



HAL
open science

Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers?

Sylvaine S. Simon, Gaëlle Marliac, Yvan Capowiez

► To cite this version:

Sylvaine S. Simon, Gaëlle Marliac, Yvan Capowiez. Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers?. *Innovations Agronomiques*, 2015, 43, pp.29-40. hal-02637022

HAL Id: hal-02637022

<https://hal.inrae.fr/hal-02637022>

Submitted on 27 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers ?

Simon S.¹, Marliac G.², Capowiez Y.²

¹ INRA, UE695 Recherches Intégrées Gotheron, F-26320 Saint-Marcel-lès-Valence

² INRA, UR1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, F-84000 Avignon

Correspondance : sylvaine.simon@avignon.inra.fr

Résumé

Les vergers constituent un habitat pérenne, multi-strate et complexe, potentiellement favorable dans le temps et dans l'espace, au maintien des chaînes trophiques et à la régulation naturelle des ravageurs. Or, ils dépendent fortement de l'utilisation des pesticides, ce qui compromet leur durabilité et l'expression de ce potentiel de régulation. Deux expérimentations en verger de pommiers ont analysé (1) la réduction de l'utilisation des pesticides permise par la combinaison de plusieurs leviers dans le système de culture 'verger' et (2) l'effet de la gestion des ressources et habitats du couvert herbacé de l'inter-rang du verger sur les arthropodes auxiliaires du pommier et la régulation naturelle, estimée par la prédation de proies sentinelles. L'objectif de réduction de l'utilisation des insecticides est globalement atteint ; en revanche, un matériel végétal de moindre sensibilité est nécessaire pour gérer les maladies en système bas-intrants. L'introduction de ressources (sarrasin dans l'inter-rang central du verger) ou leur modulation (via la hauteur du couvert) s'accompagne d'effets variables selon les auxiliaires, même pour des espèces de régime alimentaire proche telles *Forficula auricularia* et *F. pubescens*. Par ailleurs, en dépit de la présence accrue d'auxiliaires, le taux de prédation peut être moins élevé en présence de ces ressources supplémentaires, questionnant leur attractivité qui s'exercerait au détriment du pommier. Ceci illustre la complexité des processus impliqués dans la régulation naturelle. Plusieurs pistes sont proposées pour reconcevoir des vergers dans un cadre d'agroécologie.

Mots-clés : Pommier, verger, design, pratiques culturales, lutte biologique par conservation, expérimentation système, couvert herbacé, bande fleurie, sarrasin

Abstract: Agroecological practices to better manage pests in perennial systems. The case study of apple orchard

Orchards are perennial, multi-layer and complex habitats likely to maintain foodwebs and to contribute to pest suppression within time and space. However, they also rely on a heavy use of pesticides, which is not sustainable and can alter this ecosystem service of pest suppression. Two experiments in apple orchard analyzed (1) the possible reduction in pesticide use through combinations of various levers in the orchard system and (2) the effect of the management of resources and habitats in the ground cover of the orchard alleys on natural enemies of apple and pest suppression estimated by the predation rate of sentinel preys. The goal of pesticide use reduction was achieved for insecticides but not for fungicides, highlighting the importance of low susceptibility cultivars in the redesign of low-input orchards. Buckwheat sowing in the central alley of the orchard or the management of the grass height differently affected natural enemies. Besides, increasing abundance of natural enemies in the case of additional plant resources did not always induced an increase in predation rate; it is likely that the attractiveness of flower strips or grass covers is detrimental to foraging and predation by natural enemies in the apple tree canopy. This attests of the complexity of processes involved in pest suppression. Proposals are made to redesign innovative orchard systems in the framework of agroecology.

Keywords: Apple, orchard design, cultural practices, conservation biocontrol, system experiment, grassy ground cover, flower strip, buckwheat

Introduction

Les vergers sont des systèmes de culture qui présentent des caractéristiques spatiales et temporelles spécifiques : plusieurs strates (arborée, herbacée), des structures ramifiées (arbres), une organisation spatiale particulière (alternance rang et inter-rang, de gestion différente), permanence de la culture et des aménagements tels que les haies brise-vent régulièrement présentes en bordure de parcelle (Simon et al., 2010). Cet habitat pérenne, multi-strate et complexe est donc potentiellement favorable, dans le temps et dans l'espace, au maintien des chaînes trophiques, et donc à la présence *in situ* (et tout au long de la saison) de prédateurs et parasitoïdes, organismes auxiliaires qui interviennent dans la régulation naturelle des ravageurs.

Or, à de rares exceptions près, les vergers actuels sont des systèmes de culture largement dépendants des intrants chimiques (Réseau Dephy-FERME, 2014) : ils visent la production de fruits frais, pour des niveaux de productivité élevés et une qualité 'zéro défaut', appréciée notamment sur la base de l'aspect visuel (normes commerciales liées au calibre, à la coloration, à l'absence de défaut d'épiderme...). La pérennité de l'arbre fruitier ne permet par ailleurs pas d'utiliser les successions culturales pour limiter les populations de bio-agresseurs pouvant réaliser leur cycle biologique dans le verger. Ces contraintes orientent fortement les choix de plantation et de conduite des vergers actuels, mais également les critères de sélection variétale en amont : les objectifs de production sont privilégiés, en recourant principalement à des intrants (produits phytopharmaceutiques) pour limiter les risques de dégâts, avec peu de considération de systèmes de culture alternatifs plus autonomes et plus propices à l'expression des régulations naturelles (Ricci et al., 2011). Cette situation remet en cause la durabilité des vergers actuels, du fait d'impacts environnementaux, sur la santé humaine, mais également parce que la production recourt à des intrants qui impactent les processus de régulation (mortalité des auxiliaires, directe et/ou indirecte via la suppression des ressources) (Aubertot et al., 2005).

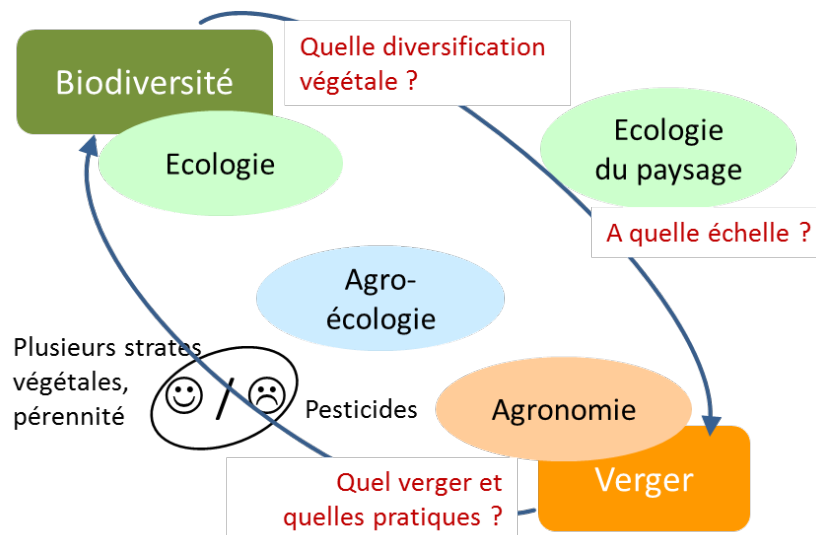


Figure 1: Verger et biodiversité : antagonisme ou synergie ? (D'après Simon et Lesueur-Jannoyer, 2014)

Si l'injonction de réduction de l'utilisation des pesticides du plan national Ecophyto pointe cette situation et a permis des progrès, les pistes explorées relèvent principalement de l'efficacité (optimiser l'utilisation des pesticides) et de la substitution (remplacer des méthodes 'chimiques' par des méthodes 'non-chimiques') (Hill et MacRae, 1995). Il y a donc un défi particulier pour (re)concevoir les vergers et

leurs pratiques afin de favoriser les régulations naturelles tout en préservant le potentiel de production et diminuer ainsi les impacts environnementaux des pratiques actuelles, mais également pour préserver l'image 'nature' et 'santé' des fruits (Berrie et Cross, 2006). Une telle démarche nécessite (Figure 1) (1) de s'appuyer sur un ensemble de pratiques cohérentes à mettre en œuvre dans cet objectif, dans le cadre d'une approche système (Meynard, 2012) et (2) d'être en mesure de mobiliser diverses pratiques agroécologiques (Wezel et al., 2014), et donc de connaître leurs conditions de mise en œuvre en verger et leurs effets potentiels sur les services écosystémiques visés (i.e., la régulation des ravageurs) dans un système de culture présentant des spécificités d'organisation spatiale et de pérennité.

Cet article présente deux expérimentations en verger de pommiers, qui illustrent des travaux répondant aux deux points ci-dessus : (1) la combinaison de plusieurs leviers d'action pour réduire l'utilisation des pesticides a été testée dans le cadre d'une expérimentation système en verger de pommiers conduite depuis 2005 à l'INRA de Gothenon (Drôme) ; (2) un focus a été réalisé à l'INRA d'Avignon sur une composante spécifique du verger que constitue le couvert herbacé des inter-rangs, et sur sa gestion qui conditionne ressources et habitat pour certains arthropodes du verger. Les résultats présentés permettent enfin de discuter diverses pistes pour reconcevoir des vergers plus durables.

1. Combiner différents leviers pour gérer les bio-agresseurs

Dans la majorité des vergers actuels, la gestion des ravageurs, maladies et adventices (bioagresseurs) s'effectue par des mesures directes qui mobilisent différentes méthodes (physiques, mécaniques, (micro)biologiques, biotechniques, chimiques...). Mais plusieurs processus, qui affectent les bioagresseurs via la plante ou via leurs ennemis naturels (auxiliaires), méritent une attention (Simon et Lesueur-Jannoyer, 2014) :

- Les processus 'bottom-up' (via la plante) affectent les niveaux trophiques supérieurs : la plante, sa phénologie, son architecture, sa physiologie... et le peuplement végétal conditionnent les ressources, leur abondance, leur qualité, mais également leur localisation et leur accès, ainsi que les conditions de milieu pour les bio-agresseurs (ex, microclimat, protection contre la prédation).
- Les processus 'top-down' (via les auxiliaires) affectent les niveaux trophiques inférieurs : la préservation des auxiliaires et l'augmentation de leur abondance et/ou efficacité (lutte biologique par conservation ; Landis et al., 2000) s'appuient sur des pratiques qui impactent peu les auxiliaires en verger (directement ou indirectement) et sur une diversification végétale de l'agro-écosystème et de ses habitats - et donc des possibilités de ressources et de refuge. Les interactions entre organismes (diverses espèces de ravageurs et d'auxiliaires) sont complexes et le bénéfice en protection des cultures est parfois limité, du fait d'interactions négatives (cannibalisme, prédation entre auxiliaires intra-guild, concurrence, redondance...). La complémentarité des traits biologiques des auxiliaires (régime alimentaire, mode de prédation) sera à privilégier, afin d'exploiter plusieurs strates ou types de ressources, dans le temps et dans l'espace.

1.1 Design du verger 'BIO Melrose' et pratiques mises en œuvre

Le dispositif expérimental BioREco de l'INRA Gothenon, implanté en 2005, comporte 9 systèmes vergers de 0.4 ha chacun, implantés avec des variétés de sensibilité différente aux maladies et/ou conduits selon des stratégies qui recourent plus au moins aux mesures directes pour limiter les intrants (Simon et al., 2011). Le système analysé ici est 'BIO Melrose' qui illustre la diversité des leviers mis en œuvre pour limiter l'utilisation des pesticides tout en limitant les dégâts sur fruits dus aux bio-agresseurs (Figure 2).



Figure 2 : Différents leviers mis en œuvre dans 'BIO Melrose'. Les chiffres renvoient au paragraphe suivant

Les leviers considérés relèvent de :

- Processus via la plante, modulés par certaines caractéristiques structurelles du verger ('*design*') et par les pratiques : (1) variété de faible sensibilité aux maladies (levier génétique) ; (2) densité de plantation faible et (3) conduite centrifuge de l'arbre, créant un puits de lumière au centre de l'arbre (Lauri et Lespinasse, 2000), qui permettent un verger aéré, en vue de limiter la durée des périodes d'humectation qui conditionne les épisodes infectieux de tavelure, principale maladie du pommier ; fertilisation organique et irrigation raisonnées (4) en fonction des besoins de la plante, en vue de couvrir les besoins de l'arbre tout en limitant les excès favorables à certains ravageurs (ex. puceron)...
- Mesures directes : plusieurs méthodes de *substitution* à la lutte chimique (5) sont utilisées, telle la lutte par confusion sexuelle et microbiologique (virus de la granuloïse) contre le carpocapse *Cydia pomonella*, un des principaux ravageurs du pommier ; le désherbage mécanique (6) contre les adventices sur le rang d'arbre ; l'utilisation de kaolin en barrière physique appliquée à l'automne lors du vol de retour du puceron cendré *Dysaphis plantaginea* et/ou au printemps pour limiter la colonisation de l'arbre par les individus issus des fondatrices. En dernier recours, la lutte chimique (7) privilégie les substances actives sélectives vis-à-vis des auxiliaires et ayant peu d'impact environnemental et sur la santé. Pour optimiser l'utilisation de ces produits de biocontrôle ou de synthèse, une évaluation fine du risque de dégâts (8) est réalisée à partir des données ou prévisions météorologiques, d'observations de terrain (contrôles, pièges), de modèles de prédiction des risques... en vue d'augmenter l'*efficacité* des intrants utilisés.
- Processus via les auxiliaires : il s'agit tout d'abord de préserver les auxiliaires présents, à la fois par le choix de méthodes de substitution aux pesticides et de pesticides sélectifs (cf supra), mais également en limitant au strict nécessaire les interventions occasionnant d'importantes variations de biomasse telles le broyage de l'herbe de l'inter-rang (2 à 3 passages annuels pour faciliter les opérations manuelles d'éclaircissage et de récolte). Depuis 2013, une bande fleurie de sarrasin a également été implantée dans l'inter-rang central de ce verger (9), en vue de fournir des ressources florales et des proies aux auxiliaires, ce qui modifie la configuration du verger ('*redesign*').

Ce verger est en production, et l'utilisation moyenne des pesticides est de 22.7 IFT dont 5.6 IFT de biocontrôle pour la période 2009-2013. Le niveau de rendement est affecté par une forte alternance de production, qui oscille entre 39 t/ha (2013) et 7 t/ha (2014). Les principaux dégâts de bioagresseurs sur fruits sont liés à la tavelure (87.5% de dégâts sur fruits à la récolte en 2013, année avec de nombreuses contaminations au printemps ; 7.1% en 2014) et au puceron cendré (16.3% en 2013 ; 1.8% en 2014), les dégâts de carpocapse étant faibles à très faibles.

1.2 Aménagement d'une bande fleurie au sein du verger

Les critères de choix de l'espèce à planter étaient en premier lieu le rôle potentiel pour les auxiliaires et la possibilité de mécanisation, puis la facilité d'entretien (rusticité) et le coût. Après étude bibliographique (Simon et al., 2010) et test en placettes de plusieurs espèces (phacélie, sarrasin, graminées) en 2012, une bande de sarrasin d'environ 1.2 m de large et de la longueur du verger a été semée au printemps 2013 au centre de l'inter-rang central du verger, afin de permettre le passage des engins agricoles (Figure 2). Ceci permettait d'implanter une ressource potentielle à proximité directe des arbres en culture, par rapport à une bande fleurie en bordure de parcelle. Le semis a été renouvelé en 2014 (pas de re-semis spontané). Hormis l'implantation, la principale contrainte de culture a résidé dans l'irrigation à des périodes de fort déficit hydrique dans la mesure où l'irrigation du verger est localisée sur le rang (et nos sols ont une très faible réserve utile).

Par ailleurs, la présence de fleurs contraint les périodes de traitement dans le verger et le type de produit utilisé : en période de présence des fleurs (mai-juin à août-septembre selon les années), aucun insecticide n'a été réalisé, hormis de rares interventions hors période de butinage avec du virus de la granulose, produit microbiologique hautement spécifique du carpocapse. Il y a de fait eu une diminution de l'utilisation des insecticides, avec uniquement applications des huiles (hiver) et du kaolin (octobre et/ou mai). Les fongicides (cuivre, soufre) sont incontournables lors d'années telles 2013 ayant eu de nombreuses contaminations de tavelure en dépit de la faible sensibilité de la variété aux maladies.

1.3 Effets de la bande fleurie sur l'infestation par les pucerons et la prédation

La présence de pollinisateurs et d'auxiliaires (divers taxons tels les coccinelles, punaises, araignées, hyménoptères) a été observée au niveau de la bande de sarrasin pendant la période de floraison (données non présentées).

L'effet de la bande fleurie pour la protection du verger a été évalué à partir de l'analyse de l'infestation du verger et de la prédation en fonction de la distance à la bande fleurie, pour 3 distances étudiées : adjacent (< 2 m de la bande fleurie, rang encadrant la bande), proche (< 7 m, rang suivant) ou éloigné (environ 20 m, 3 rangs d'arbres séparent la bande fleurie du rang éloigné), et 2 mesures pour chaque distance (côtés Ouest et Est par rapport à la bande fleurie).

La présence des principaux pucerons du pommier et la sévérité de l'infestation (taille de la colonie en 4 classes : '0' pas de puceron, '1' individus isolés, '2' petite colonie infestant moins d'1 feuille et '3' grosse colonie infestant plus d'une feuille) ont été évaluées par observation visuelle de 2 rameaux par arbre pour 20 arbres par ligne d'arbre, rameaux et arbres étant pris au hasard en excluant les arbres de bout de ligne et les pollinisateurs.

Au printemps 2013 et 2014, les niveaux d'infestation par le puceron cendré *D. plantaginea* sont élevés et similaires quelle que soit la distance à la bande fleurie. Seule la sévérité de l'infestation par le puceron vert (*Aphis* spp.) est moindre dans les rangs adjacents et éloignés de la bande fleurie par rapport aux rangs proches se situant spatialement entre les deux précédents (Anova : $F_{2,5} = 16.85$; $p < 0.05$). Ceci peut être dû à une redistribution des pucerons (immigrant au printemps) et/ou des auxiliaires au sein du verger en lien avec la bande fleurie même si l'importante variabilité de l'infestation et les résultats non significatifs de 2014 ne permettent pas de conclure.

La technique des œufs sentinelle de Glen (1977), reprise par Monteiro et al. (2013), a été utilisée pour évaluer l'activité de prédation des œufs de carpocapses par les auxiliaires. Des œufs pondus sur des feuilles de ponte en élevage de carpocapse (INRA, Avignon) ont été exposés en verger. Ces bandelettes ont été agrafées à la face inférieure de feuilles d'arbres dans le verger, en excluant les pollinisateurs et les arbres de bout de ligne. Après 2.5 jours, les bandelettes ont été récoltées et le taux de prédation a été évalué par le nombre d'œufs disparus divisé par le nombre d'œufs exposés.

Le taux de prédation, plus élevé en été, varie fortement au sein de chaque modalité quelle que soit la date d'exposition (Figure 3). En juin, la prédation est plus faible en situation adjacente par rapport aux rangs proches, les rangs éloignés ne se différenciant pas des deux autres (Anova : $F_{2,5} = 13.17$; $p < 0.05$) : on observe donc à cette date un différentiel de prédation lié à la bande fleurie. Cette dernière peut agir comme un 'puits' du fait de sa forte attractivité pour les auxiliaires au sein du verger ou modifier la redistribution des auxiliaires au sein du verger ; cette situation n'est toutefois pas retrouvée plus tard en saison (août, Figure 3).

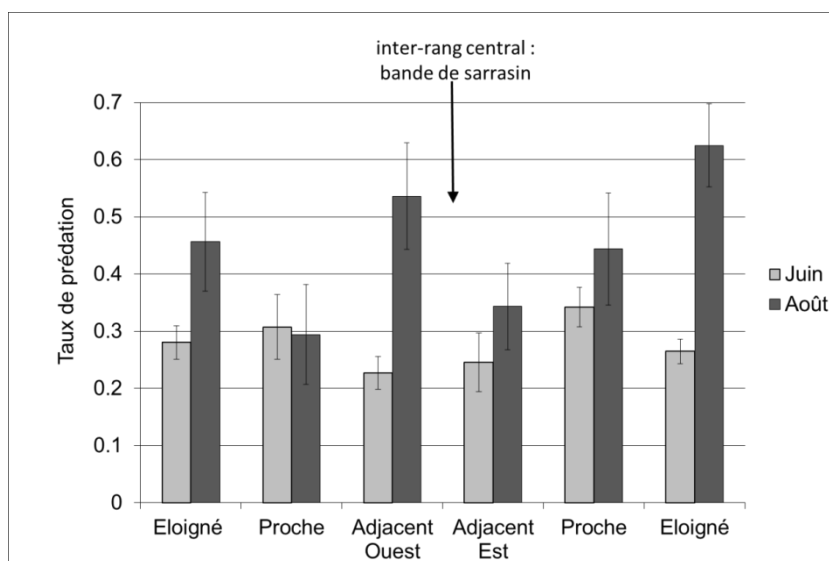


Figure 3 : Taux de prédation (moyenne ± SE) d'œufs sentinelle exposés en 2014 dans la frondaison du pommier en fonction de la distance du rang à la bande fleurie de sarrasin. Le verger comporte 8 lignes orientées Nord-Sud et la bande de sarrasin a été implantée dans l'inter-rang central. Les six rangs à l'étude sont situés de part et d'autre de la bande fleurie ; ils sont adjacents (< 2 m de la bande fleurie, rang encadrant la bande), proches (< 7 m, rang suivant) ou éloignés (environ 20 m, 3 rangs séparent la bande fleurie du rang éloigné).

2. Hauteur du couvert herbacé et prédation

La plupart des vergers français ont un inter-rang enherbé, pour faciliter le passage des engins agricoles (accroître la portance) et limiter les adventices. Ce couvert herbacé représente une biomasse végétale exploitée par divers arthropodes herbivores, qui à leur tour servent de proies ou d'hôtes à une gamme de prédateurs et parasitoïdes. Comparés à un sol nu, ces couverts présentent donc un intérêt en termes de protection des cultures (Rieux et al., 1999 ; Markò et Keresztes, 2014). La gestion de ces couverts est variable, entraînant différentes hauteurs de couvert tout au long de l'année selon les pratiques : la fauche ou le broyage de l'herbe peuvent être peu fréquents et n'intervenir qu'aux périodes d'intervention manuelle dans le verger (éclaircissage, récolte) pour faciliter le passage. Par ailleurs, on note que certains arboriculteurs ne fauchent lors des tontes qu'un rang sur deux en alternance. La fauche, par la diminution drastique de la hauteur du couvert (et l'élimination des fleurs), modifie de fait

les ressources et/ou les habitats pour de nombreux organismes, ce qui affecte potentiellement la communauté d'arthropodes du verger (Horton et al., 2003).

L'effet de ces pratiques a été étudié en verger expérimental selon un dispositif en blocs randomisés. L'objectif a été de déterminer en quoi la hauteur d'enherbement, qui traduit différents régimes de gestion du couvert herbacé, affecte la communauté du verger et le potentiel de prédation. Le but appliqué est de savoir si les pratiques de fauche peu fréquentes peuvent être préconisées avec comme objectif une meilleure régulation naturelle.

2.1 Matériels et méthodes

2.1.1 Site d'étude et modalités étudiées

Le verger expérimental, implanté en 2007 avec la variété Ariane, est situé à l'INRA d'Avignon. Le détail du verger est décrit dans Marliac et al. (accepté). Durant la période d'étude (printemps-été 2013), ce verger n'a reçu que deux interventions phytosanitaires : bupirimate, contre l'oïdium, et virus de la granulose contre le carpocapse. Les espèces majoritaires du couvert herbacé étaient le trèfle blanc *Trifolium repens*, la fétuque des prés *Festuca pratense* et le pissenlit *Taraxacum officinale*, mélangées à différentes autres espèces.

Trois hauteurs de couvert ont été étudiées : 'Haut' (pas d'intervention d'avril à août, hauteur de 40 cm dès mai), 'Intermédiaire' (tonte tous les 15 jours à une hauteur d'environ 20 cm) et 'Bas' (tonte tous les 15 jours à une hauteur d'environ 5 cm). Un dispositif randomisé à quatre blocs a été mis en place, soit 12 parcelles élémentaires de 3 X 30 arbres.

2.1.2 Evaluation de l'abondance des auxiliaires et de la prédation en verger

Le suivi des auxiliaires et de la prédation des œufs de carpocapse en verger a été réalisé au cours de 5 relevés en 2013. La technique des œufs sentinelle (décrite §1.3) a été mise en place avec 40 bandelettes (8.75 ± 1.28 œufs par bandelette) par modalité d'enherbement à chaque relevé.

La présence et l'abondance des prédateurs ont été estimées à partir de bande-pièges en carton ondulé placées sur des branches dans le verger, avec 40 bandes-pièges par modalité placées une semaine avant et relevées une semaine après l'exposition des œufs. Les arthropodes des bandes ont été identifiés au laboratoire au niveau de la famille (araignées) ou de l'espèce (forficules) selon les groupes fonctionnels d'auxiliaires.

2.1.3 Analyse des données

L'effet de la hauteur du couvert herbacé sur la prédation et/ou l'abondance des prédateurs a été étudié en utilisant un modèle linéaire généralisé avec, respectivement, une loi binomiale et une loi quasi Poisson. Un test de Tukey (test post-hoc de comparaisons multiples) a été utilisé pour identifier les modalités se différenciant entre elles. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R 2.14.1 (R Development Core Team, 2010).

2.2 Effets de la hauteur du couvert herbacé sur la prédation et les auxiliaires

Le taux de prédation des œufs sentinelle exposés dans la frondaison augmente jusqu'en juillet puis diminue en août (Figure 4a). La hauteur du couvert a un effet significatif sur la prédation : en juin, le taux de prédation est plus élevé dans la modalité 'Haut' que dans la modalité 'Bas' ($p < 0.001$), le couvert 'Intermédiaire' ne se différenciant pas des deux autres. En revanche, en juillet, le taux de prédation est le plus élevé dans les modalités 'Bas' et 'Intermédiaire' que dans le couvert 'Haut' ($p < 0.001$). En août, la prédation est plus élevée dans les modalités 'Bas' et 'Haut' par rapport à 'Intermédiaire' ($p = 0.007$).

Les forficules et araignées représentaient respectivement 96.8% et 3.0% du total des 20 537 auxiliaires recensés. Deux espèces de forficules *Forficula auricularia* (26.5%) et *F. pubescens* (73.49%) sont présentes. L'abondance des araignées (Salticidae, Gnaphosidae, Miturgidae, Philodromidae, Thomisidae et Clubionidae par ordre d'abondance décroissant) n'est pas affectée par la hauteur du couvert, de même que l'abondance de *F. auricularia* (Figure 4b) qui présente les mêmes variations saisonnières quelle que soit la hauteur du couvert. En revanche, l'abondance de *F. pubescens* (Figure 4c) est significativement différente entre modalités en juillet, avec les effectifs les plus élevés dans la modalité 'Haut' ($p < 0.001$) et les plus faibles dans le couvert 'Bas', la modalité 'Intermédiaire' se situant entre les deux autres ($p = 0.014$). En août, l'abondance de *F. pubescens* décroît et les modalités 'Haut' et 'Intermédiaire' présentent des effectifs plus élevés que la modalité 'Bas' ($p < 0.001$) (Figure 4c).

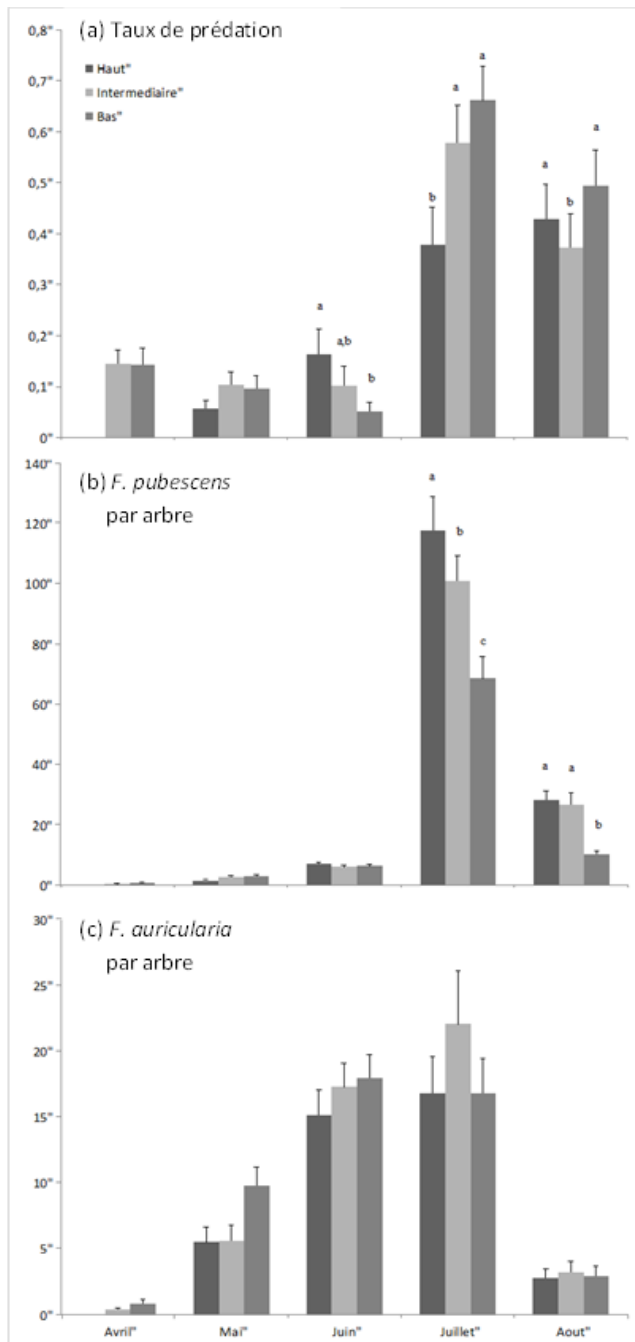


Figure 4 : (a) Taux de prédation d'œufs sentinelles et abondance des forficules (b) *Forficula pubescens* et (c) *F. auricularia* dans la frondaison du pommier en fonction de la hauteur de l'enherbement ('Haut' 40 cm à partir de mai ; 'Intermédiaire' 20 cm ; 'Bas' 5 cm). Des lettres différentes indiquent des différences significatives entre modalités (test post-hoc comparaisons multiples de Tukey)

La hauteur du couvert herbacé, liée à la fréquence des tontes, affecte l'abondance et l'activité de prédation de *F. pubescens*, prédateur généraliste du verger : en juillet et août, le couvert 'Haut' s'accompagne d'effectifs plus élevés mais d'une moindre prédation d'œufs par rapport au couvert 'Bas'. Ce résultat peut être expliqué par la présence importante de ressources alternatives dans le couvert herbacé de la modalité 'Haut' (observation de *F. pubescens* consommant du pollen de *Senecio* spp.). L'activité de prédation du forficule commun *F. auricularia*, autre prédateur généraliste présent tôt en saison et également prédateur d'œufs de carpocapse (Glen, 1977), n'est en revanche pas proportionnelle à son abondance, et il est probable que cette espèce se nourrisse d'autres proies telles les pucerons cendrés (Dib et al., 2010) en mai et juin.

Cette étude illustre la difficulté de décliner des principes écologiques à l'échelle du verger et en termes de bénéfice pour la protection des cultures : si l'augmentation de biomasse végétale, de ressources potentielles et de complexité de l'habitat du couvert 'Haut' au sein du verger s'accompagne bien de l'augmentation de l'abondance de certains prédateurs, l'activité de prédation estimée pour certains stades de ravageurs (œufs de carpocapse) n'est pas affectée (début de saison) ou peut l'être négativement du fait de la 'dilution' de la proie proposée dans un ensemble de ressources potentielles. Il est également possible que l'utilisation de proies sentinelles pour l'estimation de la prédation introduise un biais de mesure liée à l'attractivité ou la localisation de la proie sentinelle par rapport à la proie naturelle.

De cette étude, il ressort que la hauteur du couvert herbacé, et donc son entretien, affectent certains groupes d'auxiliaires (tous n'ont pas été étudiés ici) et le potentiel de prédation dans le verger : les producteurs disposent donc d'un levier pour favoriser cette prédation, sous réserve que les connaissances sur les effets, les périodes d'intervention et modalités optimales (tonte un rang sur deux) soient investiguées plus largement pour pouvoir proposer des préconisations. Par ailleurs, la date à laquelle est appliquée la fauche pourrait également être vue comme un moment clef favorisant le transfert de certains auxiliaires de la strate herbacée vers la frondaison (hypothèse à confirmer).

Enfin, selon les ravageurs et auxiliaires considérés, ces mécanismes peuvent différer, en lien avec la biologie, le comportement et la capacité de déplacement de ces arthropodes, leurs interactions (ex, compétition, prédation intra-gilde), la proximité physique des strates, la disponibilité en ressources alternatives, les perturbations liées aux pratiques culturales, les conditions de milieu (microclimat, possibilités d'échapper à la prédation...) (Lawton, 1983 ; Straub et al., 2008 ; Simon et al., 2010). Ceci illustre la complexité des relations entre les différents niveaux trophiques impliqués dans la régulation naturelle.

Conclusions

Les résultats d'expérimentation présentés ici illustrent (1) la nécessité d'une gestion à l'échelle du système de culture et de l'agrosystème pour limiter fortement le recours à des méthodes directes de gestion des bioagresseurs et (2) la complexité de la manipulation de l'habitat des auxiliaires en vue de les favoriser : l'introduction de ressources (sarrasin intercalé au milieu du couvert herbacé à dominante de graminées) ou leur modulation (hauteur du couvert, présence de fleurs) s'accompagne d'effets variables selon les auxiliaires, même pour des espèces de régime alimentaire proche telles *F. auricularia* et *F. pubescens*. Par ailleurs, en dépit de la présence accrue d'auxiliaires (couvert 'Haut', sarrasin), le taux de prédation peut être moins élevé à certaines dates en présence de ces ressources supplémentaires : au-delà de possibles limites de l'estimation de la prédation par des proies sentinelles, une hypothèse est que l'attractivité des ressources introduites ou gérées est forte et s'exerce au détriment de la prospection et de la prédation par les auxiliaires dans la frondaison du pommier. Quels enseignements peut-on plus largement tirer de ces expériences ?

Concernant le potentiel de réduction de l'utilisation des pesticides, le verger 'BIO Melrose' parvient partiellement (selon les années et les cibles) à satisfaire cet objectif et à produire une récolte en quantité et qualité satisfaisantes (l'alternance de production est principalement liée à la variété, même si de fortes attaques de pucerons peuvent accentuer le phénomène). La suppression des insecticides contre le puceron cendré au printemps, permise par la mise en œuvre d'un ensemble de méthodes (gestion fertilisation, conduite, applications de kaolin), ne compromet pas la récolte ni la longévité du verger. Les méthodes de substitution disponibles permettent également un contrôle satisfaisant du carpocapse. En revanche, en dépit d'une faible sensibilité aux maladies de la variété Melrose, il n'est pas possible de s'affranchir largement de l'utilisation des fongicides, et les dégâts peuvent être élevés malgré l'utilisation répétée de soufre, qui affecte par ailleurs certains auxiliaires tels les Hyménoptères parasitoïdes. Ceci renvoie à la nécessité, pour concevoir des vergers peu dépendants des pesticides, de disposer de matériel végétal peu sensible à un ensemble de bioagresseurs et présentant une résistance durable (cf. contournement, dans de nombreuses zones de production, du gène *Vf* de résistance à la tavelure) : à la fois l'amont, pour la création de gammes variétales possédant ces caractéristiques, et l'aval, pour la mise en marché de fruits issus de nouvelles variétés, sont donc interpellés par cet enjeu de réduction des pesticides en protection des cultures (Ricci et al., 2011).

Comme illustré dans ce travail, l'augmentation des ressources dans le verger repose sur des processus complexes, qu'il convient de continuer à investiguer pour mieux pouvoir les mobiliser en protection des cultures. La présence d'auxiliaires peut également s'accompagner de prédation à différentes périodes du cycle d'un ravageur (ex. prédation de puceron cendré à l'automne, lors du vol de retour ; Wyss et al., 1995) : les effets de la prédation seront alors visibles à la génération suivante et/ou au printemps suivant. Le cadre de nos études doit donc considérer avec attention cet aspect, ainsi que des effets sur des ravageurs autres que ceux ciblés (Brown, 2001).

D'autres pistes (Figure 5) seraient à explorer, en particulier celles liées à la localisation et à la reconnaissance de la plante-hôte pour proposer des vergers et aménagements limitant la perception de la plante-hôte par le ravageur (effets barrière et dilution, stratégies push-pull)... Ceci peut s'envisager au niveau des arbres en culture (clones), avec rupture de la monotonie génétique, par exemple via des mélanges variétaux ou d'espèces, et/ou plus largement dans l'espace de production, à aménager avec diverses espèces cultivées ou sauvages.

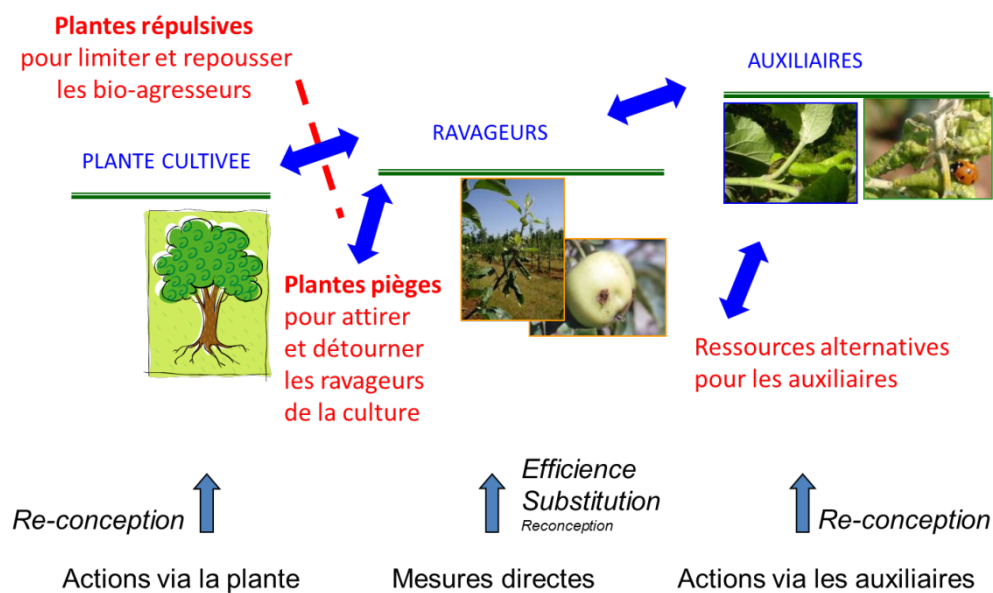


Figure 5 : Diversification végétale de l'agro-écosystème et combinaison de différentes approches pour gérer les ravageurs.

Certaines caractéristiques des vergers seraient à intensifier ou prolonger, en particulier la dimension multi-strates en vue de recréer des agrosystèmes proches d'écosystèmes plus 'naturels', dans lesquels les services écosystémiques sont importants (Malézieux, 2011). En verger, l'introduction d'une strate arbustive (buissons) au-delà des strates herbacées et arborées usuelles mériterait d'être considérée.

Enfin, se pose la question de l'échelle de gestion de la protection des cultures et des mesures agroécologiques développées. Les échelles de l'exploitation agricole et/ou du paysage sont importantes pour organiser des continuités dans le paysage, mais la présence de 'relais' intraparcelle, intra- et péri-verger mérite d'être considérée en vue de maintenir certains groupes d'auxiliaires en inter-saison, incluant la période hivernale (Sarhou et al., 2014). Un fort effet local de la présence d'habitats semi-naturels, de l'ordre de 50 à 80 m selon les taxons, est ainsi reporté par Miliczky et Horton (2005).

La plupart des vergers actuels ont été conçus en rapport avec un objectif de production, et non de régulation des bioagresseurs. Intégrer ces deux objectifs demande peut-être de réaliser certains compromis entre services écosystémiques de production et de régulation naturelle, mais surtout de reconcevoir les vergers en espaces de production de fruits qui mobilisent largement les services écosystémiques et s'appuient sur divers leviers d'action, parfois prospectifs ou encore empiriques, pour gérer les bioagresseurs à différentes échelles spatio-temporelles. Dans ce contexte, l'agroécologie peut être considérée comme une opportunité pour construire le cadre de mise en œuvre d'une telle démarche (Figure 1).

Remerciements

Les auteurs remercient Sandrine Maugin (INRA Avignon) pour la fourniture d'oeufs de carpocapse, Lachaize-Muller Amaya (INRA Avignon) pour son aide au verger et au laboratoire et toute l'équipe Système Verger Agroécologique de l'INRA Gotheron pour entretenir et faire vivre le dispositif 'BioReco' et plus particulièrement A. Fleury, L. Galet, O. Guibert, D. Riotord pour les travaux présentés ici. Ces travaux ont reçu des financements du 7^e Plan Programme de l'Union Européenne (FP7/ 2007-2013, grant agreement n°265865), et du programme ANR DynRurABio et du métaprogramme INRA SMaCH pour le financement de la thèse ayant permis l'étude de la hauteur du couvert herbacé.

Références bibliographiques

- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (eds), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref, Paris.
- Berrie A., Cross J., 2006. Development of an integrated pest and disease management system for apples to produce fruit free from pesticide residues—aspects of disease control. Bulletin IOBC/wprs 29(1), 129–138.
- Brown M.W., 2001. Flowering ground cover plants for pest management in peach and apple orchards. Bulletin IOBC/wprs 24, 379–382.
- Dib H., Simon S., Sauphanor B., Capowiez Y., 2010. The role of natural enemies on the population dynamics of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in organic apple orchards in south-eastern France. Biological Control 55, 97-109.
- Glen D.M., 1977. Predation of codling moth eggs, *Cydia pomonella*, predators responsible and their alternative prey. Journal of Applied Ecology 14, 445-456.
- Hill S.B., MacRae R.J., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 7(1), 81-87.

- Horton D.R., Broers D.A., Lewis R.R., Granatstein D., Zack R.S., Unruh T.R., Moldenke A.R., Brown J.J., 2003. Effects of mowing frequency on densities of natural enemies in three Pacific Northwest pear orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 106, 135-145.
- Landis D.A., Wratten S.D., Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45, 175-201.
- Lauri P.E., Lespinasse J.M., 2000. The Vertical Axis and Solaxe systems in France. *Acta Horticulturae* 513, 287–296.
- Malézieux E., 2011. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development* 32 (1), 15-29.
- Markó V., Keresztes B., 2014. Flowers for better pest control? Ground cover plants enhance apple orchard spiders (Araneae), but not necessarily their impact on pests. *Biocontrol Science and Technology* 24, 574-596.
- Marliac G., Simon S., Mazzia C., Penvern S., Lescourret F., Capowiez Y. Habitat management through modification of the grass cover height did not favor the predation of codling moth eggs in apple orchard. *Biocontrol*, accepté.
- Meynard J.M., 2012. La reconception est en marche ! Conclusion du Colloque 'Vers des systèmes de culture innovants et performants : de la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former'. *Innovations agronomiques* 20, 143-153.
- Miliczky E.R., Horton D.R., 2005. 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, 249–259.
- Monteiro L.B., Lavigne C., Ricci B., Franck P., Toubon J.-F., Sauphanor B., 2013. Predation of codling moth eggs is affected by pest management practices at orchard and landscape levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 166, 86-93.
- R Development Core Team, 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Réseau Dephy-FERME, 2014. Synthèse des premiers résultats à l'échelle nationale. *Ecophyto-DEPHY*, Ministère Agriculture, Onema.
- Rieux R., Simon S., Defrance H., 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73, 119-127.
- Ricci P., Bui S., Lamine C., 2011. *Repenser la protection des cultures*, Edition Quae, France, 250 p.
- Sarthou J.P., Badoz A., Vaissière B., Chevallier A., Rusch A., 2014. Local more than landscape parameters structure natural enemy communities during their overwintering in semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 194, 17–28.
- Simon S., Bouvier J.-C., Debras J.-F., Sauphanor B., 2010. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 139–152.
- Simon S., Brun L., Guinaudeau J., Sauphanor B., 2011. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 541–555.
- Simon S., Jannoyer-Lesueur M., 2014. Quelle intensification agro-écologique pour contrôler les bio-agresseurs dans les systèmes horticoles ? Contexte et cadre de réflexion. In : Lauri P.E. (éd), *Conception de systèmes horticoles innovants. Bases biologiques, écologiques et socio-économiques*. Ecole chercheur INRA-CIRAD, Sète, Hérault, 11-14 mars 2013, Formasciences, pp. 145-155.
- Straub C.S., Finke D.L., Snyder W.E., 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control* 45, 225-237.
- Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.F., Ferrer A., Peigné J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 1-20.
- Wyss E., Niggli U., Nentwig W., 1995. The impact of spiders on aphid populations in a strip-managed apple orchard, *Journal of Applied Entomology* 119, 473–478.