées. C'est pourquoi un système innovant d'analyse d'images couleur permettant de mesurer quantitativement les décolorations foliaires engendrées par *C. ciliata* a été développé dans le cadre du programme PETAAL.
Cet outil vise, d'une part, à pallier les limites de l'œil humain à estimer des dégâts. En effet, la classification humaine comporte deux étapes distinctes toutes deux susceptibles de variabilité: l'observation des décolorations et l'estimation du pourcentage de surface décolorée. La première est directement influencée par les conditions d'observation des images et l'appréciation visuelle de l'observateur, la seconde par la capacité humaine à évaluer des surfaces quand la répartition et le nombre de ces surfaces varient. Les plages de décolorations foliaires dues au tigre étant nombreuses, diffuses et de formes variables (cf. Figure 11), cela rend difficile par un observateur l'estimation de la surface décolorée totale liée aux dégâts du tigre.
D'autre part, ce système offre la possibilité d'obtenir des mesures précises, fiables et non subjectives, la subjectivité étant liée à la multiplicité des observateurs dans le cadre d'expérimentations multi-sites.

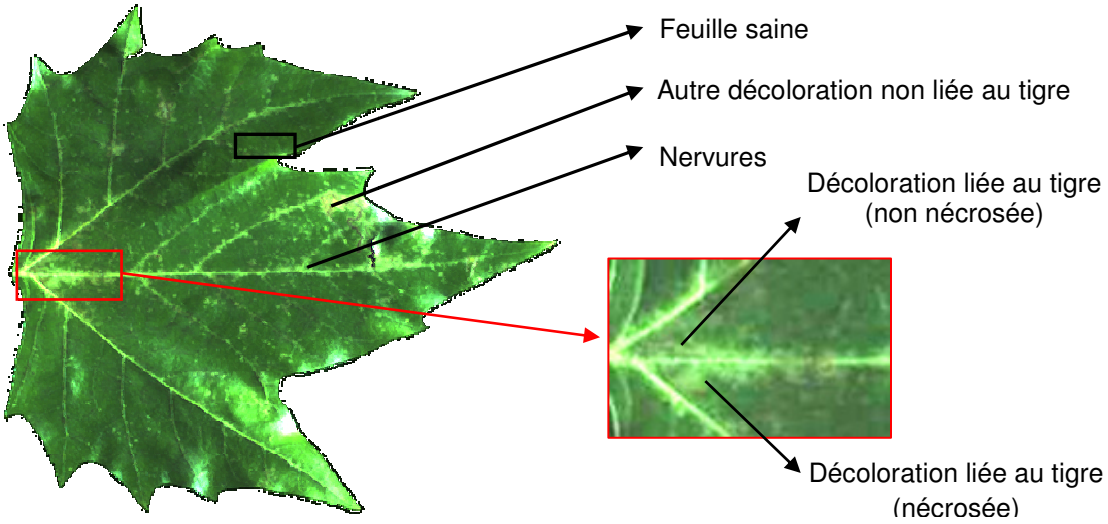


FIGURE 11. DIFFERENTS ASPECTS DES DECOLORATIONS D'UNE FEUILLE DE PLATANE. [CREDITS: LISA, ANGERS]

Développé et mis en œuvre sur plus de 1000 feuilles de platane, cet outil est constitué d'un banc d'acquisition couleur (caméra mono-CCD reliée à un ordinateur, système d'éclairage directionnel) et d'un logiciel. Afin de résoudre le problème de non-planéité des feuilles de platane qui rend la mise au point optique difficile et provoque lors de l'acquisition des reflets et surbrillances, un système original de table aspirante a été mis au point à l'aide d'une plaque percée régulièrement de trous et d'un ventilateur inversé. L'ensemble du système d'acquisition est illustré par la Figure 12.

FIGURE 12. SYSTEME D'ACQUISITION D'IMAGE COULEUR AVEC TABLE ASPIRANTE.

Les prélèvements de feuilles (1200 au total) ont eu lieu à Fréjus, Nantes et Angers sur des alignements urbains de platane *Platanus x acerifolia*, sur l'ensemble de la période d'activité du ravageur (juin-septembre) en 2009 et 2010. D'une taille minimum de 1 dm², elles ont été prélevées dans les deux-tiers inférieurs du houppier, après comptage des formes mobiles (larves et adultes) du tigre du platane, à différentes profondeurs et sans privilégier d'orientation particulière. Les feuilles de chaque modalité ont ensuite été conservées dans un sac de congélation en intercalant du papier absorbant entre chacune des feuilles. Elles ont été stockées en chambre froide (5°C) pendant au maximum une semaine. Avant l'acquisition de ces échantillons, le pétiole était coupé et le limbe nettoyé afin d'obtenir une surface exempte de tout type d'altération (suppression des trichomes, des exuvies et des déjections de *C. ciliata* et de l'oïdium).

Le processus de traitement d'images consiste à dissocier la feuille du fond puis les zones décolorées des zones saines en appliquant une série d'algorithmes de segmentation et de fusion de classes (cf. Figure 13). On obtient alors une mesure quantitative de la décoloration liée au tigre en faisant le rapport entre la surface décolorée, calculée par l'algorithme, et la surface de la feuille.

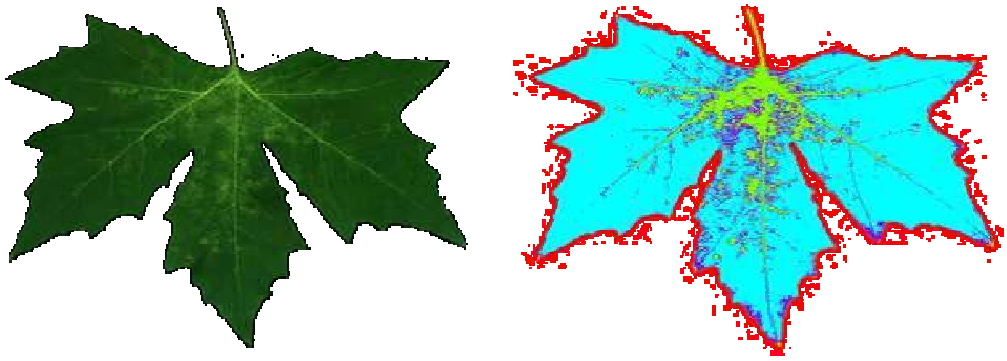


FIGURE 13. FEUILLE DE PLATANE AVANT ET APRES TRAITEMENT PAR LE SYSTEME D'ANALYSE D'IMAGES COULEUR. [CREDITS: LISA, ANGERS]

Pour plus de renseignements, se reporter au poster disponible en ligne relatif à la publication suivante : Clément A., Lormel C., Verfaille T., Jaloux B., 2011. Utilisation d'un système d'analyse d'image couleur pour quantifier les dégâts foliaires dans le cadre de la lutte biologique contre le tigre du platane. *CR de la 9ème Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture*, Montpellier, 26 et 27 octobre 2011.

CONTRIBUTION DU PROGRAMME PETAAL

A LA QUANTIFICATION DES DEGATS FOLIAIRES ENGENDRES PAR LE TIGRE DU PLATANE

Développement d'un système d'analyse d'images couleurautomatisé permettant d'évaluer/valider l'efficacité réelle d'un traitement :

- ➔ **Pallier la difficulté de l'œil humain à estimer des dégâts ;**
- ➔ **Traitement rapide d'un grand nombre d'échantillons ;**
- ➔ **Mesures précises, répétables et non subjectives.**

=>OUTIL OPERATIONNEL ET TRANSPOSABLE A TOUT AUTRE VEGETAL PRESENTANT DES DEGATS FOLIAIRES.

5. Synthèse des résultats obtenus en amont de la stratégie combinée de lutte biologique contre le tigre du platane.

Dans le cadre du Programme PETAAL, des essais ont été réalisés de manière indépendante pour chacun des organismes biologiques : le champignon *Lecanicillium muscarium*, les nématodes *Steinernema* spp. et l'insecte prédateur *Chrysoperla lucasina*. Ces essais ont été mis en place en amont (et en parallèle) de la stratégie combinée en 2009, 2010 et 2011. Les principales conclusions qui en découlent sont présentées ci-après en distinguant les organismes entomopathogènes et l'insecte prédateur.

ORGANISMES ENTOMOPATHOGENES

LE CHAMPIGNON *LECANICILLIUM MUSCARIUM* ET LES NEMATODES ENTOMOPATHOGENES *STEINERNEMA* SPP.

- **Lutte contre les populations hivernantes du tigre du platane:**

1 **Efficacité non démontrée des spécialités biologiques en application automnale sur tronc et charpentières :**
➔ Abandon d'un positionnement des traitements à l'automne.

2 **Efficacité faible du champignon entomopathogène en application hivernale ou, au mieux, identique à celle des nématodes :**
➔ homologation coûteuse ;
➔ réponse rapide pour les gestionnaires.
=> Abandon de l'application de *Lecanicillium muscarium.*

3 **Efficacité du traitement de fin d'hiver à base de nématodes entomopathogènes :**
➔ Intérêt d'une application de nématodes à la dose de 7500/ml ;
➔ Importance de son positionnement par rapport à la période de migration du tigre (§6);
➔ Préférer des applications diurnes et lorsque les prévisions climatiques annoncent les conditions requises (T°C > 10-12°C).

- **Lutte contre les populations estivales du tigre du platane:**

1. **Efficacité faible du champignon entomopathogène en application estivale :**
➔Homologation coûteuse ;
➔Réponse rapide pour les gestionnaires.
=> Abandon du champignon entomopathogène *Lecanicillium muscarium.*

2. **Intérêt de l'emploi des nématodes *Steinernema* spp. à la dose de 7500 nématodes/ml.**

3. **Un seul traitement estival à base de nématodes entomopathogènes lors du pic des populations, fin juillet-début août, permet un effet choc contre les populations estivales.**

4. **Le type de matériel employé et la pression (20 bars maximum) appliquée ne semblent pas avoir d'impact sur l'efficacité des traitements.**

5. **Intérêts connus de l'adjuvant ADDIT (en attente d'une AMM à la date de l'écriture du présent document)**
➔ Meilleure adhérence des nématodes sur les feuilles ;
➔ Retarde la dessiccation.

L'INSECTE PREDATEUR *CHRYSOPERLA LUCASINA*

- **Potentiel de *Chrysoperla lucasina* à contrôler les populations de *Corythucha ciliata*:**

1 Au laboratoire :

➔ Capacité de prédation des larves de *Chrysoperla lucasina*: environ 150 larves de tigre du platane consommées;
➔ Développement complet de *C. lucasina* sur un régime alimentaire unique de larves de tigre du platane.

2 *In situ* :

➔ Possibilité d'envisager l'apport de chrysopes au stade œuf en raison du taux d'éclosion *in situ* élevé des œufs de *C. lucasina* (~80%) ;
➔ Capacité de prédation et de développement complet des larves de *C. lucasina* sur un régime alimentaire unique de larves de tigre du platane;
➔ Capacité des larves de *C. lucasina* à contrôler les populations de tigre du platane *in situ* et à se disperser dans le houppier jusqu'à 2m du point de lâcher.

- **Système d'apport de *Chrysoperla lucasina*:**

➔ Développement d'une perche télescopique (Figure 14) permettant d'apporter les œufs de *Chrysoperla lucasina* dans le houppier des platanes jusqu'à 9 mètres de hauteur.

FIGURE 14. APPORT D'ŒUFS DE CHRYSOPES DANS LE HOUPPIER DES PLATANES A L'AIDE DE LA PERCHE TELESCOPIQUE: VUE D'ENSEMBLE (a) ET DETAIL DE LA TETE DE LA PERCHE (b).

6. Etude de la migration du tigre du platane : mise en place d'un réseau national d'observation

6.1. Objectifs

L'objectif de ce suivi était d'étudier la période de migration du tigre du platane au niveau national afin d'améliorer les connaissances sur cette phase clé qu'est la migration du tigre vers le houppier. Ce suivi, réalisé en amont des essais de la stratégie combinée testée en 2011, a permis de :

- Déterminer la période de migration des tigres au printemps pour positionner le plus précisément possible les applications de produits biologiques sur les populations hivernantes ;
- Déterminer les stades phénologiques du platane lors de la migration du tigre ;
- Valider et paramétrer un modèle de degrés-jour pour fournir un Outil d'Aide à la Décision aux utilisateurs.

6.2. Dispositif d'étude

6.2.1.Choix des lieux et sites d'étude

Neuf sites répartis sur l'ensemble du territoire national où est présent le tigre du platane (Angers, Bègles, Cavaillon, Cuers, Illkirch-Graffenstaden, Marmande, Nice, Solliès-Ville et Thuir) ont fait l'objet d'un suivi de la migration de ce ravageur (cf. Figure 15).

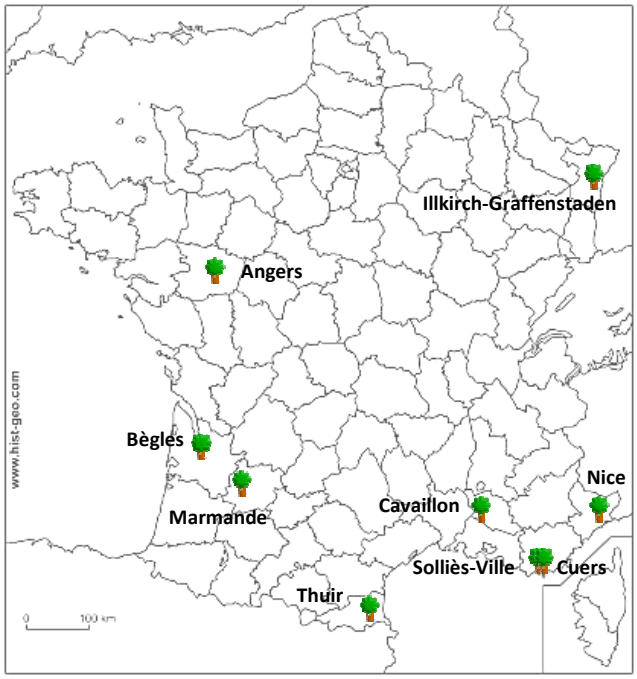


FIGURE 15. SITES D'OBSERVATIONS EN 2011.

Un alignement urbain de *Platanus x acerifolia* ayant présenté des dégâts les années passées et présentant un maximum de populations a été sélectionné au sein de chacun des lieux d'étude. Les sujets avaient une taille architecturée et une hauteur de tronc comprise entre 4 et 8 m de haut. Cinq arbres parmi les plus infestés de l'alignement et présentant suffisamment de rhytidomes ont fait l'objet du suivi biologique.

6.2.2.Observations et notations

La fréquence d'observation était de 3 fois par semaine (lundi, mercredi, vendredi) à partir du 15 mars et jusqu'à la fin de migration du tigre (au plus tard fin avril). Il s'agissait d'observer la présence/absence des tigres adultes sous rhytidomes en prélevant 3 à 5 rhytidomes sur le tronc à une hauteur comprise entre 0 et 3 m et en privilégiant l'orientation Nord.
Au fur et à mesure de la migration des adultes hivernants du tronc vers le houppier, la présence/absence de tigres adultes sur le feuillage était notée ainsi que le stade phénologique du platane (en se basant sur les rameaux présentant le stade le plus avancé sur l'arbre).

6.2.3.Analyse des résultats

Etant donné que le développement des insectes est dépendant de la température et de la photopériode, un outil se basant sur un système de calcul de degrés-jour cumulés et du nombre d'heures de jour peut être précieux pour prédire l'activité des ravageurs. La notion de somme de degrés-jour résulte essentiellement de la relation entre vitesse de développement et température. Elle est basée sur une température seuil de développement correspondant à la température en-dessous de laquelle l'insecte ne peut se développer (Herms, 2004). Lorsque cette dernière est méconnue pour le ravageur concerné, la température seuil de 10°C est en général fixée. En ce qui concerne le tigre du platane, une publication récente a permis de définir une température seuil de développement de 11.17°C pour *Corythucha ciliata* (Kim *et al.*, 1999 ; Ju *et al.*, 2011).Dans notre cas, nous avons pris comme date de départ du calcul du cumul des degrés-jour le 1er mars, les mois précédents présentant, en général, peu de valeurs de température supérieures à 11°C.

Un autre moyen de prédiction est d'étudier la phénologie du végétal concerné qui est, elle aussi, dépendante de la température.

6.3. Principaux résultats

Deux moyens de prédiction de la migration ont donc été investigués :
- un modèle basé sur la somme des degrés-jour et sur la photopériode naturelle,
- un suivi de la phénologie du platane.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce réseau d'observations sont présentés dans le Tableau 2.

	Début de migration				Fin de migration			
	Date	*Nb heures de jour*	*Degrés-jour cumulés_ 10*	***Degrés-jour cumulés_ 11,17***	*Date*	*Nb heures de jour*	*Degrés-jour cumulés_ 10*	***Degrés-jour cumulés_ 11,17***
Angers	6-avr.-11	12,82	97	**78**	18-avr.-11	13,5	157	**131**
Bègles	3-avr.-11	12,59	115	**97**	11-avr.-11	13,02	169	**146**
Cavaillon	5-avr.-11	12,68	120	**99**	13-avr.-11	13,08	174	**149**
Cuers	1-avr.-11	12,46	103	**85**	11-avr.-11	12,96	170	**146**
Illkirch-G.	18-avr.-11	13,83	163	**138**	25-avr.-11	14,23	214	**185**
Marmande	25-mars-11	12,16	74	**62**	8-avr.-11	12,85	152	**130**
Nice	4-avr.-11	12,62	84	**63**	11-avr.-11	12,97	114	**89**
Solliès-ville	11-avr.-11	12,96	138	**113**	15-avr.-11	13,16	156	**130**
Thuir	8-avr.-11	12,9	133	**111**	18-avr.-11	13,89	191	**163**
Moyenne	***05/04/2011***	***12,8 ± 0,5***	***114 ± 28***	***94 ± 25***	***14/04/2011***	***13,3 ± 0,5***	***166 ± 28***	***141 ± 26***

Date de début du calcul des degrés-jour : 1er mars 2011 ; seuil minimal de développent du tigre du platane : 10°C (Degrés-jour cumulés_10) et 11.17°C (Degrés-jour cumulés _11.17).

TABLEAU 2. DEGRES-JOUR CUMULES ET NOMBRE D'HEURES DE JOUR CORRESPONDANT A LA PERIODE DE MIGRATION DU TIGRE DU PLATANE POUR CHACUN DES SITES (STADES PHENOLOGIQUES DU PLATANE NON PRESENTES)

Ainsi, on obtient une plage moyenne de migration du tigre du platane, du tronc vers le houppier, de l'ordre de 9 jours (± 3 jours) et qui a eu lieu du 5 au 14 avril 2011 en moyenne au niveau national.
Cette plage moyenne de migration du tigre du platane est comprise entre 114 et 166 degrés-jour cumulés (base 10°C, cf. Tableau 1) confirmant les valeurs obtenues dans le cadre d'autres études (Adams, non daté).

Lorsque l'on prend le seuil minimal de développement de *C. ciliata* de 11.17°C comme base de calcul, on obtient une plage de migration comprise entre 94 et 141 degrés-jour cumulés (cf. Figure 16a).
La photopériode naturelle moyenne correspondant à cette plage de migration est comprise entre 12,8 (± 0.5) et 13,3 (± 0.5) heures de jour (cf. Figure 16b), ce qui correspond à ce que l'on peut trouver dans la littérature (Longo, 1985).

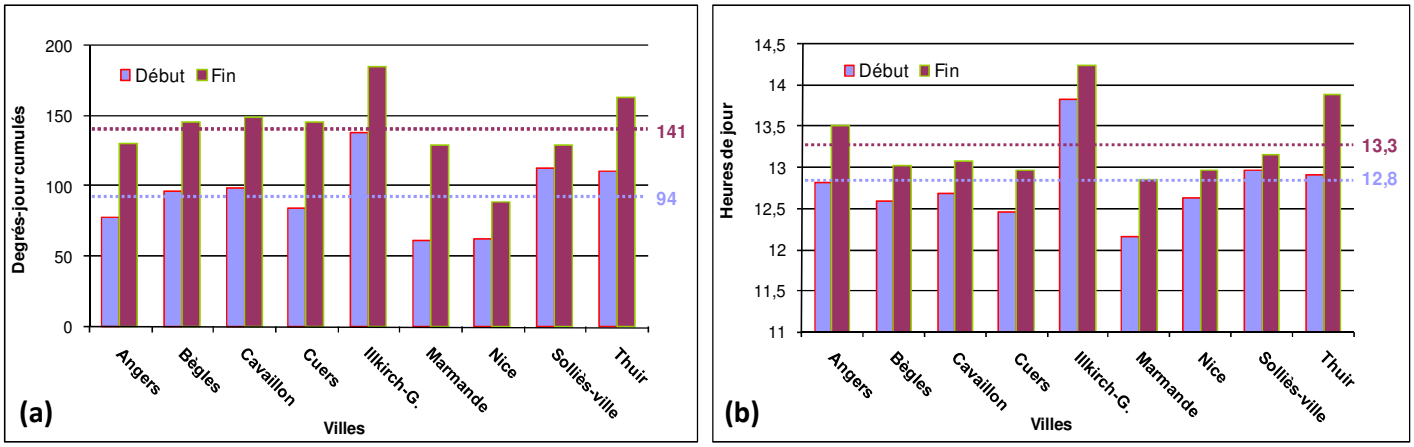


FIGURE 16. DEGRES-JOUR CUMULES (A ; T°C SEUIL : 11.17°C) ET NOMBRE D'HEURES DE JOUR (B) CORRESPONDANT AU DEBUT ET A LA FIN DE LA MIGRATION DU TIGRE DU PLATANE (DU TRONC VERS LE HOUPPIER) DANS LES DIFFERENTS SITES D'ETUDE.

Le stade phénologique du platane correspondant à la plage de migration du tigre est de 3 à 5 feuilles étalées (du début à la fin de migration ; données non présentées), soit les stades 13 à 15 de l'échelle BBCH améliorée (Hack *et al.*, 1992). Néanmoins, la migration s'étalant sur une période moyenne de 9 jours, il est possible qu'elle commence dès l'apparition des feuilles du platane. Il faut donc être vigilant dès le débourrement des bourgeons (Figure 17a) et ce jusqu'au stade 5 feuilles étalées (Figure 17c).

FIGURE 17. STADES PHENOLOGIQUES DU PLATANE PROPICES A LA MIGRATION DU TIGRE DU PLATANE : DEBOURREMENT (A), ETALEMENT DES FEUILLES (B), 5 FEUILLES ETALEES(C).
(SOURCE : GDR CNRS 2968 - WWW.GDR2968.CNRS.FR, OBSERVATOIRE DES SAISONS).

Les résultats obtenus semblent donc corroborer ceux présents dans la bibliographie, bien qu'une variabilité importante existe entre les différents sites géographiques.
Par ailleurs, les données recueillies dans le cadre de ce suivi de migration n'ont pu être analysées statistiquement et ne nous permettent donc pas de valider l'outil de prédiction de la migration du tigre du platane basé sur la somme des degrés-jour et la photopériode.

6.3.1.Enseignements et perspectives

La mise en place d'un réseau national de suivi de la migration du tigre du platane a permis d'améliorer nos connaissances sur cette phase primordiale dans le cycle du ravageur. Il s'agit d'un point clé préalable à l'évaluation de la stratégie combinée de bio-contrôle de ce ravageur, dont le positionnement des différents traitements est conditionné par cette migration, du tronc vers le feuillage des platanes, point de départ des dégâts et nuisances causés par ce ravageur.

ETUDE DE LA MIGRATION DU TIGRE DU PLATANE DU TRONC VERS LE HOUPPIER (DONNEES 2011)

- **Migration :**

1 **La migration a eu lieu courant avril et s'est étalée sur une période de 9 jours, du 5 au 14 avril en moyenne au niveau national.**

2 **Modèle de prédiction :**
- ➔ **plage de migration comprise entre 94 (±25) et 141 (±26) degrés-jour cumulés en moyenne (base : 1er mars ; température seuil de développement de *Corythucha ciliata*: 11.17°C).**
- ➔ **photopériode naturelle comprise entre 12.8 et 13.3 heures de jours.**

3 **Stade phénologique du platane : 3-5 feuilles étalées**
- ➔ **Être vigilant dès le débourrement des bourgeons et lors de l'étalement des premières feuilles.**

- **Intérêt de l'outil :**

1 **Prédire l'activité du tigre du platane afin de positionner le traitement à base de nématodes entomopathogènes sur tronc et charpentières avant la migration des adultes hivernants vers le houppier.**

2 **Evaluer précisément a posteriori la plage de migration de *C. ciliata* et pouvoir ainsi positionner le lâcher de *Chrysoperla lucasina*, 6 semaines après la migration des tigres vers le feuillage, afin de cibler la première génération de larves.**

3 **Le tout en s'affranchissant du lieu géographique et de ses conditions climatiques particulières.**

7. Mise en place et évaluation d'une stratégie combinée de lutte biologique contre le tigre du platane

7.1. Objectifs

Pour la dernière année du programme PETAAL, il s'agissait de tester en situation pratique l'efficacité d'une stratégie combinant deux types d'auxiliaires contre les populations de tigre du platane de différentes régions en prenant en compte les résultats obtenus lors des différents essais menés séparément sur *Chrysoperla lucasina* et *Steinernema spp*.
Ce type de dispositif supposait de mettre en place un suivi allégé qui corresponde aux disponibilités et à la capacité technique des services gestionnaires impliqués dans ce programme.

7.2. Matériels et méthodes

7.2.1.Dispositif expérimental

Six villes de différentes régions climatiques ont accueilli les essais de valeur pratique: Ile-de-France (Paris, Antony), Aquitaine (Bordeaux), Provence-Alpes-Côte d'Azur (Marseille), Indre-et-Loire (Tours) et Rhône-Alpes (Saint-Chamond). Ces villes ont été identifiées suite à l'appel à candidature lancé en 2011 et à d'autres contacts entrepris au cours de l'année 2010.
Les caractéristiques privilégiées des groupes de platanes (*Platanus x acerifolia*) choisies étaient les suivantes : alignement ayant un port homogène ; configuration permettant de conduire un chantier mobile (voie peu fréquentée par exemple) ; configuration permettant d'accéder aux différentes faces de la frondaison des arbres lors des applications et observations. Les caractéristiques des platanes et de la configuration des sites sont présentées dans le Tableau 3 montrent une grande diversité de situations.

	Ile de France (Antony)	Aquitaine (Bordeaux)	Provence-Alpes-Côte d'Azur (Marseille)	Ile de France (Paris)	Rhône-Alpes (Saint-Chamond)	Indre-et-Loire (Tours) [2 sites]
Configuration végétale	Double alignement	Double alignement	Double alignement	Alignement simple	Alignement simple	Malraux : Alignement simple Béranger : Double alignement
Nombre platanes	79	88	-	50	56	Malraux : 116 Béranger : 262
Hauteur platanes	8 m	12 m	15-20 m	9 m	12 m	Malraux : 20 m Béranger : 12 m
Hauteur troncs	5 m	5 m	8 m	4 m	3 m	Malraux : 8-10 m Béranger : 5 m
Taille	Rideau	Semi-libre	Semi-libre	Semi-libre	Gobelet	Semi-libre

TABLEAU 3. CARACTERISTIQUES DES SITES D'ESSAIS.

Des dispositifs expérimentaux en blocs complets ont été mis en place sur les platanes sélectionnés. Les traitements de chaque modalité ont été réalisés par groupe d'arbres. Chaque parcelle élémentaire comprenait 10 arbres traités dont les 6 centraux faisaient l'objet des observations et notations, les 4 autres servant d'arbres de garde permettant ainsi de limiter les interactions entre les traitements (dérive lors de l'application) et éviter un effet bordure qui pourraient biaiser les résultats.
Deux modalités ont été testées et répétées deux fois. Dans le cas d'un alignement double, seul un côté de l'alignement faisait l'objet des observations mais l'ensemble de l'alignement devait être traité afin d'éviter tout problème de ré-infestation.

7.2.2.Spécialités commerciales et modalités étudiées

Sur chacun des sites, deux modalités ont été comparées et ont été répétées 2 fois :
- Modalité ***Témoin*** (traitée à l'eau lors de l'application de nématodes),
- Modalité ***Traitée*** (associant plusieurs applications de nématodes et chrysopes.

La stratégie combinée testée consiste en l'application de plusieurs traitements, répétés dans le temps, de la phase d'hivernation à l'ensemble de la période d'activité du tigre du platane, de mars à fin juillet-début août (cf. Figure 18):

- ✓ le **Traitement 1***, **sur tronc et charpentières**, correspond à une application de nématodes entomopathogènes (*Steinernema spp.*) à la dose de 7500 nématodes/ml, dont les conditions d'une efficacité maximale sont une température entre 10 et 25°C et une humidité relative constante pendant les six heures qui suivent l'application.
- ✓ les **Traitements 2* et 4*, foliaires**, correspond à une application de nématodes entomopathogènes (*Steinernema spp.*) à la dose de 7500 nématodes/ml, dont les conditions d'une efficacité maximale sont une température entre 14 et 33°C et une humidité relative constante pendant les six heures qui suivent l'application.
- ✓ le **Traitement 3**, **foliaire**, correspond à un apport d'œufs de l'insecte prédateur *Chrysoperla lucasina* à la dose de 4 à 8 tubes/arbre (chaque tube contenant 120-150 œufs) selon l'infestation et le volume du houppier.

**Le changement d'espèce des nématodes (Steinernema spp.) au cours du temps est lié au fait que l'une tolère des températures plus élevées que l'autre et est plus robuste dans le cas d'hygrométries basses et semble donc plus adapté aux conditions estivales que la première.*

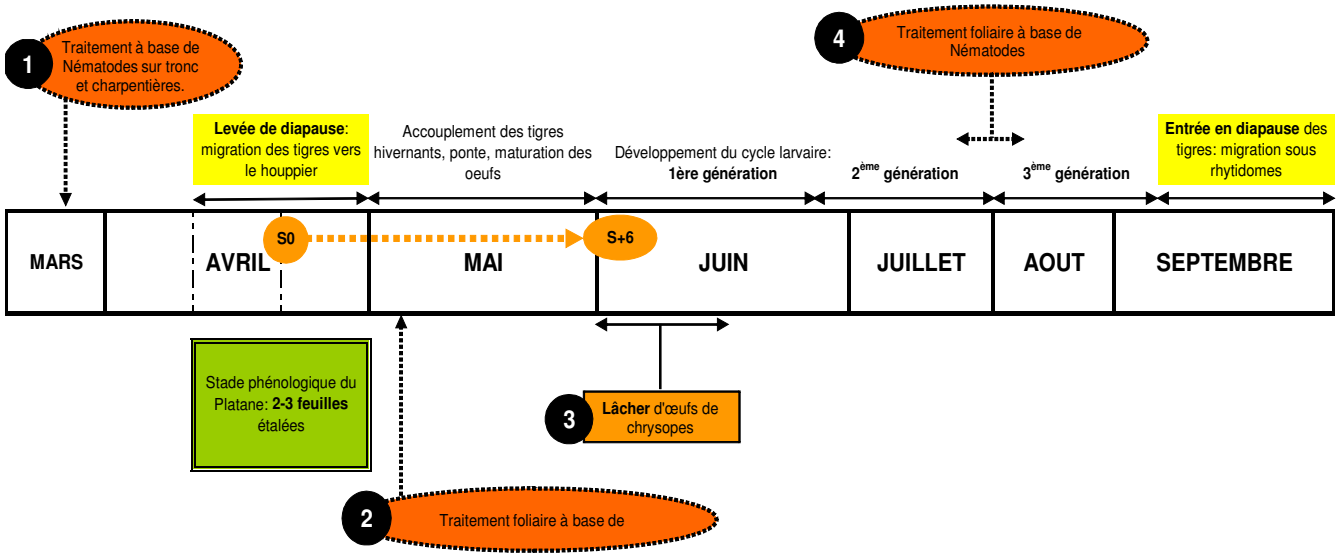


FIGURE 18. REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA STRATEGIE COMBINEE TESTEE EN 2011.

Les traitements à base de nématodes entomopathogènes, sur tronc et charpentières et foliaires, ont été effectués avec un adjuvant, excepté sur le site de Bordeaux.

7.2.3.Matériel d'application

Les traitements ont été réalisés par la commune partenaire ou le professionnel applicateur titulaire du marché des interventions phytosanitaires sur arbres d'alignement de la collectivité territoriale.
Les caractéristiques du matériel utilisé pour les pulvérisations de nématodes entomopathogènes et des caractéristiques de ces applications sont présentées dan le Tableau 4.
Une nacelle élévatrice était utilisée pour l'apport des œufs de *Chrysoperla lucasina* lors du traitement 3.

	Type et marque du pulvérisateur	Pression estimée lors de l'application *(Recommandation < 20 bars)*	Volume de bouillie appliquée/arbre
Antony (92)	T2-T4 : Pulvérisateur CORNU Municipal 25	15 bars	T2 et T4: 15 L
Bordeaux (33)	T1 : Pulvérisateur CTD porté à moteur auxiliaire	15 bars	T1 : 7 L
	T2-T4 : Turbine à jet porté AGROSYSTEM CITIZEN 42 CV	10 bars	T2 : 10L T4 : 12L
Marseille (13)	-	-	T1 : 5L / T2 : 4L
Paris (75)	Turbine sur camion, pulvérisateur SPRAY TEAM scout 21	-	T1 : 4L T2 : 5L T4 : 7.5L
Saint-Chamond (42)	Pulvérisateur Berthoud SUPER AIR-FLO porté T1 : lance américaine T2-T4 : pastilles	-	T1 : 7.5L T2 et T4 : 10L
Tours (37) [2 sites]	T1-T2 : Pulvérisateur autonome Blanchard Polypul T100 (lance)	20 bars	T1 : Béranger (8L), Malraux (10L) T2 : 15L (sur les 2 sites)
	T4 : Pulvérisateur turbine Pick-up 300L	5 bars	T4 : 15L (sur les 2 sites)

TABLEAU 4. CARACTERISTIQUES DU MATERIEL UTILISE POUR LES PULVERISATIONS DE NEMATODES ENTOMOPATHOGENES.

Pour certains partenaires qui ne réalisaient plus de traitements sur le patrimoine arboré, et qui n'ont pas fait appel à un prestataire de services, il est probable que le matériel utilisé n'était pas adapté à ce type d'application.

FIGURE 19. PULVERISATION FOLIAIRE DES NEMATODES ENTOMOPATHOGENES SUR LE SITE DE TOURS

7.2.4.Evaluation de l'efficacité des traitements.

7.2.4.1. Observation et notations

Les observations portaient sur le nombre de tigres vivants tous stades confondus recensés sous 1 dm² de rhytidomes pour le traitement hivernal et sur 30 feuilles prélevées par groupe d'arbres de la partie centrale du dispositif (les 6 arbres n'ayant pas subi la dérive) de chaque modalité pour les traitements foliaires. Les observations ont été réalisées avant les interventions, puis après les différentes interventions à J+7ou J+15 selon les traitements. Les dates effectives des observations sont reportées dans le tableau 8 ci-après et avaient été décrites au préalable dans le protocole envoyé aux villes.
Pour limiter les biais liés à l'hétérogénéité spatiale possible des tigres dans la frondaison, il était demandé que les prélèvements ne privilégient pas d'orientation préférentielle et devaient être réalisés dans les 2/3 inférieurs de l'arbre.
Les essais ont été conduits sur une période comprise entre mars et juillet 2011 selon les sites. Le Tableau 5 résume les périodes d'intervention et de suivi des essais dans les six villes partenaires ainsi que les modalités testées.

	Antony (92)	**Bordeaux** (33)	**Marseille** (13)	**Paris** (75)	**Saint-Chamond** (42)	**Tours** (37) [2 sites]
Traitement 1 (Observation avant Tr.)	X	28/03/11	24/03/11	13/04/11	30/03/11	24-25/03/11
Observation T1+7j	X	04/04/11	31/03/11	19/04/11	06/04/11	01/04/11
Traitement 2 (Observation avant Tr.)	27/04/11	10/05/11	09/05/11	04/05/11	10/05/11	10-11/05/11
Observation T2+7j	04/05/11	17/05/11	16/05/11	11/05/11	17/05/11	17/05/11
Traitement 3 (Observation avant Tr.)	26/05/11	27/05/11	27/05/11	08/07/11*	09/06/11	30/05/11
Observation T3+15j	09/06/11	16/06/11	10/06/11	20/07/11	23/06/11	15/06/11
Traitement 4 (pas d'observation)	20/07/11	21/07/11	27/07/11	20/07/11	21/07/11	22/07/11
Observation T4+7j	27/07/11	27/07/11	03/08/11	27/07/11	28/07/11	29/07/11

** Le Traitement 3 sur le site de la ville de Paris a été effectué avec plus d'un mois de retard par rapport à la date d'intervention préconisée, ceci étant dû à un problème d'approvisionnement en Chrysopes.*
« X » : Absence d'application et d'observations.

TABLEAU 5. CARACTERISTIQUES DES PERIODES D'INTERVENTION ET DES MODALITES MISES EN ŒUVRE SELON LES SITES.

Lors du comptage des formes mobiles de tigre du platane sur feuille après le Traitement 4, il était demandé de prélever les feuilles observées (soit 30 par parcelle élémentaire, 120 au total par site).Cet échantillon de feuilles a été soumis à un système automatisé d'analyse d'image couleur permettant de mesurer l'impact des traitements sur les dégâts foliaires du platane.

7.2.4.2. Analyse des résultats

L'analyse statistique (à l'aide du logiciel R) du nombre d'individus par feuille a fait appel à un modèle linéaire généralisé, basé sur une distribution de quasi-poisson. Un calcul de l'efficacité corrigée, selon la formule de Shneider-Orelli (1947), a permis de prendre en compte les différences des niveaux d'infestation de la modalité « Traitée » par rapport à la modalité « Témoin », le cas échéant.

L'efficacité des produits testés étant liée aux conditions de température et d'humidité, des observations météorologiques ont été demandées aux partenaires et ont été complétées par des données des stations Météo France les plus proches. Elles portent sur :

- ✓ Hauteur et durée des précipitations ;
- ✓ T°C minimale, moyenne et maximale sous abris ;
- ✓ Humidité relative moyenne.

Certaines de ces données n'étaient cependant pas disponibles, une analyse simplifiée est présentée au début de l'analyse des résultats pour chaque site.
En général, les conditions climatiques étaient favorables à la mise en œuvre de traitements et à l'activité des organismes entomopathogènes appliqués lors des interventions et dans les jours suivants. Seul le site d'Antony a connu un épisode pluvieux rapproché de l'intervention (la nuit suivant le Traitement 4), ce qui a pu affecter l'effet potentiel de ce traitement.

7.3. Résultats globaux inter-sites

7.3.1.Traitement sur tronc et charpentières (Nématodes)

Le traitement (T1) à base de nématodes entomopathogènes sur tronc et charpentières a été effectué dans la majorité des villes partenaires à la fin du mois de mars, excepté Antony où le traitement n'a pu être réalisé en temps et en heure.
Il a été effectué à la lance, avec un volume moyen de bouillie de l'ordre de 7L/arbre pour une durée moyenne d'application de 45min/20 arbres.
Les données présentées dans la Figure 20 sont basées sur les résultats obtenus dans les villes de Bordeaux, Saint-Chamond et Tours (2 sites) uniquement, le site de Paris en étant exclu étant donné que les platanes ne présentaient pas ou très peu de rhytidomes à la suite du traitement.

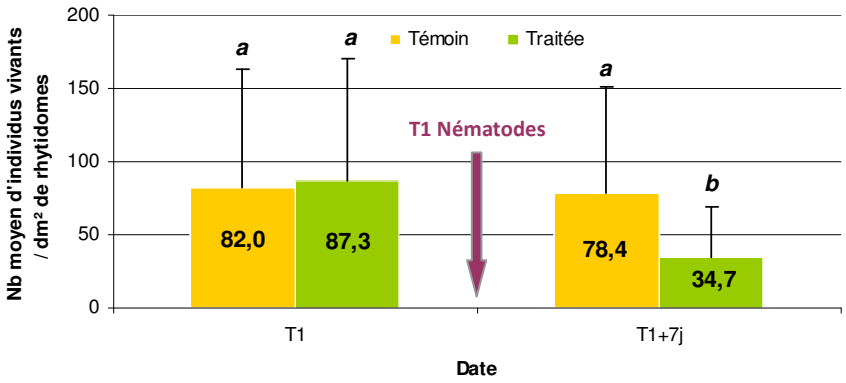


FIGURE 20. EFFICACITE MOYENNE DU TRAITEMENT A BASE DE NEMATODES UNE SEMAINE APRES TRAITEMENT SUR LES SITES D'EXPERIMENTATION DES VILLES DE BORDEAUX, SAINT-CHAMOND ET TOURS (2 SITES).

Avec une population initiale d'adultes hivernants de tigre du platane moyenne comprise entre 80 et 90 individus par dm² de rhytidomes et homogène pour les deux modalités (Figure 19), on obtient une **réduction moyenne significative des populations de tigre de l'ordre de 60% dans la modalité traitée une semaine après le traitement à base de nématodes entomopathogènes du genre *Steinernema*.**

7.3.2.Traitements foliaires (Nématodes et Chrysopes)

L'année 2011 a présenté des conditions climatiques peu propices au développement du tigre du platane. Nous avons ainsi été confrontés à une faible pression du ravageur de manière globale, avec une forte hétérogénéité d'infestation entre les sites, et une chute des populations de tigre du platane lors du pic de pullulation normalement observé fin juillet-début août.

	T2	T2+7j	T3	T3+15j	T4+7j
Témoin	1,0 ± 2,3 ***a***	5,8 ± 9,9 ***a***	28,5 ± 54,5 ***a***	21 ± 33 ***a***	3,3 ± 8,1 ***a***
Traitée	1,0 ± 1,9 ***a***	5,8 ± 10,1 ***a***	14,8 ± 26,4 ***b***	17,3 ± 27,4 ***a***	1,7 ± 5,6 ***b***

Au sein d'une même colonne, les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différentes (GLM ; Distribution de quasi-poisson, P<0.05)

TABLEAU 6. NOMBRE D'INDIVIDUS VIVANTS DE TIGRE DU PLATANE PAR FEUILLE AVANT ET APRES LES DIFFERENTS TRAITEMENTS.

Le Tableau 6 met en évidence l'évolution des populations du tigre du platane avec un pic de populations observé lors du traitement 3 (lâcher de *Chrysoperla lucasina*) correspondant à la première génération du ravageur. On observe ensuite une chute des populations fin juillet (T4+7j).

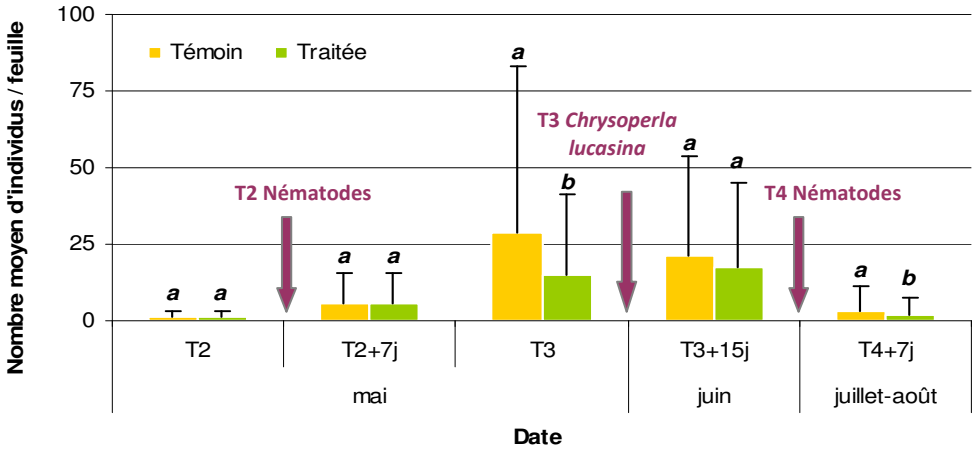


FIGURE 21. EFFICACITE DES TRAITEMENTS FOLIAIRES CONTRE LES POPULATIONS DE *CORYTHUCHACILIATA*.

D'après la Figure 21, **le Traitement 2 (*Steinernema* spp.) ne démontre pas d'efficacité une semaine après application mais un effet plus tard au moment du T3, soit trois semaines environ après l'intervention, avec une réduction significative des populations de l'ordre de 50%.** Le volume moyen de bouillie appliqué était de l'ordre de 10L/arbre pour une durée moyenne d'application de 1h/20 arbres.
Le Traitement 3, lâcher d'œufs de *Chrysoperla lucasina*, n'a pas démontré d'efficacité significative de manière globale 15 jours après traitement, mais a permis une réduction de l'ordre de 50% des populations de tigre du platane sur le site de la ville d'Antony. Il est important de bien positionner ce lâcher dans le temps, environ 6 semaines après migration (juin), afin de cibler les larves de première génération de tigre.
Bien qu'il n'y ait pas eu d'observation effectuée avant le Traitement 4 (*Steinernema* spp.) et que l'on ait observé une chute des populations de *C. ciliata* lors du pic normalement observé à cette période (T4+7j), ce traitement semble avoir eu un impact sur les populations de tigre. Par contre, l'effet choc escompté de ce traitement n'a pu être mis en évidence de façon aussi nette que lors des essais effectués les années précédentes où l'efficacité d'une telle intervention avait été démontrée (cf. § 5.2.3). Ainsi, il se peut que les résultats obtenus après ce traitement résultent de la combinaison du lâcher de chrysopes et de l'application de nématodes. Le volume moyen de bouillie appliqué était de l'ordre de 12.5L/arbre pour une durée moyenne d'application de 1h/20 arbres.

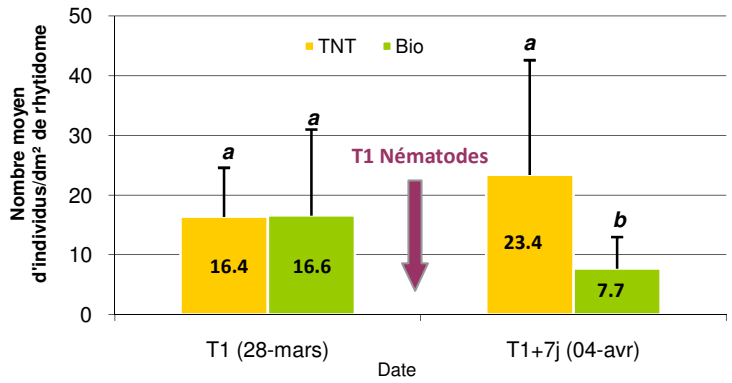
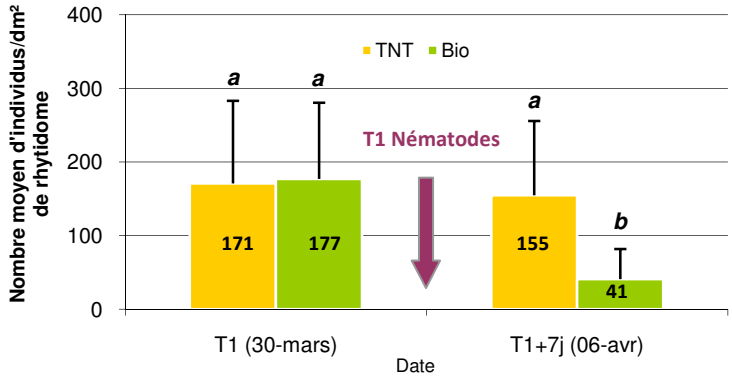
Il est important de noter que des ré-infestations ont pu avoir lieu entre les modalités, ne permettant pas de quantifier de manière précise l'efficacité de chacun des traitements ni de la stratégie testée dans son ensemble. Les différences d'efficacité entre les sites peuvent s'expliquer par les conditions climatiques différentes après le traitement d'une ville à une autre et des niveaux d'infestation de départ différents. En effet, des températures peu propices au bon développement des auxiliaires peuvent entraîner une baisse d'efficacité ou l'occurrence de phénomènes pluvieux peut entraîner le lessivage d'une partie des produits appliqués.

7.3.3.Principales conclusions

L'efficacité de la stratégie combinée de bio-contrôle du tigre du platane *Corythucha ciliata* associant plusieurs traitements (un sur tronc et trois en application foliaire) et deux organismes biologiques, nématodes (*Steinernema* spp.) et chrysopes (*Chrysoperla lucasina*), a été démontrée.
Cette stratégie de traitements a permis une réduction globale significative de 50% des populations de *C. ciliata*.

7.4. Résultats détaillés intra-sites

Les résultats détaillés site par site sont présentés dans les Tableaux 7 et 8 ci-après.

	TRAITEMENT SUR TRONC ET CHARPENTIERES	COMMENTAIRES
Aquitaine (Bordeaux)		- **Faible pression parasitaire**, homogène entre les 2 modalités. - Conditions climatiques plutôt favorables lors du traitement : T°C=15°C, HR>95%. - Quelques petites averses dans les 3 jours suivants l'application. <u>Traitement 1:</u> - sans adjuvant - effectué à la lance ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 7L/arbre ; - durée : 1 à 2 min/arbre. → **Réduction significative des populations de tigre de 54% dans la modalité traitée une semaine après traitement à base de nématodes entomopathogènes.**
Rhône-Alpes (Saint-Chamond)		- **Pression parasitaire très élevée**, homogène entre les 2 modalités. - Conditions climatiques plutôt favorables lors du traitement : T°C=14.3°C, HR=66%. - Alternance pluie/soleil dans les 3 jours suivants l'application. <u>Traitement 1:</u> - avec adjuvant - effectué à la lance ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 7.5L/arbre ; - durée : 2 à 3 min/arbre. → **Réduction significative des populations de tigre de 75% dans la modalité traitée une semaine après traitement à base de nématodes entomopathogènes**.

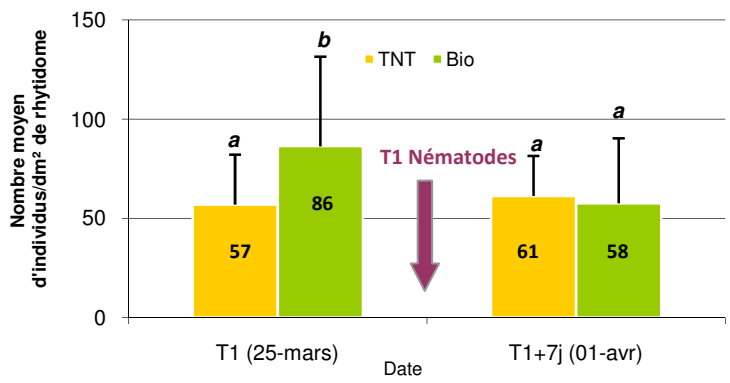
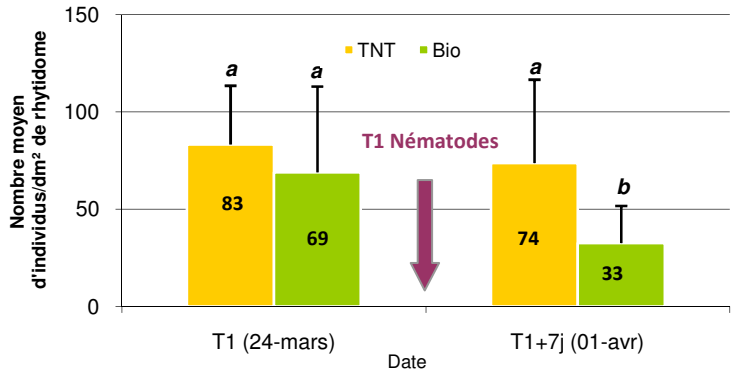
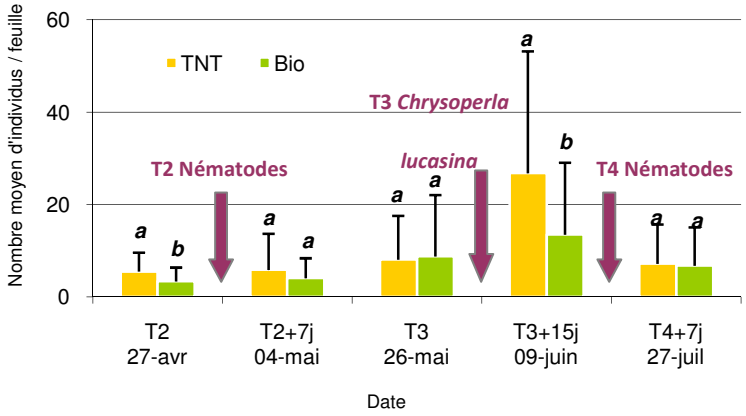
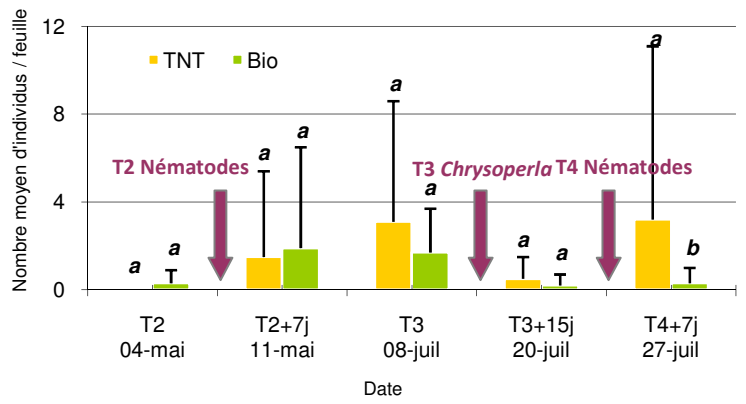
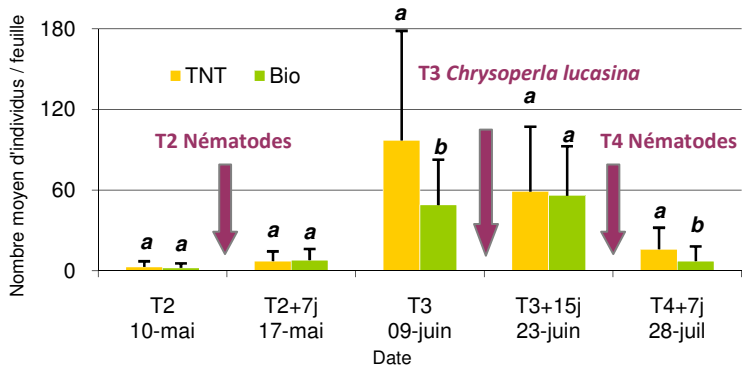
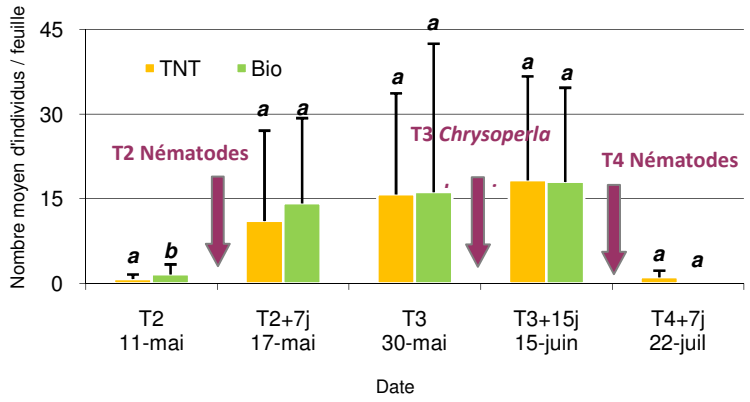
		TRAITEMENT SUR TRONC ET CHARPENTIERES	COMMENTAIRES
Indre-et-Loire (Tours)	Site Malraux		- **Pression parasitaire élevée**, hétérogène entre les 2 modalités, avec une plus forte infestation en moyenne des platanes de la modalité traité (Bio) que ceux de la modalité Témoin (TNT). - Conditions climatiques plutôt favorables lors du traitement : T°C=20°C, HR=33%. - Temps sec et couvert, 13°C<T°C<18°C dans les 3 jours suivants l'application. Traitement 1: - avec adjuvant - effectué à la lance ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 10L/arbre ; - durée : 4 min/arbre. →Etant donné que les populations de tigre baissent dans la modalité Traitée et restent constantes dans la modalité Témoin, et que la variabilité des résultats diminue également une semaine après traitement, on peut conclure sur une **réduction significative des populations de tigre de 33% dans la modalité traitée à l'issue du traitement à base de nématodes entomopathogènes**.
	Site Béranger		- **Pression parasitaire élevée**, homogène entre les 2 modalités. - Conditions climatiques plutôt favorables lors du traitement : T°C=20.5°C, HR=36%. - Temps sec et couvert, 13°C<T°C<18°C dans les 3 jours suivants l'application. Traitement 1: - avec adjuvant - effectué à la lance ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 8L/arbre ; - durée : 3 à 4 min/arbre. → **Réduction significative des populations de tigre de 47% dans la modalité traitée une semaine après traitement à base de nématodes entomopathogènes**.

TABLEAU 7. PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS APRES LE TRAITEMENT HIVERNAL A BASE DE NEMATODES ENTOMOPATHOGENES.

	TRAITEMENT FOLIAIRES	COMMENTAIRES
Ile-de-France (Antony)		**<u>Traitement 2:</u>Nématodes** - vol. moyen de bouillie appliqué : 15L/arbre ; - durée : 3 min/arbre. → **Pas d'efficacité de ce traitement** : problème de dilution, soit application d'une dose d'environ 1500 nématodes/ml au lieu de 7500/ml. **<u>Traitement 3:</u> Chrysopes** - Dose de 8 tubes de 150 œufs/arbre. →**Réduction significative des populations de tigre de 50% dans la modalité traitée 15 jours après traitement.** **<u>Traitement 4:</u> Nématodes** - T°C=14°C, HR = 95% ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 15L/arbre ; - durée : 2 à 3 min/arbre. →**Pas d'efficacité de ce traitement à T4+7j**: épisode pluvieux juste après traitement et dans les 2 jours suivants l'application ce qui a pu entraîner un lessivage du produit. **=> Pas d'efficacité globale démontrée de la stratégie combinée testée.**
Ile-de-France (Paris)		**<u>Traitement 2:</u> Nématodes** - T°C= 10-11°C, beau temps les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 10L/arbre ; - durée : 1 à 2 min/arbre. →Pas d'efficacité de ce traitement à T2+7j **mais une réduction non significative de 45% des populations de tigre est observée 2 mois après traitement (lors du T3).** **<u>Traitement 3:</u> Chrysopes** - T°C= 11-12°C, beau temps les 3 jours suivants ; - Dose de 4 tubes de 150 œufs/arbre. →**Pas d'efficacité de ce traitement à T3+15j :** mauvais positionnement dans le temps du lâcher, qui a eu lieu un mois après la date prévue initialement. **<u>Traitement 4:</u> Nématodes** - T°C=14°C, temps couvert et humide les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 10L/arbre ; - durée : 1 à 2 min/arbre. → **Réduction significative des populations de tigre de l'ordre de 90% à T4+7j** : résultats à relativiser étant donné la très faible pression parasitaire sur ce site. **=>Efficacité globale démontrée de la stratégie combinée testée.**

	TRAITEMENT FOLIAIRES	COMMENTAIRES
Rhône-Alpes (Saint-Chamond)		**Traitement 2: Nématodes** - T°C = 15-20°C, 67%<HR<79% ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 10L/arbre ; - durée : 1 à 2 min/arbre. **→Efficacité retard (pas d'efficacité à T2+7j) un mois après traitement avec une réduction significative de 50% des populations de tigre (lors du T3).** **Traitement 3: Chrysopes** - T°C= 7-19°C, 60%<HR<80%, soleil (8°C<T°C<27°C) les 3 jours suivants ; - Dose de 8 tubes de 150 œufs/arbre. **→Pas d'efficacité observée de ce traitement à T3+15j.** **Traitement 4: Nématodes** - T°C = 14°C, HR = 84%, soleil (8°C<T°C<30°C) les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 10L/arbre ; - durée : 1 à 2 min/arbre. **→ Réduction significative des populations de tigre de 55% à T4+7j**. **=>Efficacité globale démontrée de la stratégie combinée testée.**
Indre-et-Loire (Tours) — Malraux		**Traitement 2: Nématodes**; - T°C = 10-15°C, 54%<HR<64% ; - temps sec puis orageux (sans pluie, 19°C<T°C<26°C) les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 15L/arbre ; - durée : 9 min/arbre (traitement effectué à la lance). **→Pas d'efficacité observée de ce traitement**. **Traitement 3: Chrysopes** - T°C= 17°C, HR=63%, temps couvert puis dégagé (20°C<T°C<27°C) les 3 jours suivants ; - Dose de 8 tubes de 150 œufs/arbre. **→Pas d'efficacité de ce traitement à T3+15j.** **Traitement 4: Nématodes** - T°C = 14°C, HR=94%, temps couvert (T°C moyenne =22°C) les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 15L/arbre ; - durée : 3 min/arbre. **→Pas d'efficacité observée de ce traitement à T4+7j**. **=> Pas d'efficacité globale démontrée de la stratégie combinée testée.**

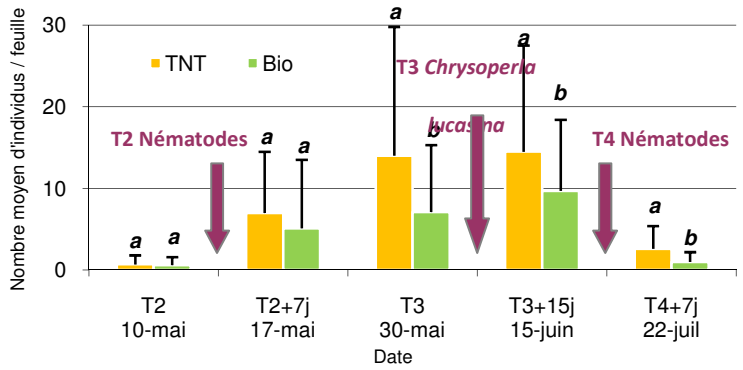
		TRAITEMENT FOLIAIRES	COMMENTAIRES
Indre-et-Loire (Tours)	Béranger		**<u>Traitement 2:</u> Nématodes** - T°C = 9.5-17°C, 37%<HR<74% ; - temps sec puis orageux (sans pluie, 19°C<T°C<26°C) les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 14L/arbre ; - durée : 6 à 7 min/arbre (traitement effectué à la lance). **→Efficacité retard (pas d'efficacité à T+7j) 3 semaines après traitement avec une réduction significative de 50% des populations de tigre (lors du T3).** **<u>Traitement 3:</u> Chrysopes** - T°C= 26°C, HR=46%, temps couvert puis dégagé (20°C<T°C<27°C) les 3 jours suivants ; - Dose de 4 tubes de 150 œufs/arbre. **→Pas d'efficacité de ce traitement à T+15j.** **<u>Traitement 4:</u> Nématodes** - T°C = 14.3-15.1°C, HR=90%, temps couvert (T°C moy. =22°C) les 3 jours suivants ; - vol. moyen de bouillie appliqué : 15L/arbre ; - durée : 2 min/arbre. **→ Pas de conclusion possible sur l'efficacité de ce traitement** étant donné que l'on assiste à une chute des populations une semaine après traitement et qu'une différence significative existe entre les populations de tigre des deux modalités à T3+15j. **→ Néanmoins, on obtient une réduction significative des populations de tigre de l'ordre de 60% à la fin de la campagne de traitements.** **=>Efficacité globale démontrée de la stratégie combinée testée.**

TABLEAU 8. PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS APRES L'APPLICATION DE TRAITEMENTS FOLIAIRES (NEMATODES ET CHRYSOPES).

7.5. Résultats de la quantification des dégâts foliaires dus au tigre du platane à l'aide de l'outil d'analyse d'image

La quantification des dégâts foliaires dus au tigre du platane, à l'aide d'un système innovant d'analyse d'images couleur développé dans le cadre du projet PETAAL, n'a pas révélé de différence significative entre les modalités. Ceci étant dû à un mauvais état des échantillons de feuilles (fortement attaqués par l'oïdium) ainsi qu'à un mauvais positionnement dans le temps et l'espace du prélèvement de feuilles. Une ré-infestation de la modalité Traitée par les tigres de la modalité Témoin (les ressources nutritives s'y réduisant) n'est pas non plus à écarter, ce qui aurait eu une influence sur les niveaux de décolorations des feuilles prélevées dans la modalité Traitée.

7.6. Conclusions et discussion

7.6.1. Synthèse des principaux résultats

Le Tableau 9 synthétise les principaux résultats d'efficacité des auxiliaires testés obtenus sur l'ensemble des sites d'essai :

		STRATEGIE GLOBALE	**T1 (Hiver)** Traitement sur tronc Nématodes	**T2 (Printemps)** Traitement foliaire Nématodes	**T3 (Printemps-Eté)** Traitement foliaire Chrysopes	**T4 (Eté)** Traitement foliaire Nématodes
Antony		**PAS D'EFFICACITE DEMONTREE**	***Non testé***	**Pas d'efficacité** (problème de dilution)	**Réduction significative de 50%**	**Pas d'efficacité** (chute des populations dans le Témoin + épisode pluvieux)
Paris		**EFFICACITE DEMONTREE**	*Traitement effectué mais non évalué car peu voire absence de rhytidomes sur tronc après traitement*	**Réduction non significative** de 45%	**Pas d'efficacité** (mauvais positionnement dans le temps du lâcher de chrysopes)	**Réduction significative de l'ordre de 90%** (faible population)
Saint-Chamond		**EFFICACITE DEMONTREE**	**Réduction significative de l'ordre de 75%**	**Réduction significative de l'ordre de 50%**	**Pas d'efficacité** (baisse des populations de tigre dans le Témoin)	**Réduction significative de l'ordre de 55%** (chute des pop. dans le Témoin)
Tours	**Malraux**	**PAS D'EFFICACITE DEMONTREE**	**Réduction significative de 33%**	**Efficacité non démontrée**	**Efficacité non démontrée**	**Pas d'efficacité** (chute des pop. dans le Témoin)
	Béranger	**EFFICACITE DEMONTREE**	**Réduction significative de 47%**	**Réduction significative de l'ordre de 50%**	**Efficacité non démontrée**	**Réduction significative de 60%** (chute des pop. dans le Témoin et hétérogénéité avant traitement)
Bordeaux		-	**Réduction significative de 54%**	*Baisse des populations voire « disparition » des tigres*		
Marseille		*Traitements effectués mais absence de tigres sur ce site*				

TABLEAU 9. SYNTHESE DES RESULTATS D'EFFICACITE GLOBALE ET PAR INTERVENTION (VERT : EFFICACITE SIGNIFICATIVE DES INTERVENTIONS ; ROUGE : EFFICACITE NON SIGNIFICATIVE).

7.6.2.Commentaires généraux

L'efficacité de la stratégie combinée de bio-contrôle du tigre du platane *Corythucha ciliata* associant plusieurs traitements (un sur tronc et trois en application foliaire) et deux organismes biologiques, nématodes (*Steinernema* spp.) et chrysopes (*Chrysoperla lucasina*), a été démontrée de manière globale. Cette campagne de traitements a permis une réduction significative de 50% des populations de *C. ciliata*.
Cependant, on remarque une variabilité des résultats selon les sites étudiés qui serait due à des conditions climatiques et d'application différentes en fonction de la localisation géographique.

Ces essais de valeur pratique ont confirmé les résultats obtenus dans le cadre des autres expérimentations conduites en parallèle, à savoir l'importance:

- ✓ Du positionnement dans le temps de chacune des interventions (selon la dynamique spatio-temporelle du tigre du platane),
- ✓ De la dose (chrysopes et nématodes) et le volume des bouillies (nématodes) employées,
- ✓ Des conditions climatiques dans les heures qui suivent les applications pour garantir l'efficacité optimum des agents biologiques.

Ils ont également mis en évidence les meilleures modalités d'intervention (cf. § 9) afin de réduire :

- ✓ la pression parasitaire liée au tigre du platane en ayant un impact sur plusieurs générations ;
- ✓ les nuisances estivales par la recherche d'un effet choc sur les populations de tigre en été.

Néanmoins, il est important de souligner que le mode de gestion du patrimoine arboré des collectivités territoriales n'a pas été pris en compte. De plus, la stratégie proposée ne tient pas compte de la typologie des sites, qui peuvent présenter des seuils de tolérance des nuisances du tigre et donc du seuil de leur population différents d'un site à l'autre. Il faudrait donc pour cela caractériser les sites où le niveau de tolérance est faible (terrain de boules, alignements proches de commerces et habitations, parking, etc.), moyen (jardin des plantes, etc.) ou élevé. Ainsi, des stratégies intégrées pourraient être développées de façon différenciée selon ces types de sites et selon l'importance, la dispersion et la répartition des platanes sur les communes (Chauvel, comm. pers.).

Par ailleurs, l'interaction possible entre les deux organismes employés (impact négatif des nématodes entomopathogènes sur les chrysopes ; cf. §3.3) est négligeable étant donné que l'intervalle de temps entre les traitements ne permet aux nématodes de nuire aux chrysopes lâchées.
Les partenaires évaluent sur les auxiliaires employés dans cette stratégie les effets secondaires des produits de synthèse utilisés par les gestionnaires contre l'oïdium et l'anthracnose. Ceci permet de définir leur conditions d'emploi tout en respectant les pratiques classiques des collectivités (cf. §10 FAQ).

Enfin, bien que l'outil automatisé d'analyse d'image ne nous ait pas permis de confirmer l'efficacité des différents traitements, il est aujourd'hui opérationnel et transposable à tout autre type de végétal présentant des dégâts foliaires.

8. Stratégie globale de biocontrôle du tigre du platane – Préconisations issues du programme PETAAL

La stratégie globale de bio-contrôle du tigre du platane préconisée en Figure 22 consiste à associer plusieurs organismes biologiques (nématodes entomopathogènes et insecte prédateur) et applications. Pour optimiser le contrôle du ravageur à différentes périodes de l'année, il est conseillé d'effectuer 4 interventions : une sur tronc et charpentières et 3 foliaires dont les conditions d'application sont détaillées ci-après.

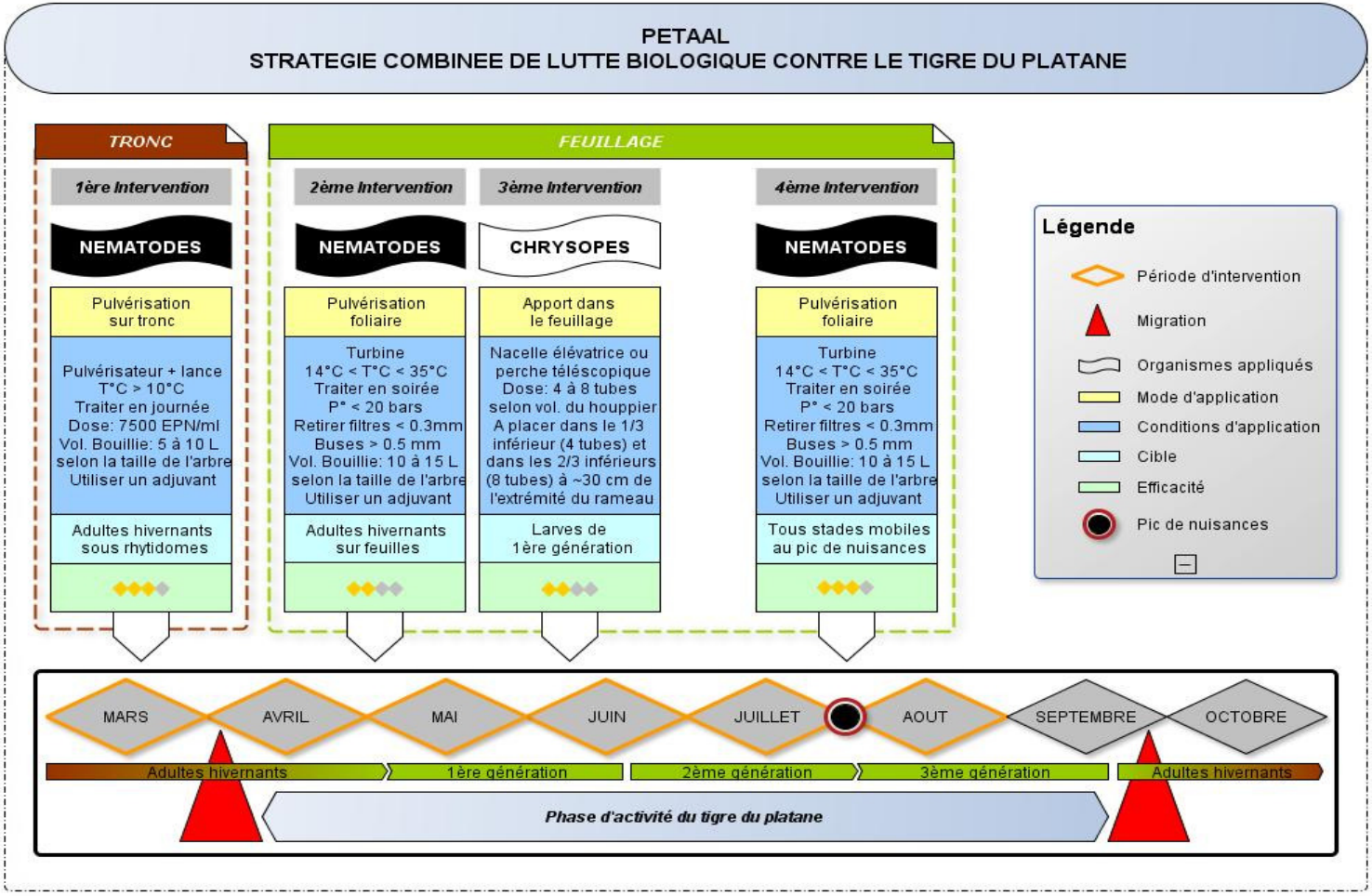


FIGURE 22. PRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA STRATEGIE COMBINEE TESTEE EN 2011 ET PRINCIPAUX ELEMENTS TECHNIQUES.

ETUDE DE LA MIGRATION DU TIGRE DU PLATANE DU TRONC VERS LE HOUPPIER

- **Objectifs :**

➔Evaluer la période de migration des adultes hivernants du tigre du platane du tronc vers le houppier afin de pouvoir positionner au mieux les deux interventions suivantes : pulvérisation foliaire de nématodes entomopathogènes juste après migration et lâcher d'œufs de *Chrysoperla lucasina* dans le feuillage 6 semaines après la fin de migration.

- **Méthode :**

1 Observation sous rhytidomes (fin mars-fin avril) :

➔ Effectuer un suivi régulier (hebdomadaire) des sites à traiter en observant la présence/absence d'adultes hivernants du tigre du platane en prélevant plusieurs échantillons de rhytidomes sur les platanes du site concerné.
Constater l'absence d'individus de tigre du platane et prendre cette date comme référence pour la planification des interventions 2 et 3.

2 Observation du stade phénologique du platane :

➔ Être vigilant dès le débourrement des bourgeons et lors de l'étalement des premières feuilles, jusqu'au stade 3-5 feuilles étalées correspondant à la fin de la migration.

=> A partir du constat de l'absence d'individus de tigre du platane sous rhytidomes et des premiers individus sur les premières feuilles, l'intervention 1 n'est plus envisageable mais la seconde peut être planifiée.

DONNEES 2011

➔ La migration a eu lieu courant avril et s'est étalée sur une période de 9 jours, du 5 au 14 avril en moyenne au niveau national.
➔ Le stade phénologique du platane correspondant au début et à la fin de migration était de 3 à 5 feuilles étalées respectivement.

INTERVENTION 1
APPLICATION HIVERNALE DE TIGRANEM®/NEMADOR® SUR TRONC ET CHARPENTIERES

- **Objectif:**

➔ Réduire les populations hivernantes de tigre du platane sous rhytidomes avant leur migration vers le feuillage.

- **Préconisations:**

1. **Dès réception desproduits, les maintenir au frais (2°C-6°C) et à l'obscurité jusqu'à emploi.**
2. **Effectuer le traitement avant la migration des adultes hivernants de tigre vers le houppier, soit courant mars avant le débourrement des platanes (cf. § Migration).**
3. **Appliquer les produits à la limite du ruissellement à l'aide d'une lance (cf. Figure 2), d'un nébulisateur pneumatique ou d'un pulvérisateur à jet porté :**
   ➔ Pression maximale de 20 bars
   ➔ Retirer les filtres de maillage inférieur à 300 µm
   ➔ Buses d'ouverture d'au moins 500 µm
4. **Appliquer en journée, lorsque les conditions climatiques requises sont réunies: T°C>10-12°C lors du traitement et dans les 6 heures suivant l'application (une humidité relative élevée optimisera l'efficacité de l'application).**
5. **Utiliser un adjuvant pour éviter une dessiccation trop rapide des nématodes (lors d'humidité relative basse).**
   ➔ Tous les adjuvants ne sont pas compatibles avec les nématodes : demander conseil auprès de votre fournisseur sur la compatibilité des produits.

- **Volume de bouillie:**
  ➔ Appliquer 5 à 10L de bouillie/arbre selon la taille du tronc et le matériel employé.

INTERVENTION 2
APPLICATION FOLIAIRE PRINTANIERE DE TIGRANEM®/NEMADOR®

- **Objectif:**
  ➔ Réduire les populations hivernantes de tigre du platane après leur migration sur le feuillage.

- **Préconisations:**

1. **Dès la réception des produits, les maintenir au frais (2°C-6°C) et à l'obscurité jusqu'à emploi.**
2. **Appliquer les nématodes courant mai, une fois la migration terminée (cf. § Migration) et lorsque les conditions climatiques requises sont réunies: T°C>14°C lors du traitement et dans les 6 heures suivant l'application (une humidité relative élevée améliorera l'efficacité de l'application).**
3. **Appliquer le produit par temps couvert de préférence (les UV nuisant à la survie des nématodes) à la limite du ruissellement, en orientant la pulvérisation sur la face inférieure des feuilles, à l'aide d'un nébulisateur pneumatique ou d'un pulvérisateur à jet porté (Fig. 3).**
   ➔ Pression maximale de 20 bars
   ➔ Retirer les filtres de maillage inférieur à 300 µm
   ➔ Buses d'ouverture d'au moins 500 µm
6. **Utiliser un adjuvant pour éviter une dessiccation trop rapide des nématodes (lors d'humidité relative basse).**
   ➔ Tous les adjuvants ne sont pas compatibles avec les nématodes : demander conseil auprès de votre fournisseur sur la compatibilité des produits.

- **Volume de bouillie:**
  ➔ Appliquer 10 à 15L de bouillie/arbre selon le volume du houppier et le matériel employé.

- **Compatibilité avec des traitements effectués contre l'anthracnose et l'oïdium :**
  ➔ Demander conseil auprès de votre fournisseur sur la compatibilité des produits.

INTERVENTION 3
APPORT DE TIGRADOR®/CHRYSOLYS® DANS LE FEUILLAGE

- **Objectif:**

➔ Réduire les populations de tigre du platane sur feuillage en ciblant les larves de 1ère génération.

- **Préconisations:**

1. **Dès la réception des produits, les maintenir au frais (7-8°C) et à l'obscurité jusqu'à emploi. A utiliser dans les 3 jours suivant la réception.**
2. **Apporter les œufs de *Chrysoperla lucasina* dans le houppier 6 semaines après migration du tigre du platane, soit début juin environ (cf. § Migration pour un positionnement plus précis).**
3. **Utiliser soit la perche télescopique permettant un apport simple et rapide (jusqu'à 9 m de hauteur), soit une nacelle élévatrice pour les platanes de plus grande hauteur.**
4. **Positionnement des tubes d'œufs (cf. Figure 4):**
   ➔Dans les 2/3 inférieurs du houppier,
   ➔Répartis sur l'ensemble des 4 faces de la couronne,
   ➔A environ 30 cm de l'extrémité apicale du rameau.
5. **Manipuler les tubes avec précaution, en veillant à ne pas écraser les œufs qui sont à l'intérieur.**
6. **Les tubes sont biodégradables (carton), il n'est donc pas nécessaire de les retirer.**

- **Dose:**

➔ Apporter 4 à 8 tubes/arbre (120 à 150 œufs de chrysopes/tube) selon la taille de l'arbre, le volume du houppier et l'infestation initiale (demander conseil auprès de votre fournisseur).

INTERVENTION 4

APPLICATION FOLIAIRE ESTIVALE DE TIGRANEM®/NEMADOR®

- **Objectif:**
  ➔ Réduire les populations estivales du tigre du platane lors du pic de nuisances en général observé fin juillet-début août.

- **Préconisations:**

1. **Dès la réception des produits, les maintenir au frais (2°C-6°C) et à l'obscurité jusqu'à emploi.**
2. **Privilégier une application en fin de journée ou nocturne (les UV et des températures supérieures à 30°C nuisant à la survie des nématodes).**
3. **Appliquer les produits à la limite du ruissellement, en orientant la pulvérisation sur la face inférieure des feuilles, à l'aide d'un nébulisateur pneumatique ou d'un pulvérisateur à jet porté (Fig. 5).**
   ➔ Pression maximale de 20 bars
   ➔ Retirer les filtres de maillage inférieur à 300 µm
   ➔ Buses d'ouverture d'au moins 500 µm
4. **Utiliser un adjuvant pour éviter une dessiccation trop rapide des nématodes (lors d'humidité relative basse).**
   ➔ Tous les adjuvants ne sont pas compatibles avec les nématodes : demander conseil auprès de votre fournisseur sur la compatibilité des produits.

- **Volume de bouillie:**
  ➔ Appliquer 10 à 15L de bouillie/arbre selon le volume du houppier et le matériel employé.

- **Compatibilité avec des traitements effectués contre l'anthracnose et l'oïdium :**
  ➔ Demander conseil auprès de votre fournisseur sur la compatibilité des produits.

9. Remerciements

Le programme PETAAL, labellisé par le pôle de compétitivité Végépolys, est financé par le Fonds Unique Interministériel et le Conseil Régional des Pays de la Loire.
Les partenaires du projet tiennent à remercier les financeurs et les villes de Angers (49), Antony (92), Auterive (31), Bordeaux (33), Fréjus (83), CU Grand Lyon (69), Grenoble (38), Illkirch-Graffenstaden (67), Le Lavandou (83), Marseille (13), Montpellier (34), Nantes (44), Nice (06), Paris (75), Ramonville (31), Roanne (42), Saint-Chamond (42), Strasbourg (67), Toulouse (31), Tours (37) et les centres techniques (les FREDON Languedoc-Roussillon, Midi-Pennées, Pays de la Loire et Rhône-Alpes ; le CETEV et le CETU INNOPHYT) ayant participé aux expérimentations, ainsi que les prestataires ayant appliqué les agents de lutte biologique et/ou effectué les observations expérimentales et les observateurs ayant aidé à identifier la période de migration des tigres.

10. FAQ

Dans le cadre de la stratégie combinée, quelles sont les périodes optimales d'application de Tigranem®/Nemador® et Chrysolys®/Tigrador® ?

Tigranem®/Nemador®*est recommandé en application sur tronc, en mars, avant migration des tigres vers le feuillage, en application foliaire en mai, juste après la migration des tigres, et en juillet-août, au pic de nuisance du tigre du platane.*

Chrysolys®/Tigrador®se positionne idéalement 6 semaines après la migration des tigres vers le feuillage, soit début juin environ.

La stratégie combinée doit être adaptée à la typologie des sites et aux situations locales (pression, climat, périodes touristiques). Consulter les sociétés pour plus d'informations.

Voir § 7

Pourquoi Tigranem®/Nemador® et Chrysolys®/Tigrador® peuvent-ils être utilisés sans homologation?
Les macro-organismes indigènes ne sont pas soumis à homologation, seuls les macro-organismes non indigènes le sont.
Voir § 3.4

Tigranem®/Nemador®et Chrysolys®/Tigrador® ont-ils un impact sur la santé humaine ? Sur la faune auxiliaire ?
Les nématodes entomopathogènes ne présentent aucun risque pour la santé humaine, ni pour la faune auxiliaire.
Voir § 3.3
Comment les produits Tigranem®/Nemador® et Chrysolys®/Tigrador® sont-ils livrés?Comment les conserver dans les meilleures conditions jusqu'à leur application ?
Ces produits sont livrés par envoi rapide réfrigéré.
Bien veiller à immédiatement placer les produits dans leurs conditions optimales de stockage jusqu'à leur utilisation rapide :
- Tigranem®/Nemador® : Réfrigérateur à 4°C, à l'obscurité. Si conservation prolongée à plusieurs jours (non souhaitée), ouvrir les boîtes pour une bonne circulation de l'air.
- Chrysolys®/Tigrador® : Réfrigérateur à 7-8°C, à l'obscurité. A utiliser dans les 3 jours suivant la réception.

Tigranem®/Nemador® et Chrysolys®/Tigrador®fonctionnent-t-ils dans tous les climats français?
Oui, tant que les conditions climatiques requises pour une efficacité optimale sont réunies lors de l'application.
Voir § 8.2.2

Quels sont les retours des premiers utilisateurs de Tigranem®/Nemador®?
Voir le Biojournal N°27, Décembre 2011, Cahier Espaces Verts (édité par KOPPERT)

Tigranem®/Nemador® est-il compatible avec le matériel de pulvérisation utilisé par les municipalités ? Si oui, quelles précautions faut-il prendre ?
Oui, le matériel est compatible, qu'il s'agisse d'un pulvérisateur muni d'une lance, d'un nébulisateur pneumatique ou d'un pulvérisateur à jet porté.
Bien veiller à rincer au préalable la cuve du pulvérisateur, à utiliser une pression inférieure à 20 bars, à retirer les filtres inférieurs à 300 µm et à utiliser des buses d'ouverture d'au moins 500 µm.
Voir § 3.2

Quelle pression maximale peut-on utiliser?
Jusqu'à 20 bars avec buses à jet conique creux

Tigranem®/Nemador® est-il compatible avec les fongicides anti-oïdium et anti-anthracnose homologués pour les arbres d'ornement et d'alignement?
Les formulations à base de Myclobutanil, DiFenoconazole et soufre mouillable sont compatibles en mélange (jusqu'à 6%). Mettre Tigranem®/Nemador® en dernier dans la cuve.

Comment appliquer Chrysolys®/Tigrador® dans le feuillage?
Une perche télescopique a été développée dans le cadre du Programme PETAAL, permettant un apport simple et rapide des œufs de chrysopes dans le houppier jusqu'à 9m de hauteur. Au-delà, il est nécessaire d'utiliser une nacelle élévatrice.
Se renseigner auprès de votre fournisseur.
Voir § 6

11.Bibliographie

d'Aguilar J., Pralavorio R., Rabasse J. M. & Mouton R., 1977. Introduction en France du Tigre du Platane: *Corythucha ciliata* (Say).Bulletin de la Société Entomologique de France,82:2-7.

Arzone A., 1986.Preliminary reports on naturalenemies of *Corythucha ciliata* (Say) in Italy. Bulletin OILB/SROP, 9 (1):34-36.

Arzone A., Marletto O. I. O. &Tavella L., 1986.Action of pathogenic deuteromycetes against overwintering adults of *Corythucha ciliata* (Say) (Rynchota: Tingidae).Bulletin OILB/SROP,9 (1):75-86.

Balarin I. &Maceljiski M., 1986a. The results of investigation done on *Corythucha ciliata* in Yugoslavia from 1970, Bulletin OILB/SROP,9 (1):11-19.

Balarin I. & Maceljiski M., 1986b. Some new results of investigation on the biology and ecology of *Corythucha ciliata*. Bulletin OILB/SROP,9(1):48-52.

Bathon H., 1996. Impact of Entomopathogenic Nematodes on Non-target hosts, Biocontrol Science and Technology, 6:421-434.

Chaigneau A., Chauvel G. & Bouyjou B., 2002. Les insectes prédateurs du tigre du platane: inventaire et capacités prédatrices. AFPP - 6ème Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, p. 497-504.

Chalon A. 2006. Méthodes d'estimation des dégâts causés par les insectes ravageurs des graines de conifères. Le Cahier des Techniques de l'Inra, 129-134.

Chapin E., Lacordaire A. I., Priéto L. & Cazenave V., 2006. Résultats préliminaires d'une protection biologique intégrée contre le tigre du Platane: influence des pratiques culturales et essais de lutte biologique. AFPP - 1ère Conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles, 60-63.

Chapin E., Gutleben C. & Piron M., 2007. Contribution à la mise au point d'une méthode de lutte biologique contre le tigre du platane en espaces verts par le test d'auxiliaires contre les populations hivernantes de *Corythucha ciliata* en traitement des troncs et charpentières. www.plante-et-cite.fr (accès réservé aux adhérents)

Chauvel G., 1988. Le tigre, grave ravageur du platane en France, Phtyoma-La Défense des Végétaux,401:46-50.

Chauvel G., 1998. Stratégies de protection des arbres d'ornement en ville: Comment déterminer et utiliser les "seuils d'intervention", Phytoma-La Défense des Végétaux, 505:20-26.

Chiarappa L. (Ed.)., 1971. Crop Loss Assessment Methods. FAO Manual on Evaluation and Prevention of Losses by Pests, Diseases, and Weeds. Comm. Agric. Bureaux, Farnham, England. Loose-leafed.

Ehlers R.-U. & Peters A., 1995. Entomopathogenic nematodes in biological control: feasibility, perspectives, and possible risks. Biological Control: Benefits and Risks. H. M. T. Hokkanen and J. M. Lynch. Cambridge, University Press: 119-136.

Ehlers R.-U. & Hokkanen H. M. T.. 1996. Insect biocontrol with non-endemic entomopathogenic nematodes *Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.: Conclusions and recommendations of a combined OECD and COST workshop on scientific and regulatory policy issues. Biocontr. Sci. Technol., 6:295-302.

Emerit M., Bonaric J.-C.& Roudil R., 1986. Des peuplements hivernaux d'arthropodes des rhytidomes de *Platanus acerifolia* dans le Midi de la France (2ème partie), Annales de la Société d'horticulture et d'histoire naturelle de l'Hérault, 26(1-2):12-16.

Euverte G., 1981. Observations écologiques sur *Corythucha ciliata* Say (Heteroptera:Tingidae) ravageur du platane, PHM- Revue Horticole, 218:19-29.

Euverte G., 1989. Effet du mode de conduite de la plante hôte sur la dynamique des popultaions du tigre du Platane, *Corythucha ciliata* (Say) (Heteroptera: Tingidae), PHM-Revue Horticole, 296:49-54.

Fraval A., 2006. De quelques tigres. Insectes, 140:16-18.

Glazer I., 2002. Survival biology. In R. Gaugler (ed.), Entomopathogenic Nematology. CABI Publishing, Oxon, UK. p.169-187.

Gutiérrez A., Ruiz V., Molto E., Tapia G. & Tellez M.M., 2010. Development of a bio-acoustic sensor for the early detection of Red Palm Weevil (*Rhynchophorusferrugineus* Olivier), Crop Protection, 29:671-676.

Hack H., Bleiholder H., Buhr L., Meier U., Schnock-Fricke U., Weber E. &Witzenberger A., 1992. EinheitlicheCodierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono-und dikotylerPflanzen – Erweiterte BBCH-Skala, Allgemein - Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 44:265-270.

Halbert S.E. & Meeker J.R., 1998. The Sycamore Lace Bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae), Entomology Circular, Florida Dpt of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, 387, 2 p.

Herms D. A., 2004. Using degree-days and plant phenology to predict pest activity. Ch. 11 - Tactics and Tools for IPM. Ohio State University. Wooster, OH., 49-59.

Ju R.-T., Wang F. & Li B., 2011. Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*. Journal of Insect Science, 11(16), 12 p.

Kim G.-H., Choi M.-H. & Kim J.-W., 1999. Effects of Temperatures on Development and Reproduction of the Sycamore Lace Bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera, Tingidae), Korean Journal of Applied Entomology, 38(2):117-121.

Longo S., 1986. Remarks on the behaviour of *Corythucha ciliata* (Say) in Sicily,Bulletin OILB/SROP,9 (1):53-67.

Malais M. & Ravensberg W. J., 1992. Knowing and Recognizing: The Biology of GlasshousePests and Their Natural Enemies. Koppert Biological Systems, Berkel en Rodenrijs, The Netherlands.

Nisar-Syed A., Ashfaq M. & Khan S., 2005. Comparison of development and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) on different densities of two hosts (*Bemisia tabaci* and *Amrasca devastans*), Pakistan Entomologist Journal, 27(1):41-44.

Öszi B.,Ladanyi M. &Hufnagel L., 2005. Population Dynamics of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) in Hungary, Applied Ecology and Environmental Research, 4(1):135-150.

Ozino O. I. and G. Zeppa., 1988. Effect of entomopathogenic fungus inoculum on the control of *Corythychaciliata* Say adults wintering on plane-trees of city groves, G.Batteriol.Virol.Immunol., 81:32-39.

Pavlyushin V. A., 1996. Effect of entomopathogenic fungi on entomophagous arthropods, Bulletin OILB-SROP,19(9):247-249.

Pons X. & Lumbierres B., 2009. New aphid recently affecting green urban areas of Catalonia. AFPP – 1ère Conférence sur l'Entretien des Espaces Verts, Jardins, Gazons, Forêts, Zones Aquatiques et Autres Zones Non Agricoles, 28-29 octobre 2009, Angers, France, pp. 38-45.

Rojht H., Kac M. &Trdan S., 2009a. Nontarget Effect of Entomopathogenic Nematodes on Larvae of Twospotted Lady Beetle (Coleoptera: Cocinellidae) and Green Lacewing (Neuroptera: Chrysopidae) Under Laboratory Conditions, Journal of Economical Entomology, 102(4):1440-1443.

Rojht H., Budija F. & Trdan S., 2009b. Effect of temperature on cannibalism rate between green lacewings larvae (*Chrysoperla carnea* [Stephens], Neuroptera, Chrysopidae), Actaagriculturae Slovenica, 93(1):5-9.

Schaffer B., Peña J.E., Coils A.M. & Hunsberger A., 1997. Citrus leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) in lime: Assessment of leaf damage and effects on photosynthesis, Crop Protection, 16(4):337-343.

Sidor C., 1986. Microorganisms pathogenic for insects found in the sycamore lace bug (*Corythucha ciliata*), Bulletin OILB/SROP,9(1):72-74.

Strickland A.H., 1961. Sampling crop pests and their hosts. Annual Review Entomology, 6:201-220.

Tarasco E. &Triggiani O., 2006. Evaluation and comparison of entomopathogenic nematodes and fungi to control *Corythucha ciliata* Say (Rhynchota, Tingidae), Redia, 89:51-54.

Zangheri S., 1986. Synthèses des observations sur la biologie de *Corythucha ciliata* Say dans la Vénétie., Bulletin OILB/SROP, 9(1):20-33.