



**HAL**  
open science

## Le pommier et ses bioagresseurs – Les composantes dynamique et structurelle de l’architecture de l’arbre modulent les dynamiques d’infestation et d’infection

Pierre-Eric Lauri, Sylvaine S. Simon, Laurent Brun, K. Morel, Freddy Combe, H. Defrance, J.L. Hemptinne, B. Hucbourg, Jean-Luc J.-L. Regnard

### ► To cite this version:

Pierre-Eric Lauri, Sylvaine S. Simon, Laurent Brun, K. Morel, Freddy Combe, et al.. Le pommier et ses bioagresseurs – Les composantes dynamique et structurelle de l’architecture de l’arbre modulent les dynamiques d’infestation et d’infection. *Innovations Agronomiques*, 2011, 15, pp.65-77. hal-02643033

**HAL Id: hal-02643033**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02643033>**

Submitted on 28 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

## Le pommier et ses bioagresseurs – Les composantes dynamique et structurelle de l'architecture de l'arbre modulent les dynamiques d'infestation et d'infection.

Lauri P.-E.<sup>1</sup>, Simon S.<sup>2</sup>, Brun L.<sup>2</sup>, Morel K.<sup>2</sup>, Combe F.<sup>2</sup>, Defrance H.<sup>2</sup>, Hemptinne J.-L.<sup>3</sup>, Hucbourg B.<sup>4</sup>, Regnard J.-L.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>INRA, UMR AGAP 1334, 34398 Montpellier Cedex 05, France

<sup>2</sup>INRA, UE 695 Recherches intégrées, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence, France

<sup>3</sup>ENFA, UMR 5174, 31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>4</sup>GRCETA de Basse Durance, 13210 St Rémy de Provence, France

<sup>5</sup>Montpellier SupAgro, UMR AGAP 1334, 34398 Montpellier Cedex 05, France

Correspondance : lauri@supagro.inra.fr

### Résumé :

Dans le cadre des recherches sur les résistances durables du pommier aux bioagresseurs, nos travaux ont porté sur l'oïdium (*Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salmon) et le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea* (Passerini)). La maîtrise de ces deux bioagresseurs est en effet impérative en verger pour maintenir une production de qualité. Les effets de deux composantes de l'architecture de l'arbre ont été explorés sur deux cultivars issus des programmes de sélection INRA, 'Pitchounette' et 'Ariane'. Le premier est la dynamique de croissance du rameau principalement en relation avec la sensibilité des feuilles, celle-ci étant probablement liée à un aspect trophique (attractivité des feuilles pour le puceron) et/ou à la mise en place d'une résistance ontogénique chez la feuille dont la phase d'expansion est terminée (oïdium). Le second est la structure de la branche qui agit sur sa colonisation par le puceron cendré. Nos résultats confirment la différence de sensibilité aux bioagresseurs généralement constatée entre les deux cultivars étudiés ('Pitchounette' moins sensible qu' 'Ariane'). De façon générale, la conduite de l'arbre agit peu sur l'épidémiologie de l'oïdium alors qu'elle modifie significativement l'infestation par le puceron cendré. Pour l'oïdium, nous confirmons l'importance de la résistance ontogénique foliaire : les feuilles jeunes sont plus sensibles aux contaminations secondaires que les feuilles âgées. Pour le puceron cendré, l'ordre de ramification, corrélé positivement au nombre d'intersections entre deux points de croissance adjacents, est un facteur important pour expliquer l'effet significatif de la conduite sur la dynamique d'infestation. En conclusion, cette étude confirme le rôle fondamental de la sélection génétique dans la recherche de cultivars peu sensibles ou résistants aux bioagresseurs. La conduite de l'arbre est un des éléments pouvant moduler partiellement les dynamiques d'infestation et d'infection des bioagresseurs.

**Mots-clés** : architecture de l'arbre, conduite de l'arbre, conduite centrifuge, croissance du rameau, ordre de ramification, oïdium, pommier, puceron cendré, sensibilité ontogénique

**Abstract:** Apple trees and its diseases and pests: dynamic and structural components of tree architecture influence dynamics of infestation and infection.

Tree architecture refers to the spatial organization of shoots and branches within the tree crown and also to the dynamics of shoot growth. Our aim was to investigate the effects of these two tightly related aspects on dynamics of infection of a disease, the powdery mildew (*Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salmon) and dynamics of infestation of a pest, the rosy apple aphid (RAA) (*Dysaphis plantaginea* (Passerini)) on the apple. Two INRA-bred scab-resistant (*Vf*) cultivars, 'Pitchounette' and 'Ariane', were

chosen and trained according to two contrasted architectural managements referring to existing training systems. The Centrifugal training system is characterized by the removal of spurs along the branch to decrease branching density. This procedure increases light penetration within the crown and improves fruit quality and return-bloom. Centrifugal training was compared to a previously developed training system where branching density was not changed, the Solaxe. Our results first confirmed the low susceptibility of 'Pitchounette' to powdery mildew and to RAA, compared to 'Ariane'. Second, secondary powdery mildew infection was not consistently affected by training but was highly related to leaf age: an ontogenic resistance was demonstrated on old (roughly more than 15 day-old) leaves whereas young leaves were highly infected. RAA infestation dynamics was related to both an ontogenic resistance (old leaves less infested than young leaves) and was also driven by a main architectural component, the degree of branching. Indeed, a pattern of within-branch short-distance dissemination was confirmed and the number of branching points between two shoots exerted a high constraint on this infestation pattern. As a whole, our study reinforces the interest to breed apple cultivars for partial resistance against pests and diseases. For a given genotype, tree architecture manipulation, developed through improved training management procedures, may be an efficient although partial means to decrease infection and infestation dynamics.

**Keywords:** apple, branching order, Centrifugal training, powdery mildew, ontogenic resistance, rosy apple aphid, shoot growth, tree architecture, tree training

## Introduction - Quelles solutions alternatives pour limiter l'utilisation des produits phytosanitaires ?

En France, l'arboriculture fruitière consomme environ 4% des fongicides et 21% des insecticides utilisés en agriculture, alors que la surface agricole occupée n'est que de 1% (Codron *et al.*, 2003). Le pommier est probablement l'espèce la plus traitée avec en moyenne 36,5 traitements par an dont 16 uniquement contre la tavelure, maladie considérée comme majeure car pouvant toucher les fruits et les rendant impropres à la commercialisation (Sauphanor *et al.*, 2009). Les méthodes classiques de lutte chimique, basées sur l'utilisation de matières actives de synthèse ont certes permis pendant les dernières décennies de contrôler efficacement les maladies et ravageurs mais il est maintenant acquis que l'agriculture doit fortement diminuer l'usage de ces produits. Cette évolution repose sur trois faits majeurs. Le premier est celui de la résistance acquise par divers bioagresseurs vis-à-vis des matières actives auxquelles ils sont exposés, entraînant en retour une course sans fin de l'industrie chimique à la recherche de nouvelles molécules actives (voir l'exemple des arthropodes analysé par Hoskins et Gordon, 1956). Le deuxième est celui de la toxicité des produits de synthèse non seulement pour l'être humain mais également pour l'environnement biotique en général ([http://www.rhone-alpes.ecologie.gouv.fr/bassin\\_rmc/poll\\_agricoles\\_phyto.htm](http://www.rhone-alpes.ecologie.gouv.fr/bassin_rmc/poll_agricoles_phyto.htm) ; Jas, 2010). Enfin, et en réaction notamment au deuxième point, l'arsenal législatif mis en place tant au niveau national (suite au Grenelle de l'environnement de l'été 2007) qu'europpéen, a conduit à un encadrement strict de l'utilisation des pesticides et au retrait du marché de nombreux produits phytosanitaires d'usage courant en verger de production (<http://www.legrenelle-environnement.fr/-Loi-Grenelle-1-.html>).

L'expertise commune que nous avons développée en verger de production et en station expérimentale, à l'UERI de Gotheron notamment, nous montre qu'il est souvent difficile de substituer un produit chimique de synthèse efficace contre un ou plusieurs bioagresseurs par une méthode alternative unique. Ce constat est également valable pour les sources génétiques de résistances. Un exemple actuel en est le contournement de la résistance génétique à la tavelure liée au gène *Vf*, provenant de *Malus floribunda* 821 (Parisi *et al.*, 1993). Dans ce contexte, le défi est donc celui de la mise en œuvre de plusieurs moyens de lutte conjuguant notamment génétique - mécanismes de résistance et/ou de

tolérances - de la plante hôte, mesures prophylactiques, gestion de l'environnement abiotique et biotique de l'arbre dans et autour du verger et conduite proprement dite de l'arbre. Ce changement de paradigme implique de mobiliser un vaste ensemble de connaissances portant sur la plante hôte et le bioagresseur à différents niveaux : génomique, génétique, physiologie, écologie, techniques culturales... Il faut ensuite extraire de ces connaissances les éléments pertinents d'application et les combiner de façon optimale en verger, notamment en travaillant leurs articulations spatiale et temporelle.

## 1. La manipulation de l'architecture comme méthode à effet partiel pour contrôler la dynamique d'infestation et d'infection des bioagresseurs – Réflexions pour la mise en place d'un essai

Une des disciplines mobilisées dans notre travail<sup>1</sup> est l'architecture de l'arbre (Hallé *et al.*, 1978 ; Bell, 1991). Cette discipline combine étroitement deux composantes, spatiale et temporelle. Par architecture de l'arbre, nous comprenons en effet l'identification des constituants morphologiques (organes végétatifs : feuille et entre-nœud, axe, branche, tronc ; organes florifères), leurs combinaisons spatiales topologiques (succession linéaire des croissances annuelles ou ramification) et géométriques (dimension et orientation des organes dans l'espace), et leur mise en place dans le temps. Chaque cultivar peut être caractérisé par un syndrome architectural propre - conjuguant des traits de croissance, de ramification et de floraison/fructification - dont la connaissance fine permet l'élaboration d'une stratégie de conduite optimale adaptée au cultivar (Lauri et Laurens, 2005 ; Lauri, 2008 ; Lauri *et al.*, 2009 ; Lauri *et al.*, 2011). Le fait que des caractéristiques architecturales, génétiquement déterminées, participent à la résistance ou la tolérance de la plante à divers bioagresseurs est connu. Différents processus ont été décrits : évitement par une phénologie décalée ou une récolte anticipée, forme des feuilles, des fleurs ou des fruits ne permettant pas la ponte des œufs ou la contamination par une spore de champignon, espacements entre organes (Ando *et al.*, 2007 et références citées). Ces caractéristiques architecturales sont *a priori* indépendantes des aptitudes de résistance ou de tolérance aux différents bioagresseurs, elles aussi génétiquement déterminées et liées à des mécanismes physiologiques de mieux en mieux élucidés (ex. émission de composés volatiles ; Poelman *et al.*, 2008). L'analyse des effets propres de l'architecture de l'arbre sur la dynamique d'infestation et d'infection par les bioagresseurs ne peut donc être travaillée que par des manipulations architecturales précises sur un cultivar donné.

Suite à de précédents travaux montrant un effet significatif de la manipulation architecturale de l'arbre sur le cortège de bioagresseurs du pommier (Simon *et al.*, 2006 ; Simon *et al.*, 2007 ; Simon *et al.*, 2009), nous ciblons cet article sur deux composantes de l'architecture, la structure spatiale et sa mise en place temporelle. La présente étude, complémentaire de ces premiers travaux, porte sur un pathogène, l'oïdium (*Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salmon), et un insecte, le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea* (Passerini)). Ces deux bioagresseurs peuvent en effet occasionner des dégâts importants, qu'il faudra maîtriser dans la perspective de suppression programmée de certaines matières actives de synthèse. Par commodité, dans la suite du texte, nous parlerons d'« effet de l'architecture sur le bioagresseur » sachant qu'il s'agit spécifiquement ici des effets comparés de deux types de manipulation architecturale ou conduite. Ces deux conduites, conduite en Solaxe développée il y a une quinzaine d'années, et Conduite Centrifuge développée il y a moins de 10 ans, sont caractérisées chacune par des itinéraires techniques maintenant bien formalisés (Lauri *et al.*, 2004 ; Lauri 2008).

<sup>1</sup> CTPS 2007-2009 - Intitulé du programme : Architecture de l'arbre et conduite en verger : une pratique culturale permettant d'augmenter l'efficacité des résistances partielles aux bioagresseurs en vergers de pommiers. En réponse à l'appel à proposition CTPS : Durabilité des résistances variétales à des bioagresseurs. Date de notification : 19/12/2006

## 2. Choix du matériel végétal et identification de variables architecturales modulant infestation et infection par les bioagresseurs

### 2.1) Éléments de méthodologie

#### 2.1.1) Choix des cultivars et gestion de la conduite

L'expérimentation porte sur deux cultivars de pommier : 'Ariane' INFEL® 6407 (de la gamme NATURIANE®, inscription au catalogue officiel des cultivars en 2002) et 'Pitchounette' INFEL® 3318, issus de la collaboration INRA – Partenaires privés (NOVADI). Ces deux cultivars résistants à la tavelure (gène *Vf*) présentent des résistances partielles à l'oïdium ('Ariane' plus sensible que 'Pitchounette'; Combe *et al.*, 2005) et au puceron cendré ('Ariane' plus sensible que 'Pitchounette' ; Gomez, 2009 ; Parveaud *et al.*, 2010).

Les résultats de notre essai sont obtenus sur le verger expérimental de l'UERI de Gotheron entre 2007 et 2009. Les arbres sont plantés à une densité de 1100 arbres/ha, avec 4,5 m entre rangs et 2 m sur le rang. Le dispositif expérimental est composé de parcelles élémentaires avec 4 répétitions. Les arbres sont greffés sur un porte-greffe classique en verger de production, M9 EMLA. Ils sont âgés de 7 ans en début d'expérimentation et donc à maturité de production. Pour éviter l'installation de souches de *Venturia inaequalis* virulentes vis-à-vis du gène *Vf*, la litière foliaire a été broyée chaque hiver pour accélérer sa décomposition et détruire les formes de conservation hivernale du pathogène. Aucune application de fongicides n'a été réalisée sur 'Pitchounette' depuis la plantation. Sur 'Ariane', des applications de fongicides spécifiques anti-oïdium n'ont été réalisées chaque année qu'après les observations, en une ou deux fois de la fin mai à mi-juin.

Les deux modes de conduite analysés confèrent aux arbres des formes cylindriques à tronconiques semblables correspondant au standard actuel des vergers français. Le volume des arbres est toutefois plus important qu'en verger de production, lié aux distances plus grandes sur le rang. Ces deux systèmes sont basés sur un axe central vertical portant des branches régulièrement espacées, arquées naturellement ou artificiellement à l'aide de liens. Les différences entre les deux modes de conduite sont surtout marquées au niveau des branches avec une gestion contrastée des organes de fructification :

- Conduite en « Solaxe » : tous les rameaux portant ou non des organes de fructification sont conservés ; le contrôle de la charge en fruit se fait uniquement par éclaircissage chimique et manuel.
- « Conduite Centrifuge » : la charge en fruit est ajustée par l'enlèvement à la floraison d'une certaine proportion des rameaux porteurs de fruits (« extinction artificielle ») le long du tronc, à la base des branches et dans tous les sites potentiellement défavorables à la qualité des fruits (Lauri, 2002).

Pour les deux bioagresseurs considérés, oïdium et puceron cendré, notre niveau d'analyse a donc été la branche. Ce niveau d'intégration présente également l'avantage d'être l'unité opérationnelle pour le producteur (Lauri *et al.*, 2004).

#### 2.1.2) Suivi des bioagresseurs et niveaux d'analyses

##### 2.1.2.1) Oïdium : rappel de sa biologie et mesures réalisées

La conservation hivernale de l'Oïdium se réalise sous forme de mycélium dans les bourgeons. Au printemps, à partir du débourrement, le mycélium reprend son activité et contamine l'ensemble des feuilles préformées issues de ces bourgeons contaminés, puis, dès leur apparition, les feuilles néoformées. Il s'agit de l'inoculum primaire. Sur ces rameaux oïdiés, des conidies sont produites qui, disséminées par le vent, vont pouvoir atteindre des feuilles saines et les contaminer. Il s'agit de contaminations secondaires ; on parle aussi d'inoculum secondaire.

Sur les deux cultivars observés, les niveaux d'inoculum primaire sont restés relativement faibles tout au long de l'étude. Nos observations ont donc porté sur l'oïdium secondaire. Elles ont été réalisées durant la période de croissance active des rameaux :

- de 2002 à 2008, le pourcentage de feuilles oïdiées sur les 5 feuilles situées en dessous de la dernière feuille déroulée a été observé, en mai et juin, sur un échantillon de 50 à 100 rameaux par conduite ;
- en 2007 et 2008, 25 rameaux végétatifs et 25 pousses de bourse (rameaux associés aux inflorescences) par parcelle élémentaire, soit 200 rameaux au total par conduite ont été repérés en début de saison. Le pourcentage de feuilles oïdiées a été observé sur ces rameaux à des stades phénologiques équivalents en 2007 (10 et 29 mai) et 2008 (5 et 19 mai).
- en 2008, sur 'Ariane', la totalité des feuilles de 8 branches par conduite a été observée. Pour chaque feuille, nous avons noté i) sa position (feuille préformée dans le bourgeon hivernal, ou néoformée c'est-à-dire apparue au cours de la saison de végétation), ii) le type de rameau porteur (végétatif ou pousse de bourse issue d'un bourgeon floral), et iii) la présence ou non d'oïdium.

### 2.1.2.2) Puceron cendré : rappel de sa biologie et mesures réalisées

Plusieurs générations parthénogénétiques de puceron cendré se succèdent sur pommier au printemps à partir des fondatrices issues des œufs d'hiver. Les colonies primaires puis secondaires se développent dans l'arbre, puis des formes ailées apparaissent assurant la migration du puceron vers son hôte secondaire, le plantain, où une nouvelle phase parthénogénétique intervient. Le vol de retour sur pommier à l'automne précède la reproduction sexuée et la ponte.

La dynamique d'infestation du puceron cendré a été analysée sur des branches entières au printemps, au cours de la phase de multiplication des formes aptères. Les relevés sont effectués sur deux branches par parcelle élémentaire et par mode de conduite, soit huit branches par mode de conduite. Les branches sont âgées de 6 ans en 2007. L'architecture de la branche est analysée à partir de l'étude précise de la disposition des rameaux d'âges différents dans le complexe ramifié. Chaque rameau en cours de croissance est caractérisé par les variables suivantes : longueur (court :  $\leq 5$  cm; long :  $> 5$  cm), état de croissance (oui/non), ordre de ramification en considérant que l'axe principal de la branche est d'ordre 0 et sévérité de l'infestation (classes d'infestation).

## 2.2) Résultats saillants

### 2.2.1) La sensibilité génétique du cultivar aux bioagresseurs est l'élément clé du succès ou non de l'infection ou de l'infestation - choix des cultivars pour la suite de l'étude

Notre étude confirme les différences de sensibilité entre les 2 cultivars à l'oïdium (Figure 1). En effet, le développement de l'oïdium sur les feuilles est resté très limité sur 'Pitchounette' durant les 8 années d'observation depuis la plantation, malgré l'absence de protection fongicide. Par contre sur 'Ariane', et malgré la présence d'une protection fongicide, de forts pourcentages de feuilles oïdiées ont été observés, en particulier en 2007 et 2008.

La suite de l'étude est donc réalisée uniquement sur 'Ariane'.

Pour le puceron cendré, des dégâts importants pour l'arbre et les fruits peuvent être provoqués par de faibles niveaux de population. En verger conventionnel, le seuil d'intervention est donc déclenché par la simple présence d'un rameau infesté. Nous avons donc décidé de privilégier le cultivar le moins sensible, à savoir 'Pitchounette' (Parveaud *et al.*, 2010), pour la suite de l'étude. Nous avons en effet considéré que la moindre sensibilité de ce cultivar, associée à l'effet freinant potentiel de la conduite sur le développement du puceron cendré, serait à même de permettre une réduction du nombre de traitements aphicides.

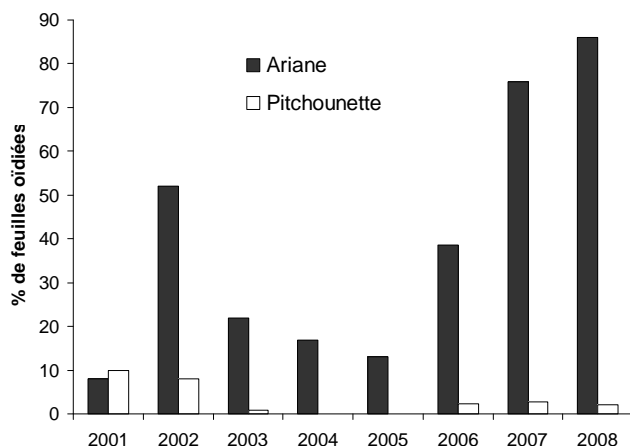


Figure 1 : Oïdium secondaire - 'Ariane' et 'Pitchounette'. Pourcentage maximal de feuilles oïdiées lors des observations sur les 5 dernières feuilles du rameau situées sous la dernière feuille déroulée, entre 2001 et 2008.

### 2.2.2) Une forte dynamique de croissance augmente la fréquence d'infection par l'oïdium et d'infestation par le puceron cendré

La sensibilité à l'infection par l'oïdium secondaire augmente significativement sur la feuille jeune en croissance en comparaison avec la feuille adulte dont la croissance est arrêtée. Cette « résistance ontogénique » des feuilles est donc étroitement corrélée à la dynamique de croissance du rameau, que celui-ci soit végétatif ou pousse de bourse. L'analyse faite en 2008 montre ainsi que si l'incidence de la maladie n'augmente pratiquement pas entre le 5 et le 19 mai sur les feuilles déjà présentes au 5 mai, elle augmente significativement sur les feuilles apparues entre ces 2 dates (pas de différence statistique significative ( $P > 0.05$ ) pour les feuilles du lot 1 entre le 5 et le 19 mai ; différences significatives ( $P < 0.05$ ) entre les deux lots de feuilles au 19 mai ; Figure 2).

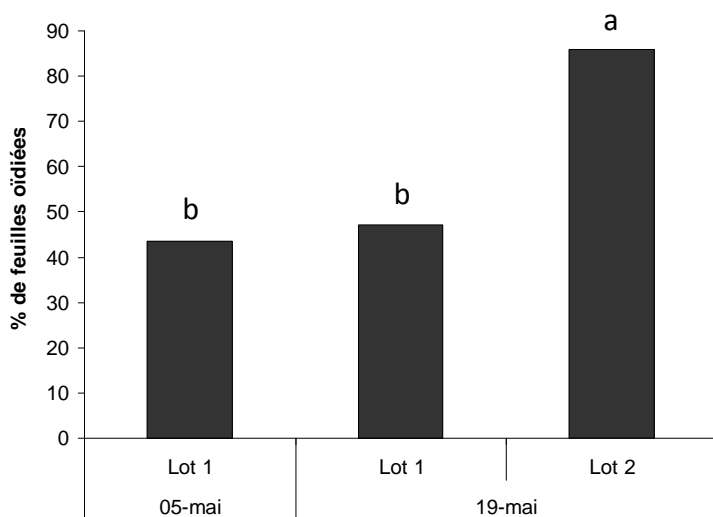


Figure 2 : Oïdium secondaire - 'Ariane' - 2008. Progression du pourcentage de feuilles oïdiées sur des feuilles développées au 5 mai, et ré-observées au 19 mai (Lot 1), en comparaison avec des feuilles développées entre le 5 et le 19 mai (Lot 2) (feuilles développés au 5 mai : n= 200 rameaux (100 rameaux par conduite) ; feuilles développées entre le 5 et le 19 mai : n= 200 rameaux (100 rameaux par conduite)). (Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%).

La description complète de 16 branches, réalisée sur Ariane du 19 au 23 mai 2008 après la mise en place des différents organes, montre que les premières feuilles apparues (feuilles préformées de la bourse ou du rameau végétatif) sont beaucoup moins touchées que les feuilles apparues ultérieurement (Figure 3). On peut supposer qu'en début de saison, lors de l'apparition des feuilles préformées, les conditions sont moins favorables aux contaminations par l'oïdium puis que lorsque les conditions deviennent favorables à l'oïdium, ces feuilles sont plus âgées et moins sensibles à l'oïdium (résistance

ontogénique). Les feuilles préformées sur bourse apparaissent avant les feuilles préformées du rameau végétatif, et nous constatons également des différences de contamination par l'oïdium (Figure 3).

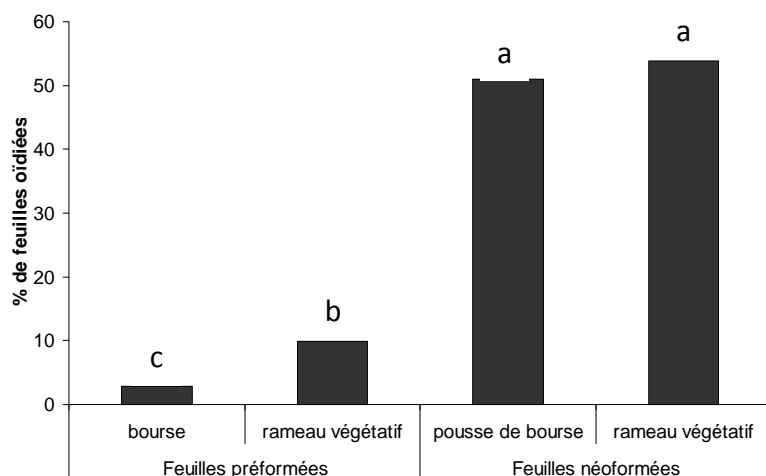


Figure 3 : Oïdium secondaire – 'Ariane' - 2008. Pourcentage de feuilles oïdiées observées du 19 au 23 mai en fonction du type de feuilles sur la branche fruitière. (Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%).

A niveau équivalent d'infestation initiale, le puceron cendré se développe préférentiellement sur les rameaux en croissance par rapport aux rameaux dont la croissance est arrêtée (2007 :  $\chi^2 = 23.40$ ,  $P = 0.0000$  ; 2008 :  $\chi^2 = 28.79$ ,  $P = 0.0000$ ) ce qui va de pair avec une infestation plus importante des rameaux longs par rapport aux rameaux courts (2007 :  $\chi^2 = 17.68$ ,  $P = 0.0000$  ; 2008 :  $\chi^2 = 9.21$ ,  $P = 0.0024$  ; Figure 4).

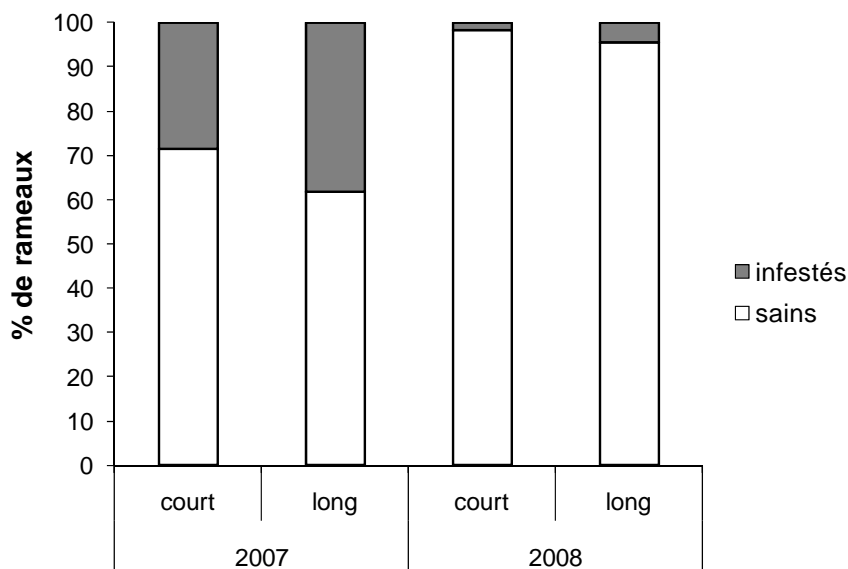


Figure 4 : Puceron cendré – 'Pitchounette', début de dissémination (date D1, voir ci-dessous) en 2007 (04-07/05) et 2008 (29-30/04). Pourcentage de rameaux infestés et sains en fonction de leur longueur, court ( $\leq 5$  cm) ou long ( $> 5$  cm). Analyses sur les deux modes de conduite et les types de rameaux confondus (16 branches décrites par année).

### 2.2.3) La structure de la branche a un effet modéré sur le développement de l'oïdium mais module significativement l'infestation par le puceron cendré

En 2007, les suivis sur rameaux repérés sur le cultivar sensible 'Ariane' montrent que la conduite en Solaxe augmente significativement le pourcentage de feuilles oïdiées en comparaison avec la conduite centrifuge (+ 20% au 10 mai 2007 ;  $P < 0.05$ ), quel que soit le type de rameau, végétatif ou pousse de bourse. Au 29 mai 2007, une augmentation significative d'environ +10% est encore observée ( $P <$



0.05). Il n'y a toutefois pas d'effet significatif de la conduite sur les mêmes catégories de rameaux en 2008 ( $P > 0.05$ ). En première analyse, nous concluons donc à l'absence d'effets marqués de la conduite sur le développement de l'oïdium secondaire sur 'Ariane'.

Pour le puceron cendré, les relevés sont effectués au printemps, en début de dissémination (D1) puis au pic d'infestation (D2 ; 10 à 12 jours après D1 selon l'année). On montre un effet significatif de la conduite sur la dynamique d'infestation en 2007 (Figure 5). En proportion du nombre total de rameaux, la conduite centrifuge a significativement plus de rameaux non infestés aux deux relevés, et moins de rameaux s'infestant entre D1 et D2 ou infestés aux 2 dates ( $\chi^2 = 25.07$ , 3 d.f.,  $P = 0.0000$ ).

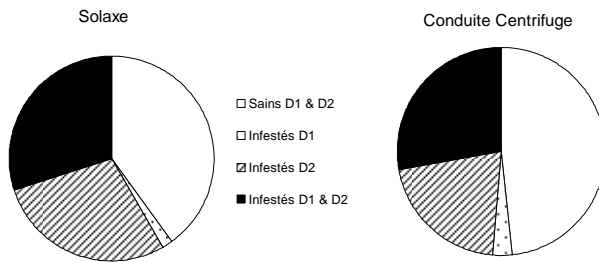


Figure 5: Puceron cendré – 'Pitchounette', 2007. Pourcentage de rameaux infestés (toutes catégories de rameaux confondues) en D1 et/ou D2, en fonction du mode de conduite, Solaxe et Conduite Centrifuge. D1, 04-07/05/2007 ; D2, 14-15/05/2007.

Notre étude se situant en mai avant l'apparition des formes ailées, et donc au cours de la phase de déplacement 'pédestre' du puceron cendré dans l'arbre, nous avons fait l'hypothèse que deux facteurs pouvaient potentiellement expliquer ces différences d'infestation entre modes de conduite, la distance métrique et/ou le nombre de bifurcations entre deux points de croissance. Sur la base de travaux préalables sur arbres forestiers (ex. Neuvonen, 1999 ; Riihimäki *et al.*, 2006), nous avons fait l'hypothèse qu'à l'échelle spatiale où nous travaillons la distance métrique intervenait peu. Nous avons donc privilégié l'hypothèse structurelle *via* le nombre de bifurcations. Notre étude montre deux résultats majeurs.

1 – La suppression d'une certaine proportion de rameaux latéraux le long des branches maîtresses, résultant de l'extinction artificielle, stimule la ramification des rameaux restants (Figure 6 ; Test du  $\chi^2$  : 2007,  $\chi^2 = 244.43$ ,  $P = 0.0000$  ; 2008 :  $\chi^2 = 337.52$ ,  $P = 0.0000$ ). Cette différence entre les deux systèmes persiste même si globalement l'ordre de ramification augmente avec le vieillissement de la branche (davantage de rameaux d'ordre 3 en 2008 par rapport à 2007).

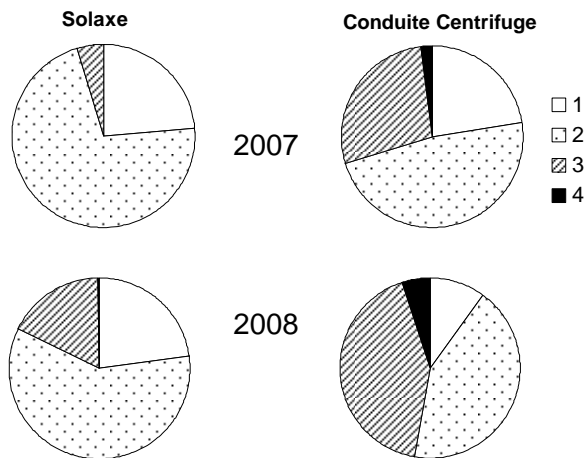


Figure 6: 'Pitchounette'. Pourcentage de rameaux dans les classes d'ordre de ramification 1 (rameau directement ramifié sur l'axe principal de la branche) à 4, en 2007 et 2008.

2 – Le degré de ramification affecte en retour l'infestation par le puceron cendré (Figure 7). La sévérité de l'infestation d'un rameau à la date D2 est positivement corrélée à la sévérité de l'infestation de son voisin amont le plus proche (côté tronc) à la date D1 quand il n'y a qu'une seule bifurcation entre ces deux rameaux. Toutefois cette relation disparaît s'il y a 4 bifurcations entre ces deux rameaux (différence significative entre pentes, likelihood ratio statistic = 3.069,  $P = 0.03$ ).

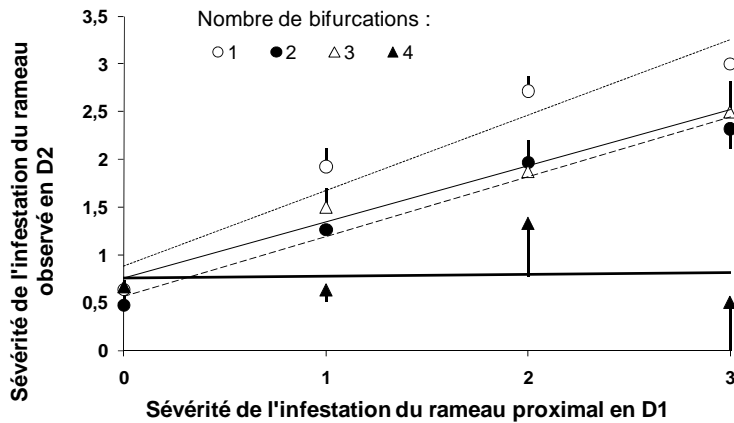


Figure 7 : Puceron cendré – 'Pitchounette', 2007 - Relation entre la sévérité de l'infestation d'un rameau en D2 (pic d'infestation) et la sévérité de l'infestation du rameau amont (côté tronc) le plus proche en D1 (début de la phase de multiplication), tous rameaux confondus. Chaque symbole correspond à 2 rameaux ou plus. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard.

## Discussion et conclusion

Ces travaux reliant conduite architecturale de l'arbre et effets sur l'infection par l'oïdium et l'infestation par le puceron cendré sur pommier débouchent sur deux types de réflexions. Tout d'abord, nous confirmons l'intérêt des manipulations de conduite comme méthodes à effet partiel au verger pour limiter la dissémination des bioagresseurs. De façon plus générale, nos résultats montrent que les facteurs diminuant la pression des bioagresseurs au verger peuvent être hiérarchisés : s'ils incluent au premier rang la génétique de la plante-hôte, ils doivent également intégrer entre autres, les techniques de conduite.

### *Intérêt de ces travaux pour la conduite du pommier en verger.*

La relation entre la forte dynamique de croissance du rameau et sa sensibilité aux bioagresseurs est connue pour les pucerons (ex. *Myzus persicae* sur Pêcher, Grechi *et al.*, 2008 ; *Aphis pomi* sur pommier, Stoekli *et al.*, 2008) et les maladies fongiques (sensibilité ontogénique à *Venturia inaequalis* ; MacHardy, 1996). Elle est probablement liée à la plus forte teneur en eau et en certains nutriments des tissus jeunes. Ces résultats suggèrent que toute manipulation de conduite qui favorise des reprises de croissance végétative en cours de saison augmente potentiellement les risques d'infection et d'infestation par les bioagresseurs présents tout au long de cette période de croissance.

Sur le plan pratique, ces résultats confortent les recommandations concernant la stratégie de protection chimique contre l'oïdium après fleur. En effet, la protection raisonnée contre l'oïdium préconise de réaliser un traitement phytosanitaire quand il y a dépassement du seuil de 5% de feuilles oïdiées (Brun *et al.*, 2010). Il est recommandé d'effectuer ce contrôle sur les 5 dernières feuilles situées sous la dernière feuille déroulée du rameau, donc sur les plus jeunes feuilles, en accord avec nos résultats. Il est également préconisé d'arrêter la protection fongicide contre l'oïdium avec l'arrêt de croissance des rameaux. Ceci est cohérent avec nos résultats montrant la faible sensibilité des feuilles adultes.

Notre étude montre un effet de la Conduite Centrifuge sur l'oïdium secondaire variable selon l'année, limitant en 2007 et non significatif en 2008. Il est possible que la réduction de l'infection en 2007 sur la conduite centrifuge soit le résultat d'un enlèvement de l'inoculum primaire de fin d'hiver par extinction

artificielle réalisée plus précocement cette année-là. Cette hypothèse de réduction d'inoculum n'a pu être vérifiée ; mais elle complète l'idée classique que le succès de l'infection dépend étroitement de la concomitance des phases de dissémination des bioagresseurs d'une part et des phases phénologiques sensibles de la plante d'autre part (Ferrandino, 2008). Dans le cadre de notre expérimentation, il est probable que les deux conduites, en évitant par principe les tailles importantes, n'exacerbent pas la croissance et ne conduisent donc pas à des différences sensibles d'infection. Le choix de modes de conduite plus contrastés, basés sur des tailles dites « de renouvellement », dans les conduites en « gobelet » ou en « axe central » par exemple, marquerait probablement davantage les différences.

L'hypothèse d'une action spécifique de l'ordre de ramification sur la dissémination du puceron cendré n'a, à notre connaissance, pas fait l'objet d'autres travaux de recherche. Les effets de l'ordre de ramification peuvent être interprétés à deux niveaux probablement interconnectés. Le premier est purement probabiliste : en considérant une pression d'infestation équivalente au départ, et un temps limité de la phase pédestre du puceron avant l'évolution vers la forme ailée, chaque bifurcation au sein de la branche diminue de fait la probabilité que le puceron en déplacement atteigne un rameau donné et l'infeste (voir Neuvonen, 1999). Le second est que chaque bifurcation perturbe le déplacement du puceron en augmentant les trajets d'allers et retours qui ralentissent la dissémination du puceron, et augmentent potentiellement la durée d'exposition d'individus isolés aux prédateurs.

### *Hiérarchisation des facteurs de l'arbre agissant sur les bioagresseurs*

Comme le proposent Yan et Wallace (1995), l'objectif du sélectionneur doit être davantage la recherche d'une plante dont le comportement global est optimisé plutôt que la sélection de caractères très spécifiques, souvent au détriment d'autres caractères. Cette stratégie s'avère particulièrement pertinente dans l'évolution actuelle vers des vergers à haute valeur environnementale (HVE) où un objectif est de réduire les intrants, notamment phytosanitaires, que ce soit en agriculture biologique ou en production fruitière intégrée. Dans ce contexte, on cherche en effet davantage la performance globale de l'arbre - par exemple l'aptitude à produire régulièrement conjuguée à une tolérance vis-à-vis des principaux bioagresseurs - plutôt qu'une performance élevée pour un seul critère - par exemple la résistance à la tavelure d'un cultivar par ailleurs très alternant ou sensible aux autres bio-agresseurs. Ceci est d'autant plus souhaitable qu'il est peu probable de pouvoir sélectionner dans un même génotype non seulement des caractères agronomiques importants (qualité du fruit, régularité de production) mais aussi des caractères de résistances à plusieurs bioagresseurs majeurs.

Dans ce contexte, notre étude nous permet de hiérarchiser les facteurs à la base du succès d'un verger moins dépendant de l'utilisation des pesticides :

- Le facteur génétique est prépondérant dans les phénomènes de résistance et/ou de tolérance aux bioagresseurs. Nous confirmons ici la faible sensibilité du cultivar 'Pitchounette' à l'oïdium dans le contexte pédo-climatique de la vallée du Rhône et dans un environnement de Production Fruitière Intégrée (PFI). Pour le puceron cendré, l'impératif de réaliser une protection pour ne pas compromettre la longévité des vergers ne nous a pas permis de confirmer les sensibilités relatives des deux cultivars.
- Pour un cultivar donné, l'architecture de l'arbre est un facteur permettant de moduler efficacement l'infection par l'oïdium et l'infestation par le puceron cendré.

Pour l'oïdium, la plus forte infection des feuilles préformées du rameau végétatif par rapport aux feuilles équivalentes de la bourse doit être vérifiée. Mais c'est la composante temporelle de l'architecture, c'est-à-dire la dynamique de croissance des rameaux, qui semble le facteur principal conditionnant la dynamique d'infection. Nous confirmons la résistance ontogénique foliaire : à pression d'inoculum équivalente, une feuille est d'autant plus infectée qu'elle est jeune. Quels que soient les mécanismes sous-jacents (ex : compositions biochimiques différentes entre feuilles jeunes et adultes et/ou faible

lignification des tissus jeunes), ce résultat sur oïdium peut être comparé à la plus forte sensibilité à l'infection par la tavelure de la feuille jeune en croissance par comparaison avec la feuille adulte dont la phase d'expansion est terminée (Mac Hardy, 1996).

Pour le puceron cendré, deux facteurs architecturaux agissent sur la dynamique d'infestation : la dynamique de croissance des rameaux et la structure de la branche modulée par la conduite. Nous montrons ici l'intérêt de la Conduite Centrifuge par rapport à la conduite en Solaxe. Notre hypothèse est que la diminution de la densité de ramifications le long des branches principales par une suppression ciblée de rameaux augmente la ramification des rameaux restants. C'est cette complexification de la ramification qui agit sur la dissémination du puceron cendré au sein de la branche avant sa phase de migration de fin de printemps (Simon *et al.*, 2010).

### *Pour aller plus loin dans la réflexion*

Ces travaux et, plus largement, l'ensemble des études portant sur les liens entre architecture de l'arbre fruitier et développement des bioagresseurs conduisent à plusieurs hypothèses sur les mécanismes sous-jacents. Diverses composantes de l'architecture de l'arbre sont impliquées *via* la distribution spatio-temporelle des organes sensibles au(x) bioagresseur(s). Notamment, les facteurs génétiques (port d'arbre) et la conduite de l'arbre conditionnent ou modulent les périodes de croissance et les distances (métrique ou topologique) entre organes dans l'arbre. Les travaux conduits autour des deux concepts suivants peuvent permettre de formaliser ces mécanismes :

1 – La 'sectorialité' structurelle et fonctionnelle de la plante (Orians et Jones, 2001) est un élément-clé de la distribution des sites trophiques et de leurs interactions au sein de l'arbre, en vue d'expliquer le niveau d'infection ou d'infestation à l'échelle de la branche ou de l'arbre. Cette hétérogénéité naturelle peut être modulée par la conduite et/ou induite par les bioagresseurs.

2 - La 'connectivité' entre organes au sein de l'arbre est un autre élément-clé du succès ou non de l'infection/infestation. Le trajet, plus ou moins long et complexe, par lequel deux organes susceptibles d'être colonisés sont reliés module la dissémination du bioagresseur dans l'arbre. Les caractéristiques de ce trajet sont d'autant plus déterminantes que tous les échelons trophiques (ravageurs et ennemis naturels) sont contraints par l'accessibilité à leurs sites d'alimentation et/ou de ponte (e.g. Price *et al.*, 1980).

Une approche multi-disciplinaire basée sur ces concepts liés à l'hétérogénéité fonctionnelle de la plante et aux habitats complexes est donc nécessaire pour identifier finement les mécanismes en jeu. Cette meilleure connaissance devrait permettre de proposer des applications pour la protection du verger en optimisant les effets de la conduite de l'arbre.

**Remerciements** à Géraldine Brévalle stagiaire de master 2<sup>2</sup> et Elodie Auperpin stagiaire de Master 1<sup>3</sup> pour leur forte contribution aux relevés de terrain et aux premières analyses de données, ainsi qu'à Emilie Durand, Thierry Girard et Pedro Asencio pour leur participation aux relevés et pour la conduite des arbres. Ces travaux ont bénéficié du soutien financier du Ministère de l'Agriculture.

<sup>2</sup> 2008 - « Architecture et infestation par le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea* Pass.). Exploration d'une relation possible avec l'azote foliaire ». Master 2 de *Biologie Intégrative et Physiologie, Spécialité Sciences du Végétal, Parcours Technologie des produits horticoles et agronomiques*. Université Paris VI.

<sup>3</sup> 2009 - Interaction de l'architecture et de l'apport azoté avec la dynamique d'infestation du pommier (*Malus X domestica* L. Borkh) par le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*). Master 1 STS, Mention Biologie, Agronomie, santé ; Spécialité BioVIGPA (biologie végétale intégrative : gène plante agrosystème). Université de Rennes.

## Références bibliographiques

- Ando K., Grumet R., Terpstra K., Kelly J.D., 2007. Manipulation of plant architecture to enhance crop disease control. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 26, 1-8.
- Bell A.D., 1991. Plant form, an illustrated guide to flowering plant morphology. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Brun L., Guinaudeau J., Gros Ch., Combe F., Parisi L., Simon S., 2010. Stratégie « bas intrants fongicides » sur pommiers. Concevoir et tester de telles stratégies contre les maladies du pommier en vergers dans la vallée du Rhône. Phytoma-La Défense des Végétaux 636, 40-45.
- Codron J.M., Jacquet F., Habib R., Sauphanor B., 2003. Bilan et perspectives environnementales de la filière arboriculture fruitière. In ATEPE, Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA 23, 31-67.
- Combe F., Mercier V., Brun L., 2005. Trois nouvelles variétés de pommier résistantes à la tavelure : intérêt en protection intégrée. Phytoma – La défense des végétaux 581, 12-14.
- Ferrandino F.J., 2008. Effect of Crop Growth and Canopy Filtration on the Dynamics of Plant Disease Epidemics Spread by Aerially Dispersed Spores. Phytopathology 98, 492-503.
- Gomez C., 2009. Verger semi-extensif de pommiers à faible niveau d'intrants : bilan de 7 années d'observation. Dossier GRAB. Arbo Bio Infos, 137.
- Grechi I., Sauge M.H., Sauphanor B., Hilgert N., Senoussi R., Lescourret F., 2008. How does winter pruning affect peach tree - *Myzus persicae* interactions? Entomologia Experimentalis et Applicata 128, 369-379.
- Hallé F., Oldeman R.A.A., Tomlinson P.B., 1978. Tropical trees and forest. An architectural analysis. Springer Verlag, New York.
- Hoskins W.M., Gordon H.T., 1956. Arthropod Resistance to Chemicals. Annual Review of Entomology 1, 89-122.
- Jas N., 2010. Pesticides et santé des travailleurs agricoles en France. Questions anciennes, nouveaux enjeux. Courrier de l'environnement de l'INRA 59, 47-59.
- Lauri P.É., 2002. From tree architecture to tree training – an overview of recent concepts developed in apple in France. Journal of the Korean Society for Horticultural Science 43, 782-788. C27.
- Lauri P.É., 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 Horticulturae 636, 35-42.
- Lauri P.É., Laurens F., 2005. Architectural types in apple (*Malus X domestica* Borkh.). In: Ramdane Dris (Ed.). Crops: growth, quality and biotechnology. World Food Limited, Helsinki, Finlande. pp 1300-1314.
- Lauri P.É., 2008. Trends in Apple Training in France – An Architectural and Ecophysiological Perspective. Acta Horticulturae 772, 483-490.
- Lauri P.É., Costes E., Regnard J.L., Brun L., Simon S., Monney P., Sinoquet H., 2009. Does Knowledge on Fruit Tree Architecture and its Implications for Orchard Management Improve Horticultural Sustainability? An Overview of Recent Advances in the Apple. Acta Horticulturae 817, 243-249.
- Lauri P.É., Hucbourg B., Ramonguilhem M., Méry D., 2011. An Architectural-Based Tree Training and Pruning – Identification of Key Features in the Apple. ISHS on Orchard Physiology, Geneva, USA. Acta Horticulturae (à paraître).
- MacHardy W.E., 1996. Apple scab. Biology, epidemiology, and management. The American Phytopathological Society, St. Paul.
- Neuvonen S., 1999. Random foraging by herbivores: complex patterns may be due to plant architecture. Journal of Ecology 87, 526-528.
- Orians C.M., Jones C.G., 2001. Plants as resource mosaics: a functional model for predicting patterns of within-plant resource heterogeneity to consumers based on vascular architecture and local environmental variability. Oikos 94, 493-504.

- Parisi L., Lespinasse Y., Guillaumes J., Kruger J., 1993. A new race of *Venturia inaequalis* virulent to apples with resistance due to the Vf gene. *Phytopathology* 83, 533-537.
- Parveaud C.E., Gomez C., Libourel G., Romet L., Warlop F., Simon S., Brun L., Pouzoulet D., Delebecq A., Tournant L., Oste S., Laurens F., 2010. Assessment of the susceptibility to pests and diseases of 36 apple cultivars in four low-input organic orchards in France. *Proceedings Ecofruit 14th International Conference on Organic Fruit-Growing, Hohenheim, 22-24 February 2010* (ed. by IFOAM EU group). Accessible sur : <http://www.ecofruit.net/proceedings-2010.html>
- Poelman E.H., van Loon J.J.A., Dicke M., 2008. Consequences of variation in plant defense for biodiversity at higher trophic levels. *Trends in Plant Science* 13, 534-541.
- Price P.W., Bouton C.E., Gross P., McPherson B.A., Thompson J.N., Weis A.E., 1980. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11, 41-65.
- Riihimäki J., Vehviläinen H., Kaitaniemi P., Koricheva J., 2006. Host tree architecture mediates the effect of predators on herbivore survival. *Ecological Entomology* 31, 227-235.
- Sauphanor B., Dirwimmer C., Boutin S., Chaussabel A.L., Dupont N., Fauriel J., Gallia V., Lambert N., Navarro E., Parisi L., Plenet D., Ricaud V., Sagnes J.L., Sauvaitre D., Simon S., Speich P., Zavagli F., 2009. Analyse comparative de différents systèmes en arboriculture fruitière, in: *Ecophyto R&D: vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires, Rapport d'Expertise Collective INRA, INRA Ed., Tome IV, 49 p.*
- Simon S., Lauri P.É., 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. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81, 765-773.
- Simon S., Miranda C., Brun L., Defrance H., Lauri P.É., Sauphanor B., 2007. Effect of centrifugal tree training on pests and pathogens in apple orchards. *IOBC/WPRS Bulletin* 30, 237-245.
- Simon S., Sauphanor B., Defrance H., Lauri P.É., 2009. 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. *Innovations Agronomiques* 4, 125-134.
- Simon S., Morel K., Defrance H., Hemptinne J.L., Regnard J.L., Lauri P.É., 2010. Development of the Rosy Apple Aphid within its Habitat: some Structural and Physiological Aspects in Apple Trees. *Acta Horticulturae* (à paraître).
- Stoeckli S., Mody K., Dorn S., 2008. *Aphis pomi* (Hemiptera: Aphididae) population development, shoot characteristics, and antibiosis resistance in different apple genotypes. *Journal of Economic Entomology* 101, 1341-1348.
- Yan W., Wallace D.H., 1995. Breeding for negatively associated traits. *Plant Breeding Review* 13, 141-177.