



Ctifl



Les services rendus par les cultures fruitières

Chapitre 4.3 ***Le service de régulation des ravageurs et*** ***les impacts de l'utilisation de pesticides*** ***sur la faune utile***

Extrait du rapport rédigé par Marie-Charlotte Bopp

Septembre 2019

Coordination :

- Dominique Grasselly (CTIFL)
- Françoise Lescourret (INRA)
- Sylvie Colleu (INRA)

Action portée par le GIS Fruits, sur ressources CTIFL et INRA

1.1 Le service de régulation des ravageurs et les impacts de l'utilisation de pesticides sur la faune utile

Les spécificités de l'arboriculture posent des défis particuliers en termes de protection contre les bioagresseurs. Le niveau élevé de l'exigence de qualité des produits en est une. Les fruits sont des produits consommés frais et peu de défauts sont tolérés par les cahiers des charges ; or plusieurs de ces défauts sont causés par les bioagresseurs. Le caractère pérenne des vergers en est une autre. L'absence de rotation contribue à de fortes pressions de ravageurs qui peuvent se maintenir d'une année sur l'autre (Blocaille et al., 2017; Demestihias, 2017; Simon et al., 2010). De plus, les arbres fruitiers étant des clones génétiques, l'effet sélection peut être fort (Sylvaine Simon (INRA), communication personnelle). Les bioagresseurs des vergers comprennent les ravageurs (bioagresseurs animaux) et les maladies fongiques, bactériennes ou virales. Dans ce rapport, nous considérons seulement les arthropodes ravageurs car la régulation naturelle des ravageurs est plus étudiée et plus connue en arboriculture.

1.1.1 Le service de régulation des ravageurs bénéficie directement aux producteurs via la réduction de pertes de récolte et indirectement à la société via la diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires

Il est important de noter que la régulation des ravageurs est une notion encore ambiguë (Sylvaine Simon (INRA), communication personnelle). Elle peut être définie de différentes manières : il peut s'agir des processus de régulation comme la prédation et le parasitisme ou être définie comme le niveau de prédation et de parasitisme qui permet un seuil de dégât acceptable. Le **service écosystémique de régulation naturelle des arthropodes ravageurs des cultures fruitières** est un service rendu par l'agroécosystème du verger **aux arboriculteurs** via **la réduction des dégâts des ravageurs et in fine des pertes de récolte** (Therond et al., 2017). Ce service permet également de réduire le recours aux produits phytosanitaires, ce qui constitue un avantage direct pour l'agriculteur et pour la société du fait des surcoûts de production et des pollutions potentielles évités (Therond et al., 2017). De plus, le service de régulation des ravageurs contribue à l'équilibre des populations naturelles et donc au maintien de la biodiversité.

Deux grands types de régulation existent :

- **Bottom-up** : régulation de l'activité des arthropodes ravageurs par la végétation
- **Top-down** : régulation des arthropodes ravageurs par les ennemis naturels (processus de prédation et de parasitisme)

Dans ce rapport, par manque de temps, seul la régulation Top-down sera évoquée car elle est beaucoup plus documentée.

A noter que le **service de régulation comprend la lutte biologique par conservation** (aménagement du milieu pour optimiser les régulations naturelles) mais **ce service exclut la lutte biologique par acclimatation** (e.g. introduction d'un auxiliaire exotique) et **par augmentation** (e.g. élevage et lâcher d'une espèce auxiliaire dans les vergers).

1.1.2 Les facteurs qui influent le service de régulation des ravageurs

Divers facteurs influent sur le service de régulation des ravageurs (Therond et al., 2017) :

- L'abondance et la diversité des ennemis naturels présents en verger

La relation positive entre le nombre d'espèces d'ennemis naturels et la régulation naturelle des insectes phytophages a été démontrée dans plusieurs études (Letourneau et al., 2009). Cependant, cette relation n'est pas démontrée systématiquement dans l'ensemble des études sur le contrôle biologique (Mesmin, 2018).

- La diversité végétale cultivée et associée au sein de la parcelle de verger

La diversité végétale permet d'augmenter le niveau du service de régulation des ravageurs en vergers (Simon et al., 2010). Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer cette observation (Therond et al., 2017). La première est que la diversité végétale permet d'augmenter l'abondance et la diversité des ennemis naturels grâce à une plus grande disponibilité de ressources alimentaires et d'hôtes alternatifs. De plus, un milieu à forte diversité végétale est associé à une plus grande complexité du milieu qui peut rendre plus difficile la localisation de l'hôte par les ravageurs.

- La complexité du paysage et la présence d'habitats semi-naturels

Ces habitats fournissent des ressources et des fonctions clés (nourritures, sites d'hivernages, hôtes alternatifs) (Therond et al., 2017). **Il a été démontré que 63% des espèces vivants dans les zones agricoles dépendent des habitats semi-naturels** (Ricard et al., 2012). En grandes cultures, des méta-analyses ont montré qu'une augmentation d'habitats semi-naturels serait associée à une augmentation de l'abondance, de la diversité et du niveau de régulation globale des insectes ravageurs (Therond et al., 2017). Une étude a montré qu'une simplification du paysage en grandes cultures conduisait à une diminution de 46% du potentiel de régulation naturelle (Rusch et al., 2016).

Cependant, de nombreux travaux illustrent les possibles effets contradictoires entre la quantité d'habitats semi-naturels présents dans les paysages et la régulation des ravageurs.

1.1.3 Les méthodes d'évaluation de la régulation des ravageurs

Le Tableau 51 présente les différentes méthodes d'évaluation de la régulation des ravageurs, ainsi que leurs avantages et principales limites. A l'heure actuelle, **il n'existe pas d'indicateurs satisfaisants qui évaluent directement le potentiel de régulation des bioagresseurs** (Mesmin, 2018).

De nombreuses études suivent les populations d'ennemis naturels d'une part et les populations de ravageurs d'autres part (Mesmin, 2018). Cependant, cette méthode ne quantifie pas le processus de régulation effectif à savoir le nombre de ravageurs effectivement éliminés par les ennemis naturels (les autres causes de disparition des ravageurs, comme les stress physiques, ne sont pas distinguées de l'action des ennemis).

Tableau 51 Les différentes méthodes d'évaluation du service écosystémique de régulation naturelle des ravageurs de vergers. Tableau construit sur la base de deux sources : Therond et al. (2017) et Mesmin (2018)

Méthode d'évaluation du SE	Avantages	Principales limites
Suivi des populations d'ennemis naturels et de ravageurs en conditions naturelles	Conditions naturelles	Méthode indirecte : ne mesure pas le processus de régulation en lui-même Intègre d'autres effets (climatiques par exemple)
Mesure des capacités de prédation et de	Conditions contrôlées : mesure le processus de régulation relié	Quantifie le processus de régulation mais pas le service de régulation en lui-même

parasitisme (laboratoire)	uniquement à la prédation ou au parasitisme	Ne permet pas de prédire le comportement du prédateur en présence de diverses proies en conditions naturelles
Mesure du taux de prédation (carte de prédation)	Méthode directe La réduction du nombre de proies est uniquement due à la prédation (pas d'autres effets possibles)	Conditions artificialisées : pas d'interaction proies-prédateurs, positionnement et densité des proies non réalistes Mesure un SE potentiel plutôt qu'un SE réel du fait des conditions non naturelles
Mesure des taux de prédation et de parasitisme (méthode d'exclusion)	Méthode directe La réduction du nombre de proies est principalement due à la présence de l'ennemi naturel (peu d'autres effets possibles)	Mesure du SE sur un pas de temps très court. Les interactions avec les autres ennemis sont négligées
Mesure des dégâts et pertes de rendement	Mesure le niveau de SE effectif relié aux avantages que le SE rend aux producteurs Intègre l'ensemble des effets des différents ravageurs et la dynamique temporelle du service	Méthode indirecte Doit se faire en conditions non traitées ou avec de (très) faibles intrants phytosanitaires (sinon la population de ravageurs est biaisée et fortement réduite) Intègre d'autres effets comme les pratiques culturales de l'agriculteur et les conditions pédoclimatiques (rend les comparaisons entre sites difficiles)

Les indicateurs qui résultent la méthode de suivi des populations en conditions naturelles sont principalement des abondances, des diversités d'auxiliaires et de ravageurs, des ratios auxiliaires/ravageurs.

En conditions de laboratoire, de nombreuses études se sont penchées sur l'évaluation du nombre de proies consommées par prédateur (Garcin et al., 2008; Garcin and Mouton, 2006). Ces mesures permettent d'identifier le potentiel de régulation de chaque prédateur mais ne permettent pas d'approcher de manière satisfaisante le service de régulation en conditions naturelles (Mesmin, 2018).

En conditions naturelles, les cartes de prédation sont utilisées afin de quantifier le nombre de ravageurs consommés par les prédateurs (définis comme le processus de régulation). Les cartes de prédation sont des petites surfaces de papier abrasif sur lesquelles sont collées des proies mortes. Un certain nombre de proies sont introduites dans le milieu pendant un certain temps. A la fin de l'expérience, les proies restantes sont comptées et le service de régulation est déduit de la différence de proies entre le début et la fin de l'expérience. Cette méthode présente cependant plusieurs limites : les interactions proies-prédateurs sont biaisées par le collage de proies mortes, le positionnement et la densité des proies est peu réaliste par rapport à leur localisation en milieu naturel (Mesmin, 2018; Therond et al., 2017). De plus, les organismes responsables de la disparition des proies ne sont pas connus. De ce fait, l'interprétation des résultats demeure délicate et il est difficile d'établir un référentiel permettant la comparaison entre études.

Les méthodes d'exclusion consistent à comparer des modalités expérimentales dans lesquelles les ennemis naturels sont retirés et un témoin en condition naturelle (Ricard et al., 2012). L'exclusion peut

être obtenue par des méthodes physiques (cages, filets à différentes tailles de mailles) (Mesmin, 2018). Leur réalisation se heurte à des contraintes pratiques parfois difficiles notamment pour s'assurer de l'absence d'emprisonnement ou de l'imperméabilité de l'enceinte au(x) prédateur(s) exclus.

Les mesures de dégâts et de rendements présentent l'avantage de mesurer le niveau effectif du service de régulation, directement relié à l'avantage fourni aux producteurs. Cependant, le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle intègre d'autres effets comme les pratiques culturales ou des stress reliés aux conditions pédoclimatiques. De plus, une autre contrainte est la nécessité de travailler dans des vergers non traités.

Lorsque l'on souhaite évaluer la régulation naturelle, il est important de combiner plusieurs méthodes (e.g. un suivi de populations de ravageurs et d'auxiliaires avec des cartes de prédation) (Sylvaine Simon (INRA), communication personnelle). De plus, afin de vérifier que les niveaux de régulation sont acceptables, la mesure des dégâts sur les fruits semble essentielle d'un point de vue agronomique.

1.1.4 Les principaux ravageurs des cultures fruitières : cycle de développement, dégâts et ennemis naturels présents en vergers

1.1.4.1 Les principaux ravageurs des espèces fruitières

Les principaux ravageurs des vergers sont les tordeuses (dont le carpocapse des pommiers), les pucerons (puceron cendré, puceron vert, puceron lanigère) affaiblissant les pousses et pouvant transmettre des virus, et les mouches des fruits qui blessent les fruits, favorisant l'entrée de champignons (Blocaille et al., 2017). Les ravageurs et leurs ennemis naturels sont recensés dans la base ABBA (Auxiliaires, BioAgresseurs, Accidents physiologiques et climatiques) mise en place sur le portail EcophytoPIC (EcophytoPIC, 2018).

L'annexe 15 présente les principaux ravageurs des cultures fruitières, le type de dégât occasionné et les ennemis naturellement présents en verger. Ce tableau a été construit sur la base de l'ouvrage « Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière » rédigé par une équipe du CTIFL (Ricard et al., 2012).

En verger, de nombreuses études ont montré la grande diversité des ennemis naturels régulant les bioagresseurs : mammifères, oiseaux, araignées, acariens prédateurs, hyménoptères parasitoïdes etc. (Ricard et al., 2012).

1.1.4.2 Localisation des principales familles d'auxiliaires en verger

Pendant 3 ans, la diversité et l'abondance relative de la communauté des auxiliaires ont été observées sur 3 vergers de pommiers à l'INRA de Gothenon (Simon et al., 2007).

Les abondances relatives des auxiliaires identifiés sont présentées dans le Tableau 52. La composition des communautés d'auxiliaires diffère selon leurs localisations. Dans la strate arborée, **les hyménoptères parasitoïdes (principalement *Chalcidoidea Pteromalidae*), les punaises prédatrices (*Anthocoridae*), les neuroptères et les coléoptères (*Coccinellidae*) représentent 75% des auxiliaires présents dans cette strate. Dans la strate herbacée, les hyménoptères parasitoïdes (*Braconidae*, *Scelionidae* et *Encyrtidae*), les thrips prédateurs et les acariens prédateurs (*Anystidae*) représentent près de 80% des auxiliaires présents. Les hyménoptères prédateurs sont l'ordre d'insectes le plus présent relativement en vergers de pommiers (38% dans la strate arborée et 58% dans la strate herbacée).**

Tableau 52 Diversité et abondance relative des communautés d'auxiliaires observés sur 3 vergers de pommiers pendant 3 ans (INRA de Gothenon). Source : Simon et al. (2007)

Localisation	Auxiliaires identifiés	Abondance relative en verger de pommiers
Strate arborée	Hyménoptères parasitoïdes 	38%
	Punaises prédatrices 	15%
	Neuroptères 	11%
	Coléoptères 	10%
	Araignées 	9%
	Forficules	8%

		
	<p>Diptères prédateurs</p> 	6%
	<p>Acariens prédateurs</p> 	2%
	<p>Thrips prédateurs</p> 	1%
Strate herbacée	<p>Hyménoptères parasitoïdes</p> 	58%
	<p>Thrips prédateurs</p> 	13%
	<p>Acariens prédateurs</p>	8%

		
	Araignées	
		8%
	Punaises prédatrices	
		5%
	Neuroptères	
		3%

1.1.4.3 Des exemples de cycles biologiques de grands ravageurs des espèces fruitières et de régulation par les ennemis naturels aux différents stades de développement

Les Figures 45, 47 et 48 présentent la diversité des ennemis naturels régulant les 3 principaux ravageurs des fruits tout le long de leurs cycles de développement : le carpocapse (Figure 45), un puceron holocyclique (Figure 47) et une mouche des fruits (Figure 48).

1.1.4.3.1 Le carpocapse de la pomme, de la poire et de la noix

Le carpocapse de la pomme, de la poire et de la noix est une tordeuse qui s'attaque aux fruits en cours de saison. C'est un ravageur de première importance de par l'ampleur des dégâts causés, qui peuvent aller de 50% à 90% de la récolte sans pratiques de protection (ACTA, 2016; Chambre d'Agriculture du Nord-Pas-de-Calais, 2015; Demestihis, 2017). Le cycle du carpocapse est représenté par la Figure 45. A la fin du printemps, les adultes émergent et se reproduisent. Les femelles pondent sur les feuilles, les tiges ou l'œil des fleurs fécondées. Les œufs éclosent à la fin du mois de mai et les larves commencent à pénétrer les fruits après quelques jours. Les chenilles creusent des galeries en spirale à l'intérieur du fruit pour atteindre les pépins qu'elles consomment. Les fruits attaqués présentent des traces de piqûre qui les rendent impropres à la commercialisation. Ils finissent pas tomber naturellement (Figure 44). Les larves sortent des fruits au bout d'un mois et cherchent un abri (sol ou tronc) pour tisser un cocon. Chaque année, de 1 à 4 générations de carpocapse peuvent se développer en verger (Ricard et al., 2012).



Figure 1 Symptômes causés par l'attaque du carpocapse sur la pomme. Sur la figure de gauche, les points d'entrée des chenilles sont visibles de l'extérieur de la pomme. La figure de droite présente une mine de chenille atteignant le centre du fruit. Source : ephytia.inra.fr

Les carpocapses peuvent être régulés par une grande diversité d'auxiliaires tout au long de leur cycle (Figure 45). Parmi les ennemis naturels des carpocapses, peu sont des spécialistes (Ricard et al., 2012). Les vertébrés régulent essentiellement le stade adulte du carpocapse (e.g. les chauves-souris). Les œufs de carpocapse peuvent être consommés par les punaises, les araignées et parasités par certains parasitoïdes. A la fin de l'été, les prédateurs généralistes du sol s'attaquent assez fortement aux larves diapausantes (Figure 45). Les oiseaux peuvent également contribuer à leur régulation à cette période (Ricard et al., 2012).

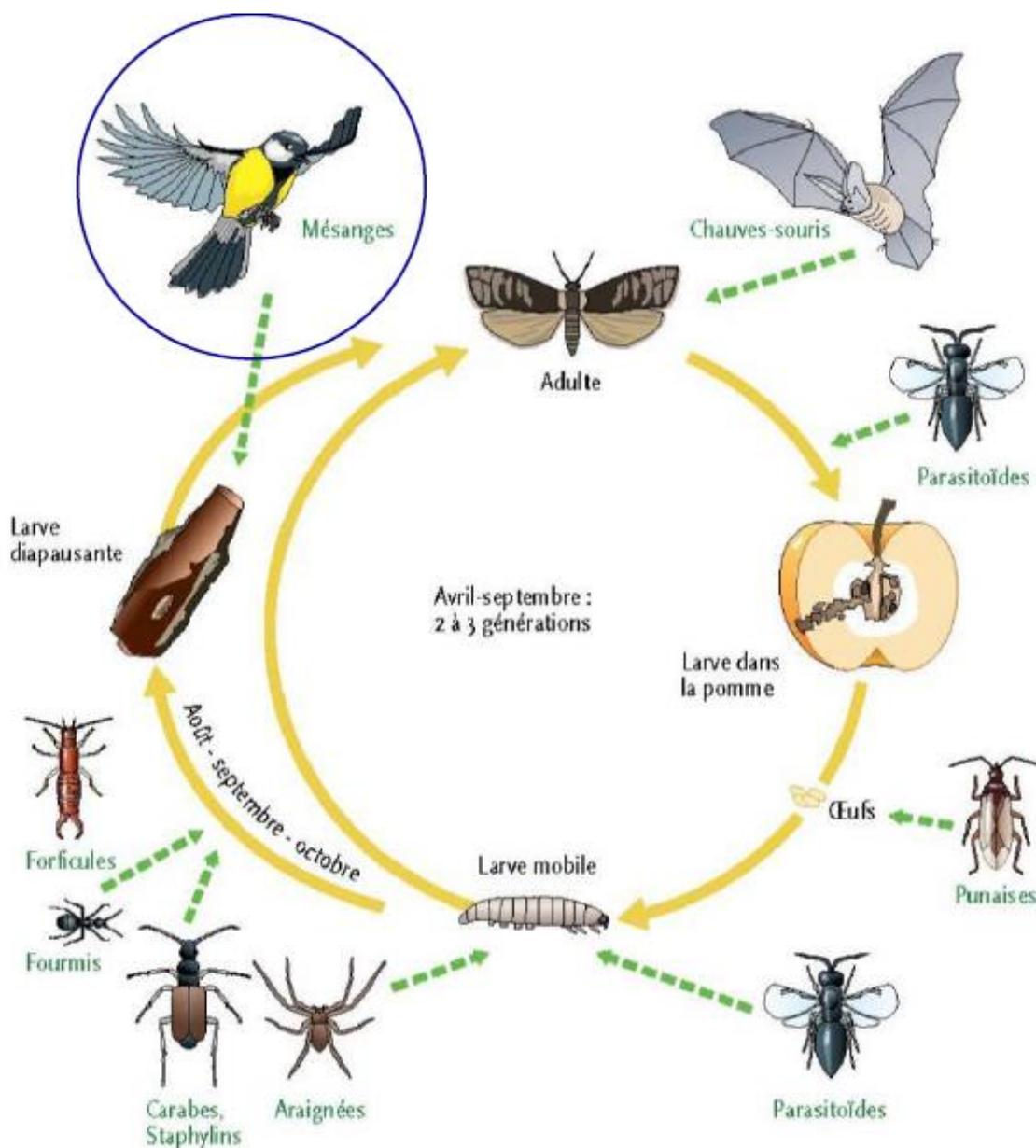


Figure 2 Cycle du carpocapse et régulation naturelle par les auxiliaires tout le long de ce cycle. Dessin par Michel Jay. Source : Ricard et al. (2012)

La Figure 46 présente la proportion de prédateurs présents en vergers de pommiers ayant consommé des œufs de carpocapses (Franck, 2018). Cette figure illustre la variabilité des prédateurs de carpocapses au printemps : punaises, chrysopes, forficules, araignées, coccinelles... Pour le carpocapse, le stade œuf est plus ciblé pour éviter des dommages causés aux fruits : le parasitisme et la prédation des œufs peuvent contribuer au contrôle biologique (Monteiro et al., 2013). Parmi les prédateurs, les forficules sont particulièrement efficaces dans les habitats peu perturbés.

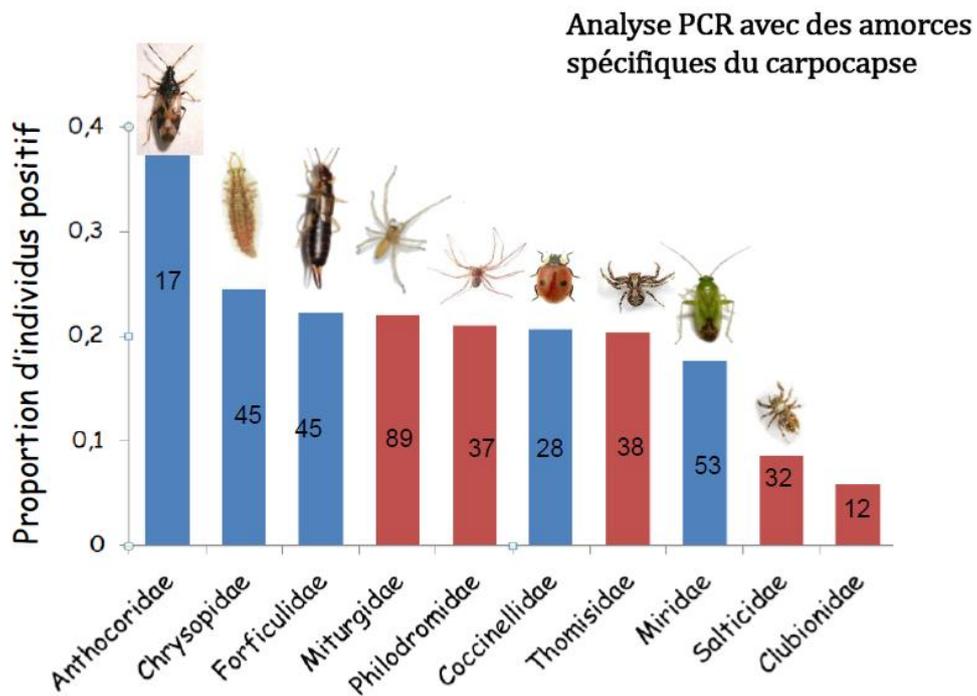


Figure 3 Proportion de prédateurs présents en vergers de pommiers ayant consommé des œufs de carpocapse.
 Source : Franck et al. (2018)

1.1.4.3.2 L'exemple des pucerons holocycliques (e.g. le puceron cendré *Dysaphis plantaginea*)

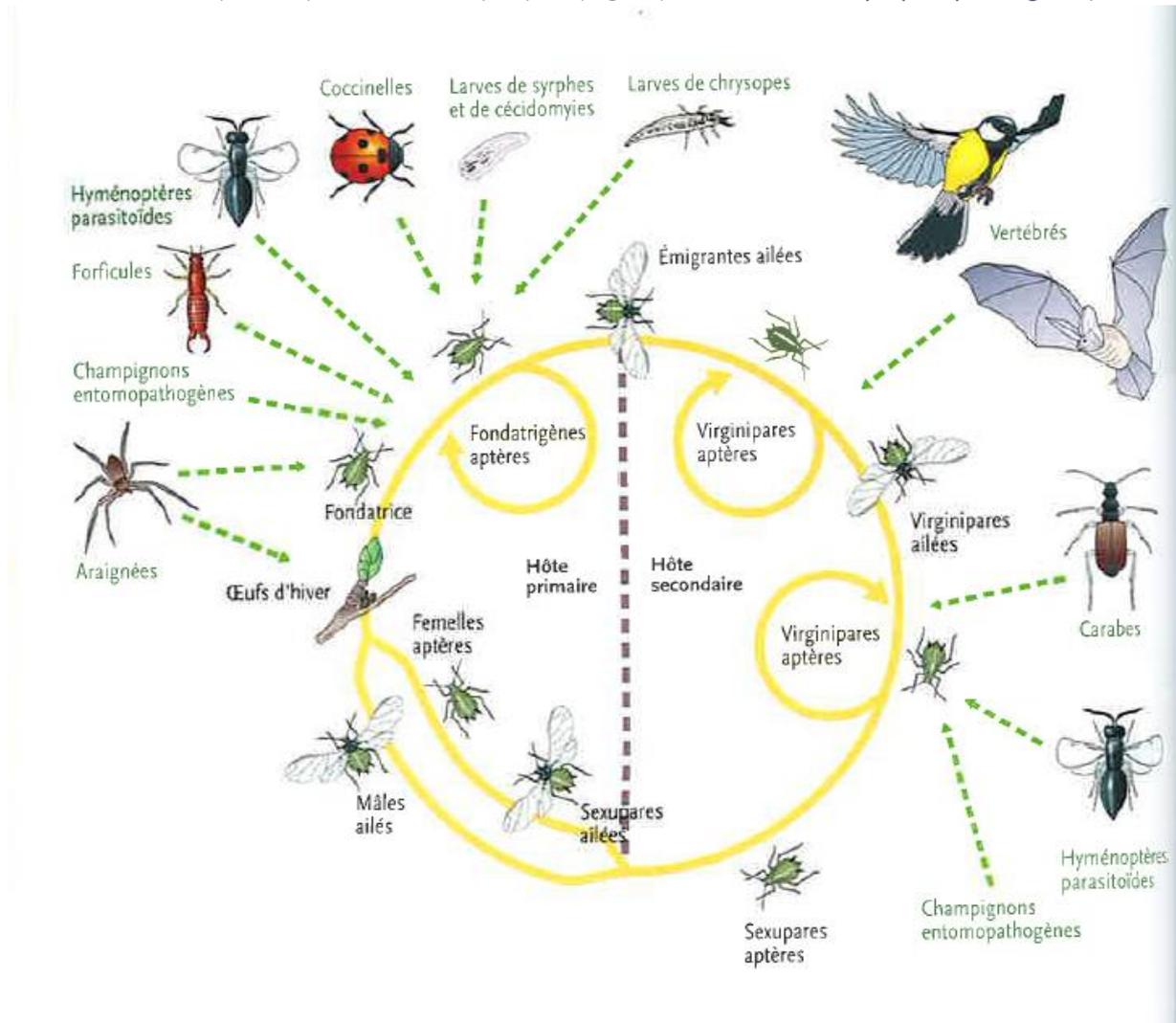


Figure 4 Cycle biologique d'un puceron holocycle dioécique et action possible des auxiliaires. Dessin par Michel Jay. Source : Ricard et al. (2012)

En arboriculture fruitière, plusieurs dizaines d'espèces de pucerons sont nuisibles (Ricard et al., 2012). Les pucerons se nourrissent de sève qu'ils prélèvent en transperçant les parois végétales à l'aide de leurs stylets. L'hôte est affaibli par ce prélèvement de grande quantité et peut réagir à la salive des pucerons sécrétée (malformation des organes). Plus indirectement, le miellat sécrété par les pucerons peut entraîner le développement de fumagine, moisissure empêchant la photosynthèse des feuilles. Enfin, certains pucerons comme le puceron jaune du fraisier peuvent transmettre des virus (e.g. jaunisse du fraisier).

La majorité des pucerons ravageurs des espèces fruitières sont des espèces holocycliques dioéciques (e.g. le puceron cendré *Dysaphis plantaginea*) qui effectuent une reproduction sexuée sur un hôte primaire (e.g. le pommier) et une reproduction parthénogénétique sur un hôte secondaire (e.g. le plantain) (Figure 47). Les pucerons émergent au printemps et les fondatrices engendrent des pucerons non ailés par parthénogénèse. A la fin du printemps, des individus ailés apparaissent et assurent la migration vers leurs hôtes secondaires. A la fin de l'été, des mâles ailés apparaissent et migrent vers leurs hôtes primaires pour féconder les femelles. Les femelles pondent les œufs dans les arbres qui y passeront l'hiver avant d'éclore.

Les pucerons constituent des populations abondantes, pouvant représenter près de 97% du nombre total d'individus d'arthropodes présents dans des vergers de pommiers (Mathews et al., 2002).

Une grande diversité d'auxiliaires peut consommer les pucerons à différents stades de développement. Les arthropodes prédateurs consomment tous les stades (œufs, larves, adultes) sur leurs hôtes primaires et leurs hôtes secondaires. Les arthropodes du sol (carabes, araignées) peuvent se nourrir des pucerons lorsqu'ils sont au sol sur leurs hôtes secondaires. Les parasitoïdes et les champignons entomopathogènes s'attaquent aux individus non ailés quand ils sont sur leurs hôtes secondaires. Les vertébrés (oiseaux insectivores et chauves-souris) peuvent également consommer ces individus. Tous ces auxiliaires sont **capables de bien réguler certaines espèces de pucerons : les œufs d'hiver sont par exemple consommés et parasités à 90% en moyenne** (Ricard et al., 2012). Cette régulation peut être cependant jugée insuffisante d'un point de vue économique, selon le niveau de dégâts toléré par le producteur.

1.1.4.3.3 Les mouches des fruits

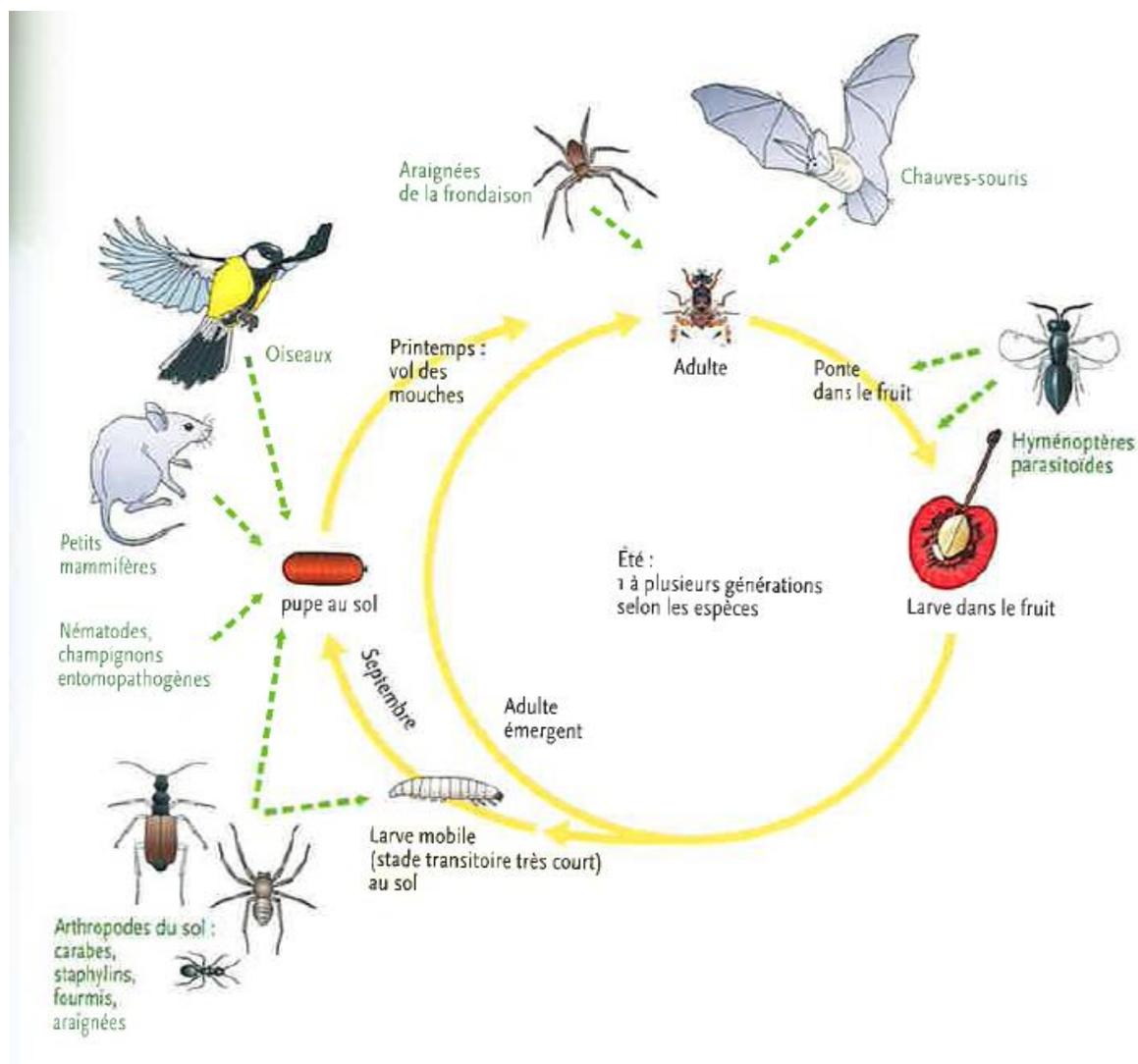


Figure 5 Cycle général d'une « mouche des fruits » et action possible des auxiliaires. Dessin par Michel Jay. Source : Ricard et al. (2012)

Le stade larvaire des mouches des fruits crée les principaux dégâts sur les fruits. Certaines mouches sont spécifiques à certaines espèces fruitières (mouche de la cerise, de l'olive) où elles constituent des

ravageurs de première importance. D'autres mouches sont généralistes comme la mouche méditerranéenne présente sur agrumes, pomme, pêche, abricot, prune....

Le principal dégât lié aux mouches est la présence d'asticots dans les fruits. Les fruits sont mûres plus rapidement et peuvent chuter avant la récolte. Le brunissement et la pourriture sont favorisés.

Les mouches émergent au printemps et s'accouplent rapidement. Les femelles pondent leurs œufs dans les fruits, au sein desquels les larves se développent. Les larves peuvent faire leur nymphose dans le fruit lui-même ou au sol où elles passent l'hiver.

Les mouches peuvent être régulées par une grande variabilité d'ennemis naturels (Figure 48). Du printemps jusqu'au début de l'automne, les adultes peuvent être parasités par des hyménoptères. En hiver, les pupes au sol peuvent être attaquées par plusieurs espèces de prédateurs généralistes (carabes, staphylins, araignées et fourmis). Les pupes peuvent également être consommées par des petits mammifères et des oiseaux (jusqu'à 70% de mortalité des pupes sur les mouches de l'olive (Ricard et al., 2012)).

La prolifération d'espèces invasives comme *Drosophila suzukii*, ravageur d'origine japonaise qui s'attaque à une vaste gamme de fruits (petits fruits, pêches, abricots...) montre bien l'importance de la régulation naturellement présente en verger. En effet, cette espèce invasive a été introduite accidentellement en Europe sans son cortège de bioagresseurs naturels, qui la régule au Japon. Ainsi, les solutions de biocontrôle consistent à collecter des ennemis naturels efficaces dans le pays d'origine du ravageur et à les introduire à leur tour dans les vergers.

1.1.5 Quantification du niveau de régulation naturelle des ravageurs en verger : l'exemple du carpocapse de la pomme, de la poire et de la noix

La quantification du service de régulation de l'ensemble des ennemis naturels et sur l'ensemble des ravageurs n'est pas possible. Nous avons donc décidé de prendre un exemple de ravageur et de reporter les travaux scientifiques ayant visé à quantifier la régulation naturelle. Notre choix a porté sur le carpocapse de la pomme, un ravageur majeur des vergers de pommiers. Il est également présent en vergers de poiriers et de noyers (cultures ayant les plus grandes surfaces en France).

Le cycle du carpocapse ainsi que la régulation par divers ennemis naturels ont été détaillés dans le paragraphe 1.1.4.3.1. Ci-dessous, nous synthétisons les mesures de taux de régulation des carpocapses par ses principaux prédateurs.

- Les oiseaux insectivores



Figure 6 Mésange charbonnière. Source : luberon.fr

Les oiseaux sont les prédateurs principaux des carpocapses. Les passereaux sont considérés comme les meilleurs prédateurs oiseaux (taux de prédation compris entre 50 et 95%) dans les vergers non traités. En particulier, les mésanges charbonnières (Figure 49) peuvent réduire jusqu'à 50% des populations de carpocapse (Ricard et al., 2012). Une étude indique que sur 100 larves de carpocapses quittant les fruits, **47 sont consommées par les mésanges, 9 sont tuées par un champignons pathogène et moins d'une dizaine sont prises par les coléoptères prédateurs** (Glen and Milsom, 1978). Le Tableau 53 présente quelques études qui quantifient les taux de prédation d'oiseaux dans les vergers selon la revue de Molls&Visser (2002). **La prédation des carpocapses par les oiseaux peut varier de 15% à 84% (mesures issues de la bibliographie utilisant la méthode des cartes de prédation). Les dégâts peuvent être réduits de 6% de fruits touchés à 3%, ce qui correspond à une augmentation du rendement des arbres fruitiers de 4,7 kg/arbre à 7,8 kg/arbre** (Mols and Visser, 2002; Ricard et al., 2012).

Tableau 1 Quelques exemples d'études qui quantifient les taux de prédation d'oiseaux dans des vergers. Source : Mols&Visser (2002)

Harmful insect	Bird species	Measured effect	Authors
Codling moth <i>Cydia pomonella</i> in apple orchards	Two species of woodpeckers <i>Dendrocopos</i> spp.	- Removal of more than 50% of overwintering codling moth larvae	MacLellan (1958)
Codling moth <i>Cydia pomonella</i> in apple orchards	Great tits <i>Parus major</i> , blue tits <i>Parus caeruleus</i> , tree-creepers <i>Certhia familiaris</i> , woodpeckers <i>Dendrocopos</i> spp. and nut-hatches <i>Sitta europea</i>	- Removal of 94-99% of overwintering codling moth larvae - The more larvae the greater the proportional reduction	Solomon <i>et al.</i> (1976)
Codling moth <i>Cydia pomonella</i> in apple orchards	Great tits <i>Parus major</i> and blue tits <i>Parus caeruleus</i>	- Removal of 47% of the initial number of overwintering codling moth larvae - Birds annually reduce the population to very low levels	Glen & Milsom (1978)
Codling moth <i>Cydia pomonella</i> in apple orchards	Mainly blue tits <i>Parus caeruleus</i> and some great tits <i>Parus major</i>	- Removal of 95% of the initial density of overwintering codling moth larvae - The more larvae the greater the proportional reduction, but at a declining rate	Solomon & Glen (1979)
Codling moth <i>Cydia pomonella</i> in apple orchards Codling moth <i>Cydia pomonella</i> in apple orchards	Silvereyes <i>Zosterops lateralis</i> Mainly great tits <i>Parus major</i>	- The more larvae, the higher the consumption rates - Removal of 46-99% of overwintering codling moth larvae - The more larvae the greater the proportional reduction	Wearing & McCarthy (1992) Zajac (1979)
Pear psyllas <i>Cacopsylla</i> spp. in pear orchards	Oregon juncos <i>Junco hyemalis</i>	- Sizeable reduction but may be relatively insignificant due to the small segment of psylla population overwintering in orchard duff	Fye (1982)
European corn borer <i>Ostrinia nubilalis</i> in fields of maize	American crows <i>Corvus brachyrhynchos</i>	- Survival of overwintering larvae was c. 50% less on uncaged than on caged plants	Quiring & Timmins (1988)
Banded fruit weevil <i>Phlyctinus callosus</i> in apple orchards	Helmeted guineafowls <i>Numida meleagris</i>	- No reduction of weevil numbers by guineafowl	Witt, Little & Crowe (1995)

- Les chauves-souris

37 espèces de chauves-souris sont présentes en France et la grande majorité de ces espèces sont forestières. Toutes les espèces sont protégées. Des travaux ont été menés sur leur présence en verger et leur rôle de prédateur de ravageurs de certaines espèces fruitières. 19 espèces ont été enregistrées dans le Gard soit près de la moitié de la diversité française. Cependant, 1 à 3 espèces composent l'essentiel des effectifs à savoir les pipistrelles communes, de Khul et pygmées. Ces chauves-souris ont la particularité de chasser le long des lisières, aux abords des vergers.

Les chauves-souris consomment principalement des diptères et des lépidoptères, très abondants en verger. Si certaines chauves-souris sont spécialistes, elles demeurent opportunistes et peuvent consommer une grande variété de familles d'insectes. 23 familles d'insectes ont été détectées et identifiées dans les crottes de la Pipistrelle commune et 137 espèces sont consommées par l'Oreillard gris. Une pipistrelle commune peut consommer plus de 3000 insectes par nuit avec un taux de capture maximal de 7 à 10 insectes par minute.

Les chauves-souris consomment notamment les carpocapses adultes (5 à 21% de crottes positives relevant la présence de carpocapse) (Boreau de Roince, 2010; Ricard et al., 2012) mais elles peuvent consommer d'autres ravageurs comme la mouche de l'olive ou la tordeuse orientale du pêcher ([Tableau 54](#)).

Tableau 54 Pourcentage de crottes positives (contenant des ravageurs des vergers) de chauves-souris au cours de divers prélèvements par des chercheurs du CTIFL. Source : (Garcin et al., 2016)

Espèce fruitière	Lieu	Mois année	Crottes analysées (n :1449)	Pourcentage de crottes positives		
				Mouche de l'olive (<i>Bactrocera oleae</i>)	Carpocapse de la pomme (<i>Cydia pomonella</i>)	Tordeuse orientale du pêcher (<i>Grapholita molesta</i>)
Olivier	Bellegarde (Gard)	Septembre 2005	12	33%		
Olivier	Bellegarde (Gard)	Octobre 2005	12	17%		
Pommier	Avignon (Vaucluse)	Mai- Octobre 2009	86		7%	15 à 21%
Pommier	Avignon (Vaucluse)	Mai-Juin 2013	93		5 à 14%	
Pommier	Avignon (Vaucluse) Bellegarde (Gard)	Avril-Juin 2014	87		15 à 21%	12 à 14%
Pommier	Bellegarde (Gard)	Avril-Juin 2014	500			2 à 18%
Pommier	Bellegarde, Beaucaire, St Gilles, Garons (Gard)	Juin 2016	507		2 à 10%	1%
Pommier	Volx (Hautes Alpes)		48		12,5%	2%

- Araignées

En verger plus que dans d'autres cultures, les araignées sont des prédateurs particulièrement présents : jusqu'à 77 espèces peuvent être retrouvées selon les situations géographiques (Ricard et al., 2012). Ces prédateurs ont la particularité d'être toujours actifs en période hivernale. Certaines espèces d'araignées vivent dans la strate arborée et d'autres dans la strate herbacée avec une répartition globale des espèces à 50/50. Pour le carpocapse, **la famille des Clubinidae (Figure 50) a permis une réduction des dégâts de plusieurs tordeuses dont le carpocapse de l'ordre de 25%.**



Figure 7 Araignées appartenant à la famille des clubionidae. Source : Wikipedia.fr

- Les carabes

L'abondance et la diversité des carabes ont été déterminées dans une large gamme de vergers par piégeage par pots Barber (pose pendant 5 à 7 jours sur 3 à 9 parcelles) (Garcin et al., 2016). 150 espèces de carabes ont été identifiées sur l'ensemble des échantillonnages de l'étude. Les carabes sont les arthropodes du sol les plus abondants dans les vergers avec les araignées et les staphylins (Garcin et al. 2016). Plus de 1000 espèces ont été identifiées en France. Les carabes sont prédateurs à l'état larvaire ainsi qu'à l'état adulte. Les adultes ont cependant un régime alimentaire moins carnivore que les larves. Les carabes, du fait de leur place centrale dans la chaîne alimentaire, contribuent à la préservation d'autres espèces qui les consomment (oiseaux, petits mammifères). **Des méthodes d'exclusion ont montré que les carabes pouvaient réguler les larves diapausantes de carpocapse avec des taux allant de 1 à 9%** (Ricard et al., 2011).

- Les parasitoïdes

Les parasitoïdes sont des organismes dont les larves se développent dans ou à proximité d'un autre organisme hôte, qui s'en nourrissent et qui finissent par le tuer. Si les hyménoptères parasitoïdes sont parmi les premiers auxiliaires présents en verger, de faibles taux de parasitisme ont été observés dans des vergers de pommiers du Sud Est de la France. Sur 79 vergers étudiés, seulement 15 à 20% comptaient la présence de parasitisme (Ricard et al., 2012). **De 2 à 6% des œufs de carpocapses étaient parasités en vergers de pommiers** (2% en verger conventionnel et 6% en verger biologique) (Ricard et al., 2012).

Le Tableau 55 présente des exemples de mesures de taux de prédation effectuées sur la base de différentes méthodes pour plusieurs prédateurs du carpocapse.

Tableau 55 Quelques exemples de quantification des taux de régulations des carpocapses en vergers via diverses méthodes.

Méthodes d'étude	Prédateurs présumés	Taux de prédation	Référence
Carte de prédation	Forficules et autres arthropodes du sol	12,4% de taux de régulation en juin et 48,3% en août	(Monteiro et al., 2013)
Suivi de ravageurs parasités (PCR)	Parasitoïdes	1% en verger conventionnel 4% en verger en agriculture biologique 31% en verger non traité	(Ricard et al., 2012)
Suivi des populations de ravageurs consommés (crottes positives)	Chauves-souris	5 à 21% de crottes positives (avec présence de carpocapse)	(Boreau de Roince, 2010; Ricard et al., 2012)
Suivi des populations de ravageurs consommés (PCR)	Parasitoïdes primaires (Braconidae et Ichneumonidae)	6% de parasitisme en agriculture biologique 2% de parasitisme en agriculture conventionnelle	(Maalouly et al., 2013)
Suivi de ravageurs consommés (PCR)	Arthropodes du sol	6% d'arthropodes positifs	(Boreau de Roince, 2010)
Suivi de ravageurs consommés (PCR)	Araignées, carabes	9% d'araignées et de carabes positifs	(Boreau De Roince, 2012)
Exclusion	Carabidae (<i>C. fuscipes</i> + <i>P. rufipes</i>)	1 à 9% de taux de régulation	(Ricard et al., 2011)
Exclusion	Oiseaux	15%-84% de taux de régulation	(Ricard et al., 2012)
Taux de prédation en laboratoire	Carabidae, Staphylinidae	Jusqu'à 5 proies consommées /24h	(Garcin et al., 2008; Garcin and Mouton, 2006)

1.1.6 Les impacts des pratiques et de la composition du paysage sur les taux de régulation des ennemis naturels des carpocapses

Le Tableau 56 synthétise quelques exemples d'impacts de pratiques sur les taux de régulation des ennemis naturels des carpocapses. Les études montrant l'influence des pratiques sur l'abondance et la diversité des prédateurs ne sont pas prises en compte.

Le taux de régulation est impacté par des pratiques locales, au sein des parcelles, et par la composition du paysage dans lequel se trouve la parcelle (Franck, 2018).

Ainsi, des études ont montré que les taux de régulations des arthropodes du sol sont significativement plus faibles en vergers entourés de vergers conventionnels (Maalouly et al., 2013; Monteiro et al., 2013) qu'en vergers entourés de vergers en agriculture biologique. Les niveaux de régulation des parasitoïdes sont fréquemment plus faibles en vergers conventionnels qu'en vergers biologiques

(Maalouly et al., 2013; Monteiro et al., 2013; Ricard et al., 2012). Les plus forts taux de régulation sont trouvés dans des vergers non traités (Ricard et al., 2012).

Tableau 56 Impacts des pratiques sur le niveau de régulation biologique des carpocapses en verger

Prédateurs présumés	Effet des pratiques locales	Effet de la composition du paysage	Référence
Forficules et autres arthropodes du sol	Conventionnel -	Vergers environnants en conventionnel -	(Monteiro et al., 2013)
Parasitoïdes primaires (Braconidae et Ichneumonidae)	Agriculture biologique +	Vergers environnants en conventionnel -	(Maalouly et al., 2013)
Parasitoïdes	Conventionnel – Agriculture biologique + Absence de traitement ++		(Ricard et al., 2012)

1.1.7 Les impacts des pratiques phytosanitaires visant à réguler le carpocapse en vergers sur les auxiliaires et autres ravageurs

Si les pratiques phytosanitaires ciblent en priorité les ravageurs de culture et permettent leurs régulations, elles peuvent également impacter les ennemis naturels de leurs cibles. Simon et al. (2007) ont dénombré les ravageurs, les arthropodes ravageurs et les arthropodes auxiliaires pendant 3 ans au sein de vergers de pommiers qui divergeaient selon leurs modes de protection : chimique, à base de confusion sexuelle ou en agriculture biologique. La diversité spécifique de la faune était également reportée. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 57. Dans les vergers sous protection chimique, l'abondance des ravageurs était significativement plus faible que dans les autres vergers, mais les abondances d'arthropodes auxiliaires y étaient également plus faibles.

Tableau 57 Impact des pratiques phytosanitaires visant à réguler les carpocapses en verger de pomme sur les autres arthropodes (ravageurs et auxiliaires). Résultats d'un recensement de ravageurs, d'arthropodes non ravageurs et d'auxiliaires sur 3 ans en vergers de pommiers. Source : Simon et al. (2007)

Protection	Abondance (nombre d'individus)			Richesse spécifique	
	Ravageurs	Arthropodes non ravageurs	Arthropodes auxiliaires	Arthropodes non ravageurs	Arthropodes auxiliaires
Chimique	4 932	643	238	73	38
Confusion sexuelle	5758	714	264	66	35
Biologique	19 012	843	348	59	34

La diversité des arthropodes non ravageurs et auxiliaires n'était pas affectée dans cette étude par le mode de protection. En effet, certaines études démontrent que la diversité des arthropodes est plus affectée par le contexte régional (composition du paysage, hétérogénéité, structure) que par les pratiques culturales (Bengtsson et al., 2005; Brown, 1993; Liss et al., 1986; Whalon and Croft, 1986).

Annexe 15

Les principaux ravageurs des cultures fruitières, les dégâts occasionnés et les prédateurs naturels présents en vergers. Source principale : Ricard et al. (2012)

Espèces fruitières	Exemples de ravageurs principaux	Dégâts	Quantification des dégâts occasionnés (% de pertes de rendement)	Ennemis naturels
Pommier	Carpocapse (<i>Cydia pomonella</i>)	Pénétration de la larve dans le fruit, consommation des pépins ce qui provoque la chute du fruit	50-90% (ACTA, 2016; Chambre d'Agriculture du Nord-Pas-de-Calais, 2015; Demestihias, 2017)	Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45
	Puceron cendré (<i>Dysaphis plantaginea</i>)	Piqûre des jeunes pousses, déformation des feuilles et développement de fumagine liée à la production de miellat	30% (Demestihias, 2017)	Oiseaux, chauves-souris, carabes, hyménoptères parasitoïdes, champignons entomopathogènes, araignées, forficules, coccinelles, larves de syrphes, de cécidomyies et de chrysopes Cf Figure 47
Poirier	Psylle du poirier (<i>Psylla pyri</i>)	Prélèvement de sève en forte dose et apparition de fumagine → diminution de la récolte et épuisement progressif de la vigueur de l'arbre		Punaises Anthocodidae, forficules, punaises miridae, hyménoptères parasitoïdes, syrphes, chrysopes et hémérobes
	Carpocapse (<i>Cydia pomonella</i>)	Pénétration de la larve dans le fruit, consommation des pépins ce qui provoque la chute du fruit		Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45
Noyer	Carpocapse (<i>Cydia pomonella</i>)	Pénétration de la larve à travers le brou jusqu' l'amande, consommation des pépins ce qui provoque la chute du fruit	30% (Syngenta, 2019a)	Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45

Pêchers et nectarini ers	Tordeuse orientale (<i>Cydia molesta</i>)	Attaque des pousses et des fruits par les larves		Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45
	Thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Piqûre d'organes floraux → coulures des fruits et production de fruits atrophiés		Acariens prédateurs, punaises prédatrices, nématodes parasitoïdes
Cerisier	Mouche de la cerise (<i>Drosophila suzukii</i>)	Ponte d'œufs dans les fruits et galeries creusées dans la chair du fruit par les larves		Oiseaux, chauves-souris, araignées de la frondaison, hyménoptères parasitoïdes, carabes, staphylins, fourmis, araignées du sol, nématodes, champignons entomopathogènes, petits mammifères Cf Figure 48
Prunier	Carpocapse des prunes (<i>Grapholita funebrana</i>)	Pénétration de la larve à travers le brou jusqu' l'amande, consommation des pépins ce qui provoque la chute du fruit		Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45
	Puceron vert du prunier (<i>Brachycaudus helichrysi</i>)	Piqûre des jeunes pousses, déformation des feuilles et développement de fumagine reliée à la production de miellat		Oiseaux, chauves-souris, carabes, hyménoptères parasitoïdes, champignons entomopathogènes, araignées, forficules, coccinelles, larves de syrphes, de cécidomyies et de chrysopes Cf Figure 47
Oliver	Mouche de l'olive (<i>Bactrocera (Dacus) oleae</i>)	Ponte d'œufs dans les olives et consommation du fruit par les larves	100% (BASF, 2018)	Oiseaux, chauves-souris, araignées de la frondaison, hyménoptères parasitoïdes, carabes, staphylins, fourmis, araignées du sol, nématodes, champignons

				entomopathogènes, petits mammifères Cf Figure 48
Abricotier	Tordeuse orientale (<i>Cydia molesta</i>)	Attaque des pousses et des fruits par les larves		Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45
	Thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Piqûre d'organes floraux → coulures des fruits et production de fruits atrophiés		Acariens prédateurs, punaises prédatrices, nématode parasitoïdes
Amandier	Guêpe de l'amande (<i>Eurytoma amygdali</i>)	Ponte d'œufs dans les amandes et consommation de l'amandon par les larves	80% (SudArbo, 2017)	Oiseaux, araignées
Noisetier	Balanin des noisettes (<i>Balaninus nucum</i>)	Piqûre des jeunes noisettes	50% (Syngenta, 2019b)	Oiseaux, carabes
	Acarien des bourgeons (<i>Phytoptus avellanae</i>)	Piqûre des jeunes pousses	20% (Syngenta, 2019c)	Acariens prédateurs, coccinelles, staphylins...
Châtaignier	Xylébore disparate (<i>Xyleborus dispar</i>)	Ponte et développement des larves dans le bois		Cléridés, coléoptères
	Carpocapse des châtaignes (<i>Cydia splendana</i>)	Pénétration des larves dans les bogue de châtaignes et peut provoquer la chute des fruits	50% (Verpont et al., 2012)	Mésanges charbonnières, chauves-souris, parasitoïdes, punaises, araignées, carabes, staphylins, fourmis, forficules Cf Figure 45
Fraise	Thrips californien (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Piqûre d'organes floraux → coulures des fruits et production de fruits atrophiés		Acariens prédateurs, punaises prédatrices, nématode parasitoïdes
	Puceron jaune du fraisier (<i>Chaetosiphon fragaefolii</i>)	Piqûre des jeunes pousses, déformation des feuilles et développement de fumagine liée à la production de		Oiseaux, chauves-souris, carabes, hyménoptères parasitoïdes, champignons entomopathogènes, araignées, forficules, coccinelles, larves de

		miellat. Possible transmission de virus		syrphes, de cécidomyies et de chrysopes Cf Figure 47
Kiwi	Cochenille blanche du mûrier (<i>Pseudaulacaspis pentagona</i>)	Piqûre provoquant un affaiblissement général de la plante par prélèvement de sève. Possible transmission de virus		Coccinelles, hyménoptères parasitoïdes
	Cicadelle pruiteuse (<i>Metcalfa pruinosa</i>)	Piqûres provoquant un affaiblissement général de la plante par prélèvement de sève et développement de fumagine reliée à la production de miellat. Possible transmission de virus		Guêpe parasitoïde, punaises, araignées, fourmis, chrysopes
Framboisier	Ver des framboises (<i>Byturus tomentosus</i>)	Galeries creusées dans les framboises par les larves		Oiseaux, chauves-souris, araignées de la frondaison, hyménoptères parasitoïdes, carabes, staphylins, fourmis, araignées du sol, nématodes, champignons entomopathogènes, petits mammifères
	Puceron vert du framboisier (<i>Aphis idaei</i>)	Piqûre des jeunes pousses, déformation des feuilles et développement de fumagine reliée à la production de miellat. Possible transmission de virus (plus de 50 différents)		Oiseaux, chauves-souris, carabes, hyménoptères parasitoïdes, champignons entomopathogènes, araignées, forficules, coccinelles, larves de syrphes, de cécidomyies et de chrysopes Cf Figure 47
Cassisier	Pou de San-José (<i>Diaspidiotus perniciosus</i>)	Piqûre provoquant un affaiblissement général de la plante par prélèvement de sève		Oiseaux, chauves-souris, carabes, hyménoptères parasitoïdes, champignons entomopathogènes, araignées, champignons entomopathogènes, forficules, hyménoptères parasitoïdes,

				coccinelles, larves de syrphes, de cécidomyies et de chrysopes
	Cochenille blanche du mûrier (<i>Pseudaulacaspis pentagona</i>)	Piqûre provoquant un affaiblissement général de la plante par prélèvement de sève		Coccinelles, hyménoptères parasitoïdes

Bibliographie

- Albert, Laurence, Pierre Franck, Yann Gilles, and Manuel Plantegenest. 2017. "Impact of Agroecological Infrastructures on the Dynamics of *Dysaphis Plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) and Its Natural Enemies in Apple Orchards in Northwestern France." *Environmental Entomology* 46 (3): 528–37. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx054>.
- BASF. 2018. "La mouche de l'olive - Ravageurs des arbres fruitiers." 2018. https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/arboriculture/ravageurs_des_arbres_fruitiers/mouche_de_l_olive.html.
- Benayas, José M. Rey, Jorge Meltzer, Daniel de las Heras-Bravo, and Luis Cayuela. 2017. "Potential of Pest Regulation by Insectivorous Birds in Mediterranean Woody Crops." *PLOS ONE* 12 (9): e0180702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180702>.
- Bengtsson, Janne, Johan Ahnström, and Ann-Christin Weibull. 2005. "The Effects of Organic Agriculture on Biodiversity and Abundance: A Meta-Analysis." *Journal of Applied Ecology* 42 (2): 261–69. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01005.x>.
- Billeter, R., J. Liira, D. Bailey, R. Bugter, P. Arens, I. Augenstein, S. Aviron, et al. 2008. "Indicators for Biodiversity in Agricultural Landscapes: A Pan-European Study." *Journal of Applied Ecology* 45 (1): 141–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01393.x>.
- Brown, M. W. 1993. "Resilience of the Natural Arthropod Community on Apple to External Disturbance." *Ecological Entomology* 18 (3): 169–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1993.tb01087.x>.
- Brown, Mark W. 2012. "Role of Biodiversity in Integrated Fruit Production in Eastern North American Orchards." *Agricultural and Forest Entomology* 14 (1): 89–99. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00540.x>.
- Chaplin-Kramer, Rebecca, and Claire Kremen. 2012. "Pest Control Experiments Show Benefits of Complexity at Landscape and Local Scales." *Ecological Applications* 22 (7): 1936–48. <https://doi.org/10.1890/11-1844.1>.
- Colloff, Matthew J., Elizabeth A. Lindsay, and David C. Cook. 2013. "Natural Pest Control in Citrus as an Ecosystem Service: Integrating Ecology, Economics and Management at the Farm Scale." *Biological Control* 67 (2): 170–77. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.07.017>.
- CROSS "Arthropod Ecosystem Services in Apple Orchards and Their Economic Benefits - CROSS - 2015 - Ecological Entomology - Wiley Online Library." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/een.12234>.
- Cross, J. V., M. G. Solomon, D. Chandler, P. Jarrett, P. N. Richardson, D. Winstanley, H. Bathon, et al. 1999. "Biocontrol of Pests of Apples and Pears in Northern and Central Europe: 1. Microbial Agents and Nematodes." *Biocontrol Science and Technology* 9 (2): 125–49. <https://doi.org/10.1080/09583159929721>.
- Debras, Jean-François, Rachid Senoussi, René Rieux, Elise Buisson, and Thierry Dutoit. 2008. "Spatial Distribution of an Arthropod Community in a Pear Orchard (Southern France): Identification of a Hedge Effect." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 127 (3): 166–76. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.03.015>.

- Dib, Hazem, Benoît Sauphanor, and Yvan Capowiez. 2016. "Effect of Management Strategies on Arthropod Communities in the Colonies of Rosy Apple Aphid, *Dysaphis Plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in South-Eastern France." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 216 (January): 203–6. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.003>.
- Dib, Hazem. 2010. "Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera aphididae) en vergers de pommiers," December. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00665080>.
- EcophytoPIC. 2018. "Index Base ABAA – Auxiliaires, BioAgresseurs, Accidents Physiologiques et Climatiques." EcophytoPIC. July 16, 2018. <http://www.ecophytopic.fr/tr/surveillance/base-abaa/base-abaa-%e2%80%93-auxiliaires-bioagresseurs-accidents-physiologiques-et>.
- Franck, Pierre. 2018. "Dynamique et Régulation Des Insectes Ravageurs En Vergers de Pommiers." Paris.
- Fredon Corse. 2018. "Le cynips du châtaignier." 2018. <http://fredoncorse.com/ravageurs/cynips-du-chataignier.html>.
- García, Daniel, Marcos Miñarro, and Rodrigo Martínez-Sastre. 2018. "Birds as Suppliers of Pest Control in Cider Apple Orchards: Avian Biodiversity Drivers and Insectivory Effect." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 254: 233–43. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.034>.
- Garcin, Alain, Muriel Millan, Jean-Michel Ricard, Laurie Castel, Bénédicte Maurouard, and IFPC Albert. 2016. "Les carabes, auxiliaires des cultures fruitières françaises: bilan de 15 ans d'études en verger." Infos CTIFL, 2016.
- Grove, G. G., K. C. Eastwell, A. L. Jones, and T. B. Sutton. 2003. "Diseases of Apple." *Apples: Botany, Production and Uses*, 459–88. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20073012724>.
- Jedlicka, Julie A, Russell Greenberg, and Deborah K Letourneau. 2011. "Avian Conservation Practices Strengthen Ecosystem Services in California Vineyards." *PLoS ONE* 6 (11): 8.
- Karp, Daniel S., Rebecca Chaplin-Kramer, Timothy D. Meehan, Emily A. Martin, Fabrice DeClerck, Heather Grab, Claudio Gratton, et al. 2018. "Crop Pests and Predators Exhibit Inconsistent Responses to Surrounding Landscape Composition." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (33): E7863–70. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800042115>.
- KOKI. 2018. "Les insectes ravageurs de la noisette." KOKI KROC. 2018. <http://www.koki-krok.fr/2018/07/les-insectes-ravageurs-de-la-noisette.html>.
- La Clinique Des Plantes. 2018. "Le Phytopte Du Noisetier : Symptômes et Traitements – Clinique Des Plantes." 2018. <https://www.cliniquedesplantes.fr/fiches/le-phytopte-du-noisetier>.
- Le biocontrôle séduit les maraîchers et les arboriculteurs. 2019. *L'Arboriculture fruitière*. February 6, 2019. <http://www.arboriculture-fruitiere.com/articles/vie-de-filiere/le-biocontrrole-seduit-les-maraichers-et-les-arboriculteurs>.
- Lefebvre, Manon, Julien Papaïx, Gregory Mollot, Pauline Deschodt, Claire Lavigne, Jean-Michel Ricard, Jean-François Mandrin, and Pierre Franck. 2017a. "Bayesian Inferences of Arthropod Movements between Hedgerows and Orchards." *Basic and Applied Ecology* 21: 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.05.002>.

- Lefebvre, Manon, Pierre Franck, Jean-François Toubon, Jean-Charles Bouvier, and Claire Lavigne. 2016. "The Impact of Landscape Composition on the Occurrence of a Canopy Dwelling Spider Depends on Orchard Management." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 215: 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.003>.
- Lefebvre, Manon, Pierre Franck, Jérôme Olivares, Jean-Michel Ricard, Jean-François Mandrin, and Claire Lavigne. 2017. "Spider Predation on Rosy Apple Aphid in Conventional, Organic and Insecticide-Free Orchards and Its Impact on Aphid Populations." *Biological Control* 104: 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.10.009>.
- Letourneau, Deborah K., Julie A. Jedlicka, Sara G. Bothwell, and Carlo R. Moreno. 2009. "Effects of Natural Enemy Biodiversity on the Suppression of Arthropod Herbivores in Terrestrial Ecosystems." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40 (1): 573–92. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120320>.
- Lindgren, Jessica, Regina Lindborg, and Sara A. O. Cousins. 2018. "Local Conditions in Small Habitats and Surrounding Landscape Are Important for Pollination Services, Biological Pest Control and Seed Predation." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 251 (January): 107–13. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.025>.
- Liss, W J, L J Gut, and P H Westigard. 1986. "Perspectives on Arthropod Community Structure, Organization, and Development in Agricultural Crops." *Annual Review of Entomology* 31 (1): 455–78. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.31.010186.002323>.
- Maalouly, Mariline, Pierre Franck, Jean-Charles Bouvier, Jean-François Toubon, and Claire Lavigne. 2013a. "Codling Moth Parasitism Is Affected by Semi-Natural Habitats and Agricultural Practices at Orchard and Landscape Levels." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 169: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.008>.
- Markó, Viktor, Zoltán Elek, Anikó Kovács-Hostyánszki, Ádám Kőrösi, László Somay, Rita Földesi, Ákos Varga, Ágnes Iván, and András Báldi. 2017. "Landscapes, Orchards, Pesticides—Abundance of Beetles (Coleoptera) in Apple Orchards along Pesticide Toxicity and Landscape Complexity Gradients." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 247 (September): 246–54. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.038>.
- Mathews, Clarissa R, Dale G Bottrell, and M. W Brown. 2002. "A Comparison of Conventional and Alternative Understory Management Practices for Apple Production: Multi-Trophic Effects." *Applied Soil Ecology* 21 (3): 221–31. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(02\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(02)00105-1).
- Miliczky, E. R., and D. R. Horton. 2005a. "Densities of Beneficial Arthropods within Pear and Apple Orchards Affected by Distance from Adjacent Native Habitat and Association of Natural Enemies with Extra-Orchard Host Plants." *Biological Control* 33 (3): 249–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.03.002>.
- Mille, Mickaël. 2011. "Mille_2011.pdf." Mémoire de fin d'étude, Avignon: Université Montpellier 2.
- Mody, Karsten, Charlotte Spoerndli, and Silvia Dorn. 2011. "Within-Orchard Variability of the Ecosystem Service 'Parasitism': Effects of Cultivars, Ants and Tree Location." *Basic and Applied Ecology* 12 (5): 456–65. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.05.005>.
- Monetti, L. N., and N. A. Fernandez. 1995. "Seasonal Population Dynamics of the European Red Mite (*Panonychus Ulmi*) and Its Predator *Neoseiulus Californicus* in a Sprayed Apple Orchard in Argentina (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae)." *Acarologia* 36 (4): 325–31.

- Monteiro, Lino B., Claire Lavigne, Benoît Ricci, Pierre Franck, Jean-François Toubon, and Benoît Sauphanor. 2013. "Predation of Codling Moth Eggs Is Affected by Pest Management Practices at Orchard and Landscape Levels." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 166: 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.012>.
- Prokopy, Ronald J., Jennifer L. Mason, Margaret Christie, and Starker E. Wright. 1996. "Arthropod Pest and Natural Enemy Abundance under Second-Level versus First-Level Integrated Pest Management Practices in Apple Orchards: A 4-Year Study." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 57 (1): 35–47. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00657-5](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00657-5).
- RICARD-JM-Arbiculture-et-Biodiversité.Pdf." n.d. Accessed May 28, 2019. <http://www.grab.fr/wp-content/uploads/2016/09/1-JM.RICARD-arbiculture-et-biodiversit%C3%A9.pdf>.
- Ricci, B, C Lavigne, A Alignier, S Aviron, L Biju-Duval, J C Bouvier, F Mezerette, et al. n.d. "Local Pesticide Use Intensity Conditions Landscape Effects on Biological Pest Control," 10.
- Ricci, Benoît, Pierre Franck, Jean-Charles Bouvier, Daniel Casado, and Claire Lavigne. 2011. "Effects of Hedgerow Characteristics on Intra-Orchard Distribution of Larval Codling Moth." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140 (3): 395–400. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.001>.
- Ricci, Benoît, Pierre Franck, Jean-François Toubon, Jean-Charles Bouvier, Benoît Sauphanor, and Claire Lavigne. 2009. "The Influence of Landscape on Insect Pest Dynamics: A Case Study in Southeastern France." *Landscape Ecology* 24 (3): 337–49. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9308-6>.
- Rusch, A., G. Sentenac, J. Thierry, L. Delbac, D. Thiery, M. Madejski, P. Guilbault, and M. Guisset. 2017. "Effect of the landscape environment of a vine plot on the abundance of budworm and their natural control." *Écologie Chimique: nouvelles contributions à la protection des cultures contre les ravageurs et 11e Conférence Internationale sur les Ravageurs et Auxiliaires en Agriculture*, 24 au 26 octobre 2017, Montpellier, France, 352–60. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183082715>.
- Rusch, Adrien, Rebecca Chaplin-Kramer, Mary M. Gardiner, Violetta Hawro, John Holland, Douglas Landis, Carsten Thies, et al. 2016. "Agricultural Landscape Simplification Reduces Natural Pest Control: A Quantitative Synthesis." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 221 (April): 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>.
- Santoemma, Giacomo, Nicola Mori, Lorenzo Tonina, and Lorenzo Marini. 2018. "Semi-Natural Habitats Boost *Drosophila Suzukii* Populations and Crop Damage in Sweet Cherry." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 257 (April): 152–58. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.013>.
- Santos, Luan Alberto Odorizzi, Marlice Botelho Costa, Claire Lavigne, Odair Aparecido Fernandes, Armin Bischoff, and Pierre Franck. 2018. "Influence of the Margin Vegetation on the Conservation of Aphid Biological Control in Apple Orchards." *Journal of Insect Conservation* 22 (3–4): 465–74. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0074-8>.
- Schäckermann, Jessica, Yael Mandelik, Noam Weiss, Henrik von Wehrden, and Alexandra-Maria Klein. 2015. "Natural Habitat Does Not Mediate Vertebrate Seed Predation as an Ecosystem Dis-Service to Agriculture." *Journal of Applied Ecology* 52 (2): 291–99. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12402>.
- Schmidt, Martin H., Indra Roschewitz, Carsten Thies, and Teja Tscharntke. 2005. "Differential Effects of Landscape and Management on Diversity and Density of Ground-Dwelling Farmland Spiders." *Journal of Applied Ecology* 42 (2): 281–87. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01014.x>.

- Settele, Josef, and William H. Settle. 2018. "Conservation Biological Control: Improving the Science Base." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (33): 8241–43. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810334115>.
- Solomon, M. G., J. V. Cross, J. D. Fitzgerald, C. A. M. Campbell, R. L. Jolly, R. W. Olszak, E. Niemczyk, and H. Vogt. 2000. "Biocontrol of Pests of Apples and Pears in Northern and Central Europe - 3. Predators." *Biocontrol Science and Technology* 10 (2): 91–128. <https://doi.org/10.1080/09583150029260>.
- Syngenta, France. 2019a. "Acariens des bourgeons." Syngenta France. May 30, 2019. <https://www.syngenta.fr/traitements/acariens-des-bourgeons>.
- The Species and Functional Diversity of Birds in Almond Orchards, Apple Orchards, Vineyards and Eucalypt Woodlots: *Emu - Austral Ornithology*: Vol 115, No 2. n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1071/MU14022>.
- Todd, Jacqui H., Louise A. Malone, Jayson Bengé, Joanne Poulton, Emma I. Barraclough, and Mark W. Wohlers. 2016. "Relationships between Management Practices and Ground-Active Invertebrate Biodiversity in New Zealand Kiwifruit Orchards: Management Practices and Invertebrate Biodiversity." *Agricultural and Forest Entomology* 18 (1): 11–21. <https://doi.org/10.1111/afe.12121>.
- Verpont, Florence, Bernard Hennion, and Nathalie Pasquet. 2012. "Le carpocapse de la châtaigne: vers une meilleure connaissance de la biologie de ce ravageur." *Infos CTIFL*, no. 280: 39–45. http://www.ctifl.fr/ecophytopic/infos_ctifl/infos%20280/280p39-45.pdf.
- Whalon, Mark E., and Brian A. Croft. 1986. "Immigration and Colonization of Portable Apple Trees by Arthropod Pests and Their Natural Enemies." *Crop Protection* 5 (6): 376–84. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(86\)90068-2](https://doi.org/10.1016/0261-2194(86)90068-2).
- Whitehouse, T. Seth, Ashfaq A. Sial, and Jason M. Schmidt. 2018. "Natural Enemy Abundance in Southeastern Blueberry Agroecosystems: Distance to Edge and Impact of Management Practices." *Environmental Entomology* 47 (1): 32–38. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx188>.
- XX 2013b. "Codling Moth Parasitism Is Affected by Semi-Natural Habitats and Agricultural Practices at Orchard and Landscape Levels." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 169 (April): 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.008>.
- XX 2017b. "Bayesian Inferences of Arthropod Movements between Hedgerows and Orchards." *Basic and Applied Ecology* 21: 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.05.002>.
- XX. 2005b. "Densities of Beneficial Arthropods within Pear and Apple Orchards Affected by Distance from Adjacent Native Habitat and Association of Natural Enemies with Extra-Orchard Host Plants." *Biological Control* 33 (3): 249–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.03.002>.
- XX. 2019b. "Balanins : *Balanicus nucum*." Syngenta France. May 30, 2019. <https://www.syngenta.fr/traitements/balanins>.
- XX. 2019c. "Carpocapse sur noyer." Syngenta France. May 30, 2019. <https://www.syngenta.fr/traitements/carpocapse-sur-noyer>.

Composition du groupe de travail :

Dominique Grasselly, coordinateur (CTIFL), Françoise Lescourret, coordinatrice (INRA), Marie-Charlotte Bopp, cheffe de projet (CTIFL-INRA), Denis Bergère (AFIDEM), Emmanuel Demange (Interfel), Anne Guérin (IFPC), Pascale Guillermin (AgroCampusOuest Angers), Christian Hutin (CTIFL), François Laurens (INRA), Stéphanie Prat (FNPF), Natacha Sautereau (ITAB), Matthieu Serrurier (CTIFL), Pierre Varlet (ANPP), Sylvie Colleu (INRA).

Pour citer ce document :

M-C. Bopp, D. Grasselly, F. Lescourret, D. Bergère, E. Demange, A. Guérin, P. Guillermin, C. Hutin, F. Laurens, S. Prat, N. Sautereau, M. Serrurier, P. Varlet, S. Colleu. Les services rendus par les cultures fruitières, Chapitre 4.3, *Le service de régulation des ravageurs et les impacts de l'utilisation des pesticides sur la faune utile*, 2019, CTIFL-INRA.

Synthèse et rapport disponibles sur : <https://www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Rapport-Services-rendus-par-les-cultures-fruitieres>

DOI : <https://prodinra.inra.fr/record/483007>

Licence CC : BY NC ND