

Manipulations des habitats du verger biologique et de son environnement pour le contrôle des bio-agresseurs. Des éléments pour la modulation des relations arbre-ravageurs-auxiliaires

S. Simon¹, B. Sauphanor², H. Defrance¹, P.E. Lauri³

¹ : INRA, UERI Gotheron, F-26320 Saint-Marcel-lès-Valence

² : INRA, UMR 1115 PSH-EPI, Agroparc, F-84914 Avignon Cedex 9

³ : INRA, UMR DAP-AFEF, 2 Place Viala, F-34060 Montpellier Cedex 1

Correspondance : sylvaine.simon@avignon.inra.fr

Les conditions d'habitat et le niveau de ressources conditionnent la présence et le développement des espèces animales. Elles sont donc à même d'influer sur le développement des ravageurs des cultures et de leurs ennemis naturels. En vue d'optimiser la protection du verger biologique, les possibilités de manipuler l'habitat des ravageurs et des auxiliaires ont été explorées au niveau : (i) de la conduite architecturale de l'arbre et (ii) des formations arbustives (haies) de bordure de verger, avec, respectivement, étude de l'effet sur les arthropodes de modifications structurelles de la branche fruitière et de l'introduction de diversité végétale dans l'agrosystème.

Résumé :

En verger biologique, pour lequel le recours à la lutte directe contre les ravageurs est limité, les possibilités de manipulation de l'habitat des ravageurs et des auxiliaires (l'arbre fruitier et l'environnement végétal du verger) ont été explorées à partir d'expérimentations pluriannuelles en verger de pommiers biologiques et de poiriers. La conduite architecturale du pommier a un impact sur le développement de ses principaux ravageurs. Une étude comparant deux systèmes de conduite a montré un effet globalement freinant (pucerons, acariens) ou parfois favorisant (carpocapse) d'un système de conduite nouvellement mis au point et validé pour son intérêt agronomique, la conduite centrifuge, par rapport à une conduite classique en Solaxe. L'étude d'une formation arbustive expérimentale (haie de bordure) conçue pour optimiser la protection du verger de poiriers a par ailleurs permis de valider les principes de base d'une introduction raisonnée de diversité végétale dans l'environnement du verger : existence d'une succession de ressources pour les auxiliaires actifs sur le(s) ravageur(s)-clé(s) de la culture, innocuité pour les cultures (absence de ravageurs ou maladies communs avec les cultures). Ces travaux et d'autres études suggèrent que la manipulation de l'environnement végétal du verger modifie l'entomocénose. En revanche, le bénéfice potentiel en verger se limite au contrôle des ravageurs tolérés à des niveaux de population élevés.

Mots-clés : verger, arthropode, ravageur, auxiliaire, habitat, architecture de l'arbre, diversité végétale, haie

Abstract: Manipulating within-orchard and adjacent habitats to provide better pest control in organic orchards. Some elements for modulating "orchard tree-pest-natural enemy" relationships

The control of pests in organic orchards cannot solely rely on the use of direct control methods. The effect of manipulating the habitat of orchard pests and natural enemies through tree architecture and the increase of plant diversity has been investigated in an experimental organic apple orchard and in a pear orchard, in order to provide information about the potential benefits of these cultural practices. Tree training affected the development of the most detrimental pests of apple trees, and the centrifugal

training system globally provided better aphid (*Dysaphis plantaginea*) and mite (*Panonychus ulmi*) control than the more classical Solaxe system, whereas codling moth (*Cydia pomonella*) was favoured compared to Solaxe. The study of an experimental hedgerow designed to optimise protection of the pear orchard allowed us to validate the basic principles of designing plant assemblages to increase plant diversity in the orchard surroundings, namely the introduction of a succession of resources favouring the natural enemies of the key orchard pests, and to avoid detrimental effects (pests or diseases shared with the crops). This experiment and other studies suggest that manipulating the plant diversity adjacent to the orchard has an effect on entomocenosis. However, the potential benefits for the orchard only concern the control of pests that can be tolerated at high infestation rates.

Keywords: orchard; arthropod; pest; natural enemy; habitat; tree architecture; plant diversity; hedgerow.

Introduction

Une des spécificités du verger en matière de protection est liée à la pérennité de la culture, qui interdit le recours aux rotations culturales pour limiter l'impact des bio-agresseurs par le retrait de leur plante-hôte pendant une période plus ou moins longue. Les moyens de lutte directe sont par ailleurs limités en Agriculture Biologique (AB) et, lors de la conception du verger et tout au long de sa conduite, l'ensemble des facteurs de production et la combinaison de méthodes impliquant la plante-hôte, les bio-agresseurs et les ennemis naturels des ravageurs (auxiliaires) sont à considérer afin de minimiser l'impact des bio-agresseurs (Tableau 1 ; Simon *et al.*, 2001), dans une approche intégratrice de la protection du verger AB. Toutefois, il reste à quantifier l'effet des différents leviers d'action cités en termes de contrôle des bio-agresseurs et, d'autre part, à explorer la compatibilité, la synergie ou l'antagonisme de ces méthodes à effet partiel lorsqu'elles sont intégrées dans le système verger.

Tableau 1 : Protection du verger de pommiers AB et moyens d'action potentiels contre les bio-agresseurs

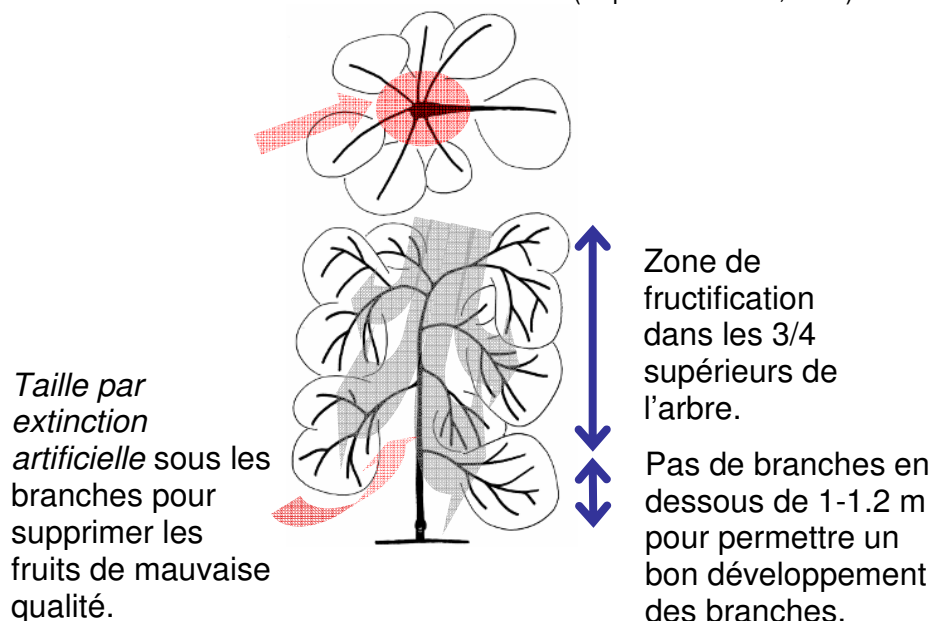
POMMIER	BIO-AGRESSEURS foliaires et carpophages	AUXILIAIRES
Installation et conduite du verger - matériel végétal : variétés peu sensibles, porte-greffe - distances de plantation - choix architectural - ajustement de la fertilisation - optimisation de l'entretien du sol sur le rang...	Prophylaxie régulière - gestion de l'inoculum d'hiver de tavelure - complément au contrôle du carpocapse Lutte directe	Environnement végétal - création de refuges (nichoirs, abris...) - aménagement d'un environnement végétal de diversité contrôlée

Dans ce cadre, nous nous proposons d'analyser l'effet de deux opérations sur les relations fonctionnelles plante-ravageurs-prédateurs : (1) la conduite architecturale de l'arbre fruitier, au sein du verger, et (2) l'aménagement de la diversité végétale de l'environnement du verger. Ces deux opérations présentent une analogie d'approche, *via* une manipulation des habitats des ravageurs et/ou auxiliaires des cultures, et correspondent par ailleurs à deux échelles de fonctionnement emboîtées et complémentaires. L'intérêt de la manipulation de l'habitat est d'autant plus important en arboriculture que la pérennité de la culture favorise le maintien des réseaux trophiques et justifie des investissements en temps ou en aménagements importants.

1. Effet de la conduite architecturale de l'arbre sur le développement des ravageurs du pommier

La conduite architecturale de l'arbre fruitier est un moyen essentiel de contrôle de la régularité et de la qualité de la production. Par ailleurs, l'effet de la conduite de l'arbre sur le développement des ravageurs est notamment étudié par rapport à la réaction de croissance de l'arbre à des opérations de taille (Koschier, 1997; Holb *et al.*, 2001; Grechi *et al.*, 2008). Dans le cadre d'une démarche de recherche applicative définissant de nouveaux concepts de conduite de l'arbre pour améliorer les résultats agronomiques (MAFCOT, 1999), nous nous sommes intéressés à l'impact de la conduite centrifuge (CC) sur le développement des ravageurs du pommier par rapport à une conduite plus classique en Solaxe (CS) (Lauri et Lespinasse, 2000). En effet, la CC englobe différentes opérations, dont l'extinction artificielle (Figure 1), qui correspond à une suppression sélective de rameaux, au stade bourgeon ou floraison, en vue de favoriser l'éclaircissement des points de croissance et de fructification dans l'arbre. L'ensemble de ces opérations modifie l'architecture de l'arbre, i.e. la nature (végétatif vs. floral) des rameaux, leurs proportions respectives, leur répartition spatiale dans l'arbre, ainsi que leur rythme de croissance (Lauri *et al.*, 2004). Ces modifications agissent potentiellement sur le micro-climat de l'arbre (Willaume *et al.*, 2004) et la ressource des ravageurs.

Figure 1 : Conduite centrifuge : principales opérations réalisées lors de la mise en œuvre de la conduite lors des trois premières années en verger. Les années suivantes, seuls un entretien du puits de lumière et une opération d'extinction artificielle sur les nouvelles croissances sont réalisés (d'après Lauri *et al.*, 2004).



1.1) Expérimentation et résultats

Les vergers d'étude (Tableau 2) sont implantés à l'Unité Expérimentale de Recherche Intégrée (UERI) INRA Gothenon (Drôme). Pour chacun, un dispositif à 4 blocs a été mis en place (une parcelle CC et une CS par bloc), avec un objectif de charge en fruits identique dans les deux modalités de conduite. Le niveau d'infestation par les ravageurs étudiés (pucerons, acariens, carpocapse) a été contrôlé par observation visuelle (ACTA, 1974) en saison et à la récolte. Quatre années d'observations ont été conduites dans le verger AB (2002-2005), mais du fait de son alternance de production, l'étude du carpocapse a été réalisée seulement en 2005 dans le verger PFI en production régulière (Simon *et al.*, 2006; Simon *et al.*, in press).

Les différences observées sont synthétisées dans le tableau 3. Le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* (Passerini), l'un des ravageurs les plus difficiles à contrôler en verger AB, se développe moins en CC qu'en CS (selon les années, -10% à -58% de rameaux infestés en CC par rapport à la CS pour la période post-florale), avec en particulier moins de dégâts sur fruits à la récolte en 2002 (7.7% en CC vs. 21.7% en CS). Pour les pucerons verts, *Aphis* spp., les résultats varient en fonction des années, avec effet favorisant de la CC lorsque le développement du puceron cendré est moindre (2002, 2004) mais effet freinant (2003) ou neutre (2005) lorsque les niveaux d'infestation des arbres CC et CS par *D. plantaginea* sont équivalents.

Tableau 2 : Vergers expérimentaux*, années d'étude et protection réalisée

	Vergers AB (2002-2005)	Vergers PFI (2005)
Variété / porte-greffe	Smoothee 2832T® / M9	Ariane / M9
Année de plantation	1994	2001
Distances plantation	4 m x 2 m	4.5 m x 2 m
Mode de production	AB (certification depuis 1997)	Conventionnel
Protection hiver	Huiles de pétrole	Huiles de pétrole
Protection puceron	Roténone (pré-floraison)	Chimique (pré- et post-floraison)
Eclaircissage	Manuel	Chimique
Protection carpocapse	Virus granulose	G1 virus granulose G2 phosalone
Conduite Solaxe	Plantation à 2001	Plantation à 2003
1 ^{re} extinction arbres CC	2002	2004

* implantés sur sol superficiel caillouteux issu de terrasses anciennes du Rhône (Diluvium)

PFI : Production Fruitière Intégrée ; CC : conduite centrifuge ; G1, G2 : 1^{re} (respectivement 2^e) génération de carpocapse

En 2002 et 2003, années avec infestation moyenne par l'acarien rouge, *Panonychus ulmi* (Koch), la CC s'accompagne d'une progression moindre de l'infestation par rapport à la CS, significative le 11 juin 2003, avec respectivement 36% et 43% de feuilles infestées en CC et en CS.

Pour le carpocapse, *Cydia pomonella* (L.), en 2005, les résultats observés indiquent un effet favorisant de la CC tout au long des deux générations, avec à la récolte 4,1% et 2,5% de dégâts sur fruits pour les arbres en CC et CS, respectivement.

Tableau 3 : Effet de la conduite centrifuge sur le développement des ravageurs par rapport à une conduite Solaxe

	Effet de la conduite centrifuge		
	Freinant ¹	Neutre ¹	Favorisant ¹
Infestation puceron cendré	2002, 2004	2003, 2005	-
Dégâts récolte puceron cendré	2002	2003 à 2005	-
Infestation pucerons verts	2003	2005	2002, 2004
Infestation acarien rouge ²	2003	2002 à 2005	-
Dégâts carpocapse fin G1 ³	-	-	2005
Dégâts carpocapse récolte ³	-	-	2005

G1 : 1^{re} génération carpocapse

¹ ANOVA, différence significative ($P = 0.05$) pour au moins une date de contrôle au cours de l'année ; variables analysées = % infestation (ravageur) ou dégâts (ravageur), transformations variables pour satisfaire aux conditions de l'ANOVA.

² niveau d'infestation très faible à nul en 2004 et 2005

³ d'après Simon et al. (in press)

1.2) Discussion et synthèse

Cette expérimentation pluriannuelle a permis de mettre en évidence des différences significatives de niveau d'infestation ou de développement des ravageurs en fonction de la conduite architecturale de l'arbre, avec, selon les années, des dégâts de puceron cendré à la récolte pouvant être 2 à 3 fois moindres en CC par rapport à la CS, alors qu'un accroissement de 64% des dégâts dus au carpocapse est relevé en CC en 2005 (1 seule année d'étude pour le carpocapse). Plusieurs hypothèses – qui ne s'excluent pas – sont envisageables (Simon *et al.*, 2006 ; Simon *et al.*, in press) : (H1) réduction d'infestation due à l'extinction artificielle, par suppression de rameaux, dont certains infestés, au sein de la branche fruitière ; (H2) diminution de la connectivité entre rameaux des arbres en CC, avec colonisation ralentie de nouveaux organes ; (H3) disponibilité en ressources modifiée par un rythme de croissance différent ; (H4) modification du microclimat ; et (H5) moindre densité de rameaux (porosité accrue) facilitant l'accès des ravageurs, dont le carpocapse, au sein de la frondaison. L'hypothèse d'une meilleure efficacité de la protection phytosanitaire due à une plus grande porosité de la frondaison en CC a été testée à deux dates dans le verger PFI en 2007 (test papiers hydrosensibles) et n'est pas plausible.

Dans la mesure où des niveaux similaires d'infestation de puceron cendré ont été observés avant extinction pour les deux conduites, H1 peut contribuer aux différences observées via une suppression d'œufs (forme hivernante sur pommier), de fondatrices ou de jeunes colonies présents dans les bourgeons ou jeunes pousses enlevés lors de l'extinction artificielle. H2 est également plausible, avec temps accru pour coloniser de nouveaux rameaux, et taux d'échec plus élevé du fait de trajets et de temps d'exposition à des prédateurs plus longs. Contrairement à l'espèce précédente, les pucerons verts recensés dans le verger immigrent depuis l'environnement, début mai. Les différences d'infestation constatées pourraient plutôt s'expliquer par H3, avec une période de croissance plus longue en CC, au bénéfice des pucerons immigrants, sans exclure la possibilité de compétition pour la ressource (rameaux en croissance) avec le puceron cendré. Pour l'acarien rouge, les résultats de 2003 sont en faveur d'une moindre progression de l'infestation en cours de saison (H2). H4 est enfin plausible pour l'ensemble de ces bio-agresseurs, même si elle est probablement moins déterminante pour les pucerons cendrés situés dans les feuilles de pommier enroulées. Enfin, la plus faible densité de rameaux observée en CC (H5) permettrait un accès facilité aux fruits à l'intérieur de la frondaison pour les femelles de carpocapse fécondées (données non présentées). Ce dernier résultat, constaté pour une seule année, demande à être confirmé dans le temps et pour différents cultivars de frondaison plus ou moins dense, pour lesquels la CC modifie plus ou moins la porosité.

En conclusion, ces observations, ainsi que différentes études ou synthèses (Chouinard *et al.*, 1994 ; Cloyd et Sadof, 2000 ; Gingras et Boivin, 2002 ; Simon *et al.*, 2007a) indiquent que l'attractivité de la plante-hôte et les conditions au sein de la frondaison (microclimat, disponibilité et accès aux ressources, aux sites de reproduction et à des espaces sans prédateurs) peuvent être significativement modulés par la conduite de l'arbre. Nos travaux montrent donc que la conduite de l'arbre peut être déterminante pour le développement des ravageurs et probablement aussi pour le niveau de prédation/parasitisme des auxiliaires en verger. De manière globale, au-delà d'effets saisonniers ou liés à la biologie des d'arthropodes impliqués, la complexité de l'architecture de l'arbre favorise les insectes phytophages et est défavorable à la recherche de proies pour la plupart des auxiliaires (Cloyd et Sadof, 2000 ; Gingras et Boivin, 2002 ; Langellotto et Denno, 2004). Les mécanismes impliqués sont toutefois peu analysés en arboriculture où le recours à la lutte directe contre les ravageurs est largement développé, y compris dans certains vergers en AB. Les traits d'architecture à privilégier vont donc varier en fonction des cultivars, de la pression des ravageurs présents, et des méthodes de lutte directe possibles.

2. Aménagement de l'environnement du verger pour favoriser les auxiliaires

Il est couramment mentionné qu'une diversification de la flore contribue au maintien et à la pérennité du complexe de prédateurs et de parasitoïdes à même d'être actif sur une culture (ex. des aphidiphages : Chaubet, 1993). Les aménagements relevant de cet objectif procèdent d'une démarche de lutte biologique par conservation (Barbosa, 1999). Une augmentation de la diversité végétale s'accompagne ainsi d'une augmentation de la diversité animale, dont entomologique. En réponse, il est attendu une augmentation de la régulation naturelle de certains ravageurs des cultures (*via* une augmentation de l'abondance et de la diversité des entomophages). Mais, l'effet de la diversité végétale et de la conservation des habitats sur les populations d'arthropodes ravageurs et auxiliaires relève de phénomènes nombreux et complexes (Russell, 1989 ; Landis *et al.*, 2000), et les effets de la manipulation de la diversité végétale peuvent se révéler aussi bien bénéfiques que préjudiciables pour la culture (Solomon, 1981 ; Gruys, 1982 ; Bugg et Waddington, 1994 ; Rieux, 1994 ; Boller *et al.*, 2004 ; Debras *et al.*, 2007). De même, les réponses en termes de prédation d'un aménagement du couvert herbacé peuvent se révéler contradictoires en fonction du site d'expérimentation (Wyss, 1995 ; Vogt et Weigel, 1999).

Dans le cadre de la création d'aménagements de l'environnement du verger, les principes et limites de la démarche seront développés et/ou discutés pour deux composantes, la haie et les couverts herbacés. Le travail expérimental présenté est basé sur un dispositif arbustif dédié à la manipulation des diversités végétale et entomologique de l'environnement du verger de poiriers.

2.1) Expérimentation

La haie expérimentale étudiée a été implantée en 1995 en bordure de verger de poiriers à l'UERI Gotheron. Sur la base de connaissances préalables du peuplement entomologique de nombreuses essences (Sarhou, 1995 ; Simon *et al.*, 1997 ; Rieux *et al.*, 1999), sa composition a intégré des essences susceptibles d'héberger des auxiliaires actifs contre un des ravageurs-clés du poirier, le psylle du poirier, *Cacopsylla pyri* (L.). De 1998 à 2001, un battage bi-mensuel de 30 rameaux par essence tout au long de la saison végétative a permis de récolter les arthropodes présents dans la frondaison. L'analyse, effectuée au niveau du groupe fonctionnel, a été réalisée à partir des effectifs cumulés par essence.

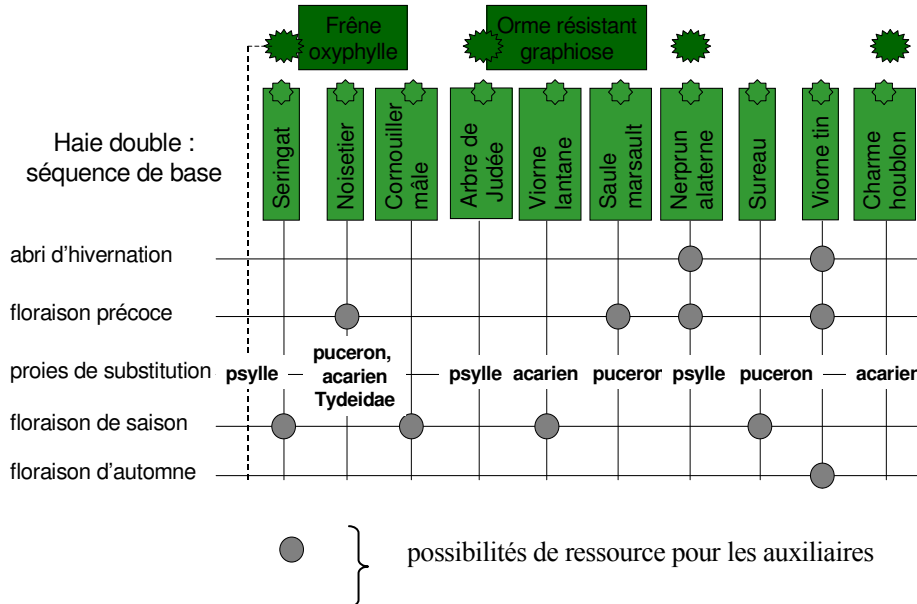
Plus de 40 000 arthropodes ont été récoltés au cours de l'expérimentation. Les essences implantées hébergent généralement des phytophages spécifiques (Figure 2), qui ne se développent donc que sur leur plante-hôte. Leur présence à des effectifs parfois élevés contribue probablement à limiter par compétition les effectifs de phytophages polyphages, qui ne sont que peu recensés. Tout au long de la saison, plusieurs groupes d'auxiliaires sont hébergés : prédateurs de psylle au printemps (Anthocorides recensés sur noisetier, nerprun alaterne, arbre de Judée) et en été (noisetier), prédateurs d'acariens (*Orius* spp. et/ou acariens prédateurs sur noisetier, saule, nerprun alaterne) ; aphidiphages (Hyménoptères parasitoïdes, syrphes, chrysopes... sur sureau, noisetier, viorne tin) ; prédateurs de régulation : araignées, forficules... (cornouiller, seringat, viornes, charme)...

Le maintien d'un cortège diversifié d'auxiliaires est donc permis par la combinaison d'une succession de ressources :

- abri d'hivernation avec des essences à feuilles persistantes (viorne tin, nerprun alaterne) ;
- nourriture précoce (pollen des floraisons de noisetier et saule), qualitativement importante pour la reproduction (ex. acquisition de la maturité ovarienne pour les punaises prédatrices) ;
- proies de substitution, constituées par les phytophages spécifiques (psylles de l'arbre de Judée, du frêne ; pucerons du sureau, du noisetier...)

- nectar et pollen lors des floraisons de saison (sureau, viorne lantane) et d'automne-hiver (viorne tin, nerprun alaterne), attractifs pour de nombreux groupes d'auxiliaires, notamment les aphidiphages (Hyménoptères parasitoïdes, syrphes...).

Figure 2 : Haie expérimentale destinée au verger de poiriers : ressources fournies aux auxiliaires



2.2) Discussion et synthèse

L'objectif de création d'une diversité contrôlée dans l'environnement du verger de poiriers a donc été atteint, *via* l'implantation d'un nombre d'essences restreint (par rapport à une formation arbustive spontanée), mais avec sélection de chacune d'entre elles sur la base de connaissances de son peuplement entomologique. Ces espèces sont sélectionnées car elles hébergent une large gamme d'auxiliaires actifs sur les principaux ravageurs du poirier tout en minimisant de potentiels effets préjudiciables (ravageur ou maladie en commun avec le verger).

Les aménagements du système de production par modification de sa diversité botanique doivent, d'une part, limiter les risques d'interactions préjudiciables à la production (aspects phytopathologiques) et, d'autre part, fournir des ressources successives (abri, nourriture) aux auxiliaires, permettant leur maintien et leur multiplication à proximité de la culture. Dans un but de protection des cultures, une augmentation importante des diversités botanique et entomologique n'est pas un objectif en soi. Une démarche pertinente consiste à favoriser la diversité fonctionnelle du système (Brown, 2001) et à enrichir la biocénose en une gamme d'auxiliaires particuliers, ceux intervenant dans la limitation du (des) ravageur(s) prépondérant(s) de la culture (Rieux, 1994 ; Rieux *et al.*, 1999 ; Irvin *et al.*, 2006).

L'effet de la haie étudiée sur la densité d'auxiliaires du verger adjacent n'a pas été mesuré dans le cadre de ce travail mais a été abordé par d'autres études ainsi que par différents auteurs. Les bénéfiques en termes de contrôle des principaux ravageurs du verger sont souvent partiels et insuffisants pour permettre de supprimer la protection phytosanitaire. Ainsi, la présence accrue d'auxiliaires dans le couvert herbacé ne s'accompagne pas toujours d'un contrôle accru des pucerons en verger de pommiers AB (Simon *et al.*, 2007b). Toutefois, dans le cas de ravageurs tolérés à des niveaux de population relativement élevés, l'interaction composante végétale/verger peut être effective et la réponse, en termes de prédation, contribue au contrôle de ces ravageurs (Croft, 1982 ; Alston, 1994 ; Tuovinen, 1994 pour les acariens ; Rieux *et al.*, 1999 ; Debras, 2007 ; Debras *et al.*, 2007 pour le psylle du poirier). Il y a par ailleurs consensus sur l'intérêt d'une diversité contrôlée en tant que facteur de

« stabilité » pour le verger ; elle contribue à la recolonisation de la culture depuis l'environnement (Kozar *et al.*, 1994) et favorise la présence de prédateurs généralistes à même de réguler de faibles niveaux de population de ravageurs.

Conclusion générale

Les résultats issus de ces expérimentations indiquent que la manipulation des habitats du verger AB peut contribuer à : i) limiter le développement de certains ravageurs et ii) renforcer et maintenir le cortège d'auxiliaires à proximité du verger. Ces manipulations peuvent également engendrer des effets contre-productifs, par exemple en favorisant le carpocapse via une augmentation de la porosité de la frondaison du pommier, ou encore en permettant le développement de ravageurs ou maladies des cultures par le choix d'essences-hôtes dans les haies implantées. La pression locale des ravageurs doit donc orienter le choix d'un système de conduite de l'arbre ; il est enfin actuellement possible, sur la base de synthèses bibliographiques ou de documents de vulgarisation, de sélectionner les essences à planter dans une haie, en fonction des conditions pédo-climatiques, de leur richesse en auxiliaires et de la connaissance de ses phytophages et maladies. Pris séparément, les bénéfices potentiels de ces deux approches (manipulation de l'architecture de l'arbre, implantation de haie) restent partiels et, sauf exception, en deçà de l'efficacité d'une lutte directe (même en AB), et seuls les ravageurs pour lesquels des niveaux de populations élevés peuvent être tolérés (acariens, psylles par ex.) sont à même d'être régulés. Dans l'état actuel des connaissances sur la manipulation des habitats du verger, des leviers d'action permettant de limiter le développement des ravageurs existent au niveau de la plante-hôte (approche bottom-up) et des ennemis naturels des ravageurs (approche top-down). Cette manipulation d'éléments structuraux et fonctionnels au sein du verger et de son environnement, qui module la relation arbre-ravageurs-auxiliaires via l'habitat, trouve sa place dans le verger AB, mais reste à combiner à d'autres méthodes de contrôle des ravageurs. La compréhension des mécanismes intervenant dans ces manipulations est par ailleurs nécessaire à l'optimisation de cette approche. Afin de maximiser les bénéfices en termes de contrôle des principaux ravageurs du verger, il est nécessaire de mobiliser deux types de connaissances, d'une part sur la biologie des taxons (ravageurs, auxiliaires) ayant un impact agronomique et notamment leurs possibilités de déplacement (Miliczky et Horton, 2005), d'autre part et de manière plus générale dans les domaines de l'écologie, écologie du paysage, agronomie et écotoxicologie. Corrélativement, différentes échelles d'étude et/ou d'action (Deguine et Ferron, 2004) sont indispensables, avec des approches expérimentales et/ou de modélisation pour les manipulations de diversité envisagées.

Références bibliographiques :

- ACTA 1974. Pommier : Contrôles Périodiques en Verger, Vol. III., ACTA, Paris, France.
- Alston D., 1994. Effect of apple orchard floor vegetation on density and dispersal of phytophagous and predaceous mites in Utah. *Agric. Ecosyst. Environ.* 50, 73-84.
- Barbosa P., 1999. *Conservation Biological Control*. Academic Press, San Diego, USA.
- Boller E.F., Häni F., Poehling H.M., 2004. *Ecological infrastructures: ideabook on functional biodiversity at the farm level*. Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau, Suisse.
- Brown M.W., 2001. Functional biodiversity and agro-ecosystems management: 2. role in integrated fruit production. *Bull. OILB/srop.* 24, 5-11.
- Bugg R.L., Waddington C., 1994. Using cover crops to manage arthropod pests of orchards: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 50, 11-28.
- Chaubet B., 1993. Diversité écologique, aménagement des agro-écosystèmes et favorisation des ennemis des cultures: cas des aphidiphages. *Courr. Cell. Environ. INRA.* 18, 45-63.

- Chouinard G., Hill S.B., Vincent C., 1994. Spatial distribution and movements of plum curculio adults within caged apple trees. *Entomol. Exp. Appl.* 70, 129-142.
- Cloyd R.A., Sadof S.S., 2000. Effects of plant architecture on the attack rate of *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the Citrus mealybug (Homoptera: Pseudococcidae). *Environ. Entomol.* 29, 535-541.
- Croft B.A., 1982. Management of apple orchard weeds to improve biological control of spider mites. *Abstracts Meet. Weed Sci. Soc. Am.* 257, 134.
- Debras J.-F., 2007. Rôles fonctionnels des haies dans la régulation des ravageurs : Le cas du psylle *Cacopsylla pyri* L. dans les vergers du sud-est de la France. Thèse de doctorat de l'Université d'Avignon, Sciences de la vie. 239 p.
- Debras J.-F., Dussaud A., Rieux R., Dutoit T., 2007. Recherche prospective sur le rôle «source» des haies en production fruitière intégrée. Le cas des perce-oreilles : *Forficula auricularia* L. et *F. pubescens* Gené. *C.R. Acad. Sc.* 330, 664-673.
- Deguine J.-P., Ferron P., 2004. Protection des cultures et développement durable, bilan et perspectives. *Courrier Cell. Env. INRA.* 52, 57-65.
- Gingras D., Boivin G., 2002. Effect of plant structure, host density and foraging duration on host finding by *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Environ. Entomol.* 31, 1153-1157.
- Grechi I., Sauge M.-H., Sauphanor B., Hilgert N., Senoussi R., Lescourret F., 2008. How does winter pruning affect peach tree-*Myzus persicae* interactions? *Entomol. Exp. Appl.* 128, 369-379.
- Gruys P., 1982. Hits and misses. The ecological approach to pest control in orchards. *Entomol. Exp. Appl.* 31, 70-87.
- Holb I.J., Gonda I., Bitskey K., 2001. Pruning and incidences of diseases and pests in environmentally oriented apple growing systems: some aspects. *Int. J. Hort. Sci.* 7, 24-29.
- Irvin N.A., Scarratt S.L., Wratten S.D., Frampton C.M., Chapman R.B., Tylanakis J.M., 2006. The effects of floral understoreys on parasitism of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) on apples in New Zealand. *Agric. Forest Entomol.* 8, 25-34.
- Koschier E., 1997. Einfluß verschiedener Baumschnittmaßnahmen auf die Populationsdynamik der Obstbaumspinnmilbe (*Panonychus ulmi* Koch) und der Apfelrostmilbe (*Aculus schlechtendali* Nalepa) auf Apfelbäumen. *Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Fruchteverwertung.* 47, 44-55.
- Kozár F., Brown M.W., Lightner G., 1994. Spatial distribution of homopteran pests and beneficial insects in an orchard and its connection with ecological plant protection. *J. Appl. Entomol.* 117, 519-529.
- Landis D.A., Wratten S.D., Gurr G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 175-201.
- Langellotto G.A., Denno R.F., 2004. Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. *Oecologia.* 139, 1-10.
- Lauri P.E., Lespinasse J.M., 2000. The Vertical Axis and Solaxe systems in France. *Acta Hort.* 513, 287-296.
- Lauri P.E., Willaume M., Larrive G., Lespinasse J.M., 2004. The concept of centrifugal training in apple aimed at optimizing the relationship between growth and fruiting. *Acta Hort.* 636, 35-42.
- MAFCOT 1999. Maîtrise de la Fructification, Concepts et Techniques. Dossier conduite du pommier - Branche Fruitière et extinction. *Réussir Fruits Légumes.* 173, 27-34.
- 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. *Biol. Control.* 33, 249-259.
- Rieux R., 1994. Et si l'on pouvait aménager l'environnement végétal des cultures pour manipuler les auxiliaires ? *Fruit belge* 447, 9-16.

- Rieux R., Simon S., Defrance H., 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 73, 129-140.
- Russell E.P., 1989. Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environ. Entomol.* 18, 590-599.
- Sarthou J.P., 1995. Haies composites et protection biologique : l'entomofaune associée aux essences ligneuses. In : Corroyer N., Garapon D., Arnal A. (Eds.), *Mise en place et développement de haies composites en arboriculture AB*. GRAB Avignon, Annexe 2.
- Simon S., Defrance H., Rieux R., 1997. Etude d'une haie composite et modes de conduite du couvert du sol dans un verger de poiriers. In : ANPP, 4e Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, p. 355-362.
- Simon S., Corroyer N., Xavier-Getti F., Girard T., Combe F., Fauriel J., Bussi C., 2001. Protection phytosanitaire en arboriculture biologique. 1ères rencontres INRA – ITAB, Paris, 22 mars 2001.
- Simon S., Lauri P.E., Brun L., Defrance H., Sauphanor B., 2006. Does manipulation of fruit-tree architecture affect the development of pests and pathogens? A case study in an organic apple orchard. *J. Hort. Sci. Biotechn.* 81, 765-773.
- Simon S., Sauphanor B., Lauri P.E., 2007a. Control of fruit tree pests through manipulation of tree architecture. *Pest Techn.* 1, 33-37.
- Simon S., Defrance H., Sauphanor B., 2007b. Effect of codling moth management on orchard arthropods. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122, 340-348.
- Simon S., Miranda C., Brun L., Defrance H., Lauri P.E., Sauphanor B. Effect of centrifugal training on pests and pathogens in apple orchards. *Bull. OILB/srop*, in press.
- Solomon G., 1981. Windbreaks as a source of orchard pests and predators. In: Thresh J.M. (Ed.), *Pests, pathogens and vegetation: the role of weeds and wild plants in the ecology of crop pests and diseases*. Pitman Books Ltd., London, p. 273-283.
- Tuovinen T., 1994. Influence of surrounding trees and bushes on the phytoseiid mite fauna on apple orchard trees in Finland. *Agric. Ecosyst. Environ.* 50, 39-47.
- Vogt, H., Weigel, A., 1999. Is it possible to enhance the biological control of aphids in an apple orchard with flowering strips? *Bull. OILB/srop* 22, 39-46.
- Willaume M., Lauri P.E., Sinoquet H., 2004. Canopy architecture manipulation in apple trees via centrifugal training optimizes light interception by fruiting laterals. *Trees - Structure and Function.* 18, 705-713.
- Wyss, E. 1995. The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomol. Exp. Appl.* 75, 43-49.