



**HAL**  
open science

# Stratégies de protection innovantes contre la tavelure du pommier : conception, évaluation et intégration en verger

Laurent Brun, Frederique Didelot, Luciana L. Parisi

## ► To cite this version:

Laurent Brun, Frederique Didelot, Luciana L. Parisi. Stratégies de protection innovantes contre la tavelure du pommier : conception, évaluation et intégration en verger. *Innovations Agronomiques*, 2007, 1, pp.33-45. 10.17180/06e2-y743 . hal-02663240

**HAL Id: hal-02663240**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02663240>**

Submitted on 31 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

## Stratégies de protection innovantes contre la tavelure du pommier : conception, évaluation et intégration en verger

L. Brun <sup>(1)</sup>, F. Didelot <sup>(2)</sup>, L. Parisi <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INRA, Unité Expérimentale de Recherche Intégrée en Arboriculture Fruitière, Domaine de Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence, France

<sup>(2)</sup> INRA, UMR Pathologie Végétale, 42 rue G. Morel, 49071 Beaucouzé Cedex, France

### Résumé

La tavelure du pommier est une maladie très redoutée en vergers de variétés sensibles. Tout fruit tavelé étant écarté, la protection des variétés les plus cultivées est essentiellement assurée par une lutte chimique intense. Nous avons démontré expérimentalement que certaines pratiques telles que la diminution de l'inoculum primaire de tavelure par action mécanique sur la litière foliaire, la plantation de variétés peu sensibles à la tavelure ou la culture en mélange d'une variété sensible avec une variété résistante pouvaient permettre chacune de réduire significativement le développement de la maladie. Ensuite, nous avons mis en place des essais permettant d'évaluer l'association des ces différentes méthodes à effets partiels et le raisonnement de la protection fongicide en prenant en compte les conditions climatiques, l'inoculum du pathogène et la sensibilité variétale. Les premiers résultats montrent qu'il est possible de protéger les pommiers des attaques de tavelure (et d'oïdium) avec seulement quelques applications fongicides, sans prise excessive de risques.

### Introduction

Le pommier est une espèce fruitière dont les principales variétés cultivées sont sensibles à différentes maladies fongiques, et en particulier à la tavelure (due à *Venturia inaequalis*). Ainsi, du démarrage de la végétation à la fin du printemps, en moyenne de 10 à 20 traitements fongicides sont régulièrement effectués, selon les régions et les années, pour protéger les feuilles et les fruits des attaques de tavelure et d'oïdium (dû à *Podosphaera leucotricha*). En cas de présence de taches de tavelure au verger en fin de période de contamination primaire, la protection fongicide contre cette maladie est poursuivie jusqu'à la récolte pour protéger les fruits des contaminations secondaires. La protection fongicide contre la tavelure et l'oïdium représente donc une part importante des intrants en verger de pommiers.

Nos travaux de recherche sur la tavelure sont guidés par l'idée de mieux maîtriser cette maladie, tout en réduisant le nombre d'applications fongicides. La définition de la protection intégrée donnée par Giraud et al (1996) illustre correctement la philosophie qui nous anime dans la conception de nos essais : « La protection intégrée (...) n'emploie les produits chimiques qu'en dernier ressort, après avoir épuisé tous les autres moyens disponibles, quand ils existent et restent dans les limites économiquement concevables ». Comme nous le verrons par la suite, nos travaux de recherche sur la protection intégrée s'appliquent aussi bien à l'agriculture conventionnelle qu'à l'agriculture biologique.

Dans une première partie, nous allons présenter des « pratiques innovantes » permettant de réduire le développement de la tavelure en vergers. Leur efficacité sera évaluée une à une. Puis nous présenterons la proposition d'Olivier (1986) pour le raisonnement de la protection fongicide. Enfin, nous montrerons comment toutes les propositions précédentes peuvent être intégrées au verger pour le raisonnement de la protection fongicide. Cet article ne se veut pas exhaustif dans la présentation des méthodes de lutte contre la tavelure, il récapitule essentiellement une grande partie des travaux menés par l'INRA sur ce sujet.

## 1) Des propositions pour raisonner la protection contre la tavelure

### 1.1) Evaluation de pratiques permettant de réduire le développement de la tavelure en verger

#### Mesures prophylactiques pour réduire l'inoculum primaire

Au printemps, la principale source d'inoculum primaire de tavelure au verger provient des ascospores libérées par les pseudothèces contenus dans les feuilles de pommier infectées l'année précédente et ayant passé l'hiver sous forme de litière dans le verger (Holb *et al.*, 2004). Différents travaux ont montré qu'il était possible de réduire cet inoculum primaire par broyage au sol de cette litière ou en bloquant la formation des pseudothèces ou des ascospores par apport d'urée ou d'antagonistes microbiens sur cette litière (Carisse et Dewdney, 2002 ; Crété, 2007). Le broyage de la litière foliaire présentant des efficacités variables, l'utilisation d'urée étant interdite en agriculture biologique, et aucun antagoniste n'étant homologué pour l'instant en France, nous avons proposé une nouvelle méthode pour réduire la quantité d'ascospores libérées dans le verger. Cette méthode consiste à enfouir les feuilles de litière présente sur le rang de plantation par buttage à l'aide des outils mécaniques généralement utilisés en agriculture biologique pour la gestion des adventices, puis d'effectuer un ramassage des feuilles situées sur l'inter-rang enherbé avec une balayeuse (Wiedenmann®, RK 120 Z) couplée à un tracteur. Dans un verger biologique (variété Smoothee®, mutant de Golden Delicious), cette technique a permis de réduire le nombre d'ascospores libérées de 95%, la sévérité de la tavelure sur feuilles de 63 à 73% et le pourcentage de fruits tavelés à la récolte de 54 à 82% selon les années (Brun *et al.*, 2005 ; Gomez *et al.*, 2007 ; Tableau 1).

#### Sensibilité variétale à la tavelure

La plantation de variétés de pommiers présentant une résistance complète à la tavelure paraît une solution intéressante pour la lutte contre cette maladie. Cependant, le gène de résistance le plus employé par les sélectionneurs, le gène *Vf*, est surmonté en Europe par différentes souches de *Venturia inaequalis*. L'utilisation de cette résistance monogénique seule ne semble donc pas être une solution durable (Parisi *et al.*, 1993; Parisi *et al.*, 2004a). Une des autres possibilités à la disposition des arboriculteurs est la plantation de variétés peu sensibles à la tavelure (c'est-à-dire présentant un niveau élevé de résistance partielle à la maladie). Ce type de résistance sous déterminisme polygénique est supposé plus durable que la résistance monogénique (Lespinasse *et al.*, 2000). Pour mieux caractériser ce type de résistance, nous avons évalué le comportement de variétés peu sensibles en l'absence de protection fongicide contre la tavelure. Ainsi, nous avons montré que la sévérité de la tavelure sur feuilles pouvait être diminuée de 64 à 99%, et le pourcentage de fruits tavelés à la récolte de 54 à 97%, selon la variété et l'année, comparativement à la variété sensible Golden Delicious (Didelot *et al.*, 2007 ; Tableau 1).

#### Mélanges variétaux

De nombreux travaux ont montré l'intérêt des mélanges variétaux pour réduire les épidémies des maladies aériennes des céréales (Garrett et Mundt, 1999). Chez le pommier, seulement deux équipes ont abordé ce type d'étude, notre équipe et l'équipe de C. Gessler à l'ETH de Zurich. En verger non traité, l'intérêt de la plantation en mélange d'une variété sensible avec une variété résistante pour réduire les épidémies de *V. inaequalis* a été montré par ces travaux, soit en verger expérimental (Didelot *et al.*, 2000), soit par modélisation (Blaise et Gessler, 1994). Associé à une protection fongicide raisonnée pour permettre à la maladie de s'exprimer modérément, le mélange dans le rang d'une variété sensible (Smoothee®) avec une variété résistante (Baujade) a permis de réduire la sévérité sur

feuilles de 47 à 75% et le pourcentage de fruits tavelés à la récolte de 48 à 67% selon l'année. Le mélange en rangs alternés s'est montré moins efficace que le mélange dans le rang (Tableau 1). Durant ces 2 années d'étude, il n'a pas été détecté sur ce verger de souches virulentes vis-à-vis des cultivars portant le gène *Vf* et la résistance de Baujade s'est donc montrée effective (Didelot *et al.*, sous presse).

**Tableau 1** : Evaluation de l'efficacité de pratiques « innovantes » sur la réduction de la tavelure en verger.

Pratiques « innovantes »		Pourcentage de réduction de la tavelure sur feuilles		Pourcentage de fruits tavelés à la récolte		
		2003	2004	2003	2004	
<b>Prophylaxie</b> (1)	Smoothee® Sans prophylaxie	-	-	3,96%	66,4%	
	Smoothee® Avec prophylaxie	73,2% (2)	63,2% (2)	0,73%	30,2%	
<b>Sensibilité variétale</b> (3)		2000	2001	2000	2001	2002
	Golden Delicious	-	-	100%	95,2%	100%
	Reinette Clochard	97,3% (4)	64,4% (4)	32,6%	43,7%	37,0%
	Colapuis	99,5% (4)	90,9% (4)	3,1%	22,0%	23,8%
<b>Mélanges variétaux</b> (5)		2001	2002			
	Smoothee® Culture pure	-			27%	12%
	Smoothee® Rangs alternés	14,8% (6)	37,7% (6)		17%	11%
	Smoothee® Mélange dans le rang	47,4% (6)	75,1% (6)		14%	4%

(1) Expérimentation réalisée, en collaboration avec le GRAB, dans un verger biologique commercial (variété Smoothee® - Clone 2832) situé à Loriol (Drôme), et recevant une protection fongicide AB classique (Cu et S). La modalité « prophylaxie » consiste en un enfouissement des feuilles par buttage sur le rang complété par un ramassage des feuilles sur l'inter-rang enherbé (Gomez *et al.*, 2007).

(2) Représente le pourcentage de réduction, par rapport au témoin sans prophylaxie, de l'aire (AUDPC) comprise entre la courbe d'évolution du nombre de taches de tavelure par pousse en ordonnées et l'axe du temps en abscisses.

(3) Expérimentation réalisée dans un verger expérimental multi-variétal ne recevant aucune protection fongicide contre la tavelure, situé sur le domaine de l'INRA/Bois l'Abbé (Beaucouzé, Maine-et-Loire) (Didelot *et al.*, 2007).

(4) Représente le pourcentage de réduction, par rapport au témoin Golden, de l'aire (AUDPC) comprise entre la courbe d'évolution du nombre de taches de tavelure par feuille en ordonnées et l'axe du temps en abscisses.

(5) Expérimentation réalisée dans un verger expérimental recevant une protection fongicide « allégée » contre la tavelure, situé sur le domaine de l'INRA/La Rétuzière (Champigné, Maine-et-Loire). La variété Smoothee® (Clone 2832) est cultivée en mélange avec Baujade, dont la résistance à la tavelure par le gène *Vf* est restée effective durant la durée de l'expérimentation (Didelot *et al.*, sous presse).

(6) Représente le pourcentage de réduction, par rapport au témoin Smoothee® culture pure, de l'aire (AUDPC) comprise entre la courbe d'évolution du pourcentage de feuilles tavelées en ordonnées et l'axe du temps en abscisses.

### 1.2) Des propositions pour raisonner la protection fongicide contre la tavelure

Au printemps, lors des épisodes pluvieux, les ascospores sont libérées par les pseudothèces contenus dans les feuilles de la litière. Ces ascospores sont transportées par le vent et la pluie et se déposent sur les organes du pommier. Ensuite, pour que les ascospores germent et puissent infecter les feuilles, il

faut que ces feuilles restent humectées pendant une certaine durée, plus ou moins longue selon la température. Des courbes ont été proposées pour définir un risque de gravité d'infection en fonction de la température et des durées d'humectation des feuilles. Ce sont les courbes de Mills et Laplante (1951). Olivier (1986) a complété ces courbes par celle de risque « Angers », qui est une modification de la courbe de risque Léger pour les températures inférieures à 15°C.

La stratégie classique de protection contre la tavelure consiste durant la période des projections d'ascospores à positionner une protection fongicide préventive avant les pluies annoncées par les prévisions météorologiques. Les courbes de Mills et Laplante ne sont alors utilisées que pour rattraper avec un traitement fongicide curatif un défaut de protection ou un lessivage du produit (pluie supérieure à 20-25 mm) lors de l'épisode contaminant. L'efficacité préventive des fongicides utilisés contre la tavelure n'étant que de 3 à 8 jours selon les produits utilisés, le renouvellement de la protection est très rapide et explique le grand nombre d'applications fongicides contre la tavelure. Cependant, avec cette stratégie préventive, de nombreux traitements apparaissent inutiles car la pluie annoncée n'arrive pas ou n'est pas contaminatrice. Pour réduire le nombre de traitements contre la tavelure, les stratégies curatives (traitements après la pluie si une contamination est observée) seraient beaucoup plus intéressantes.

Ainsi, Olivier (1986) a proposé un schéma de raisonnement de la lutte qui prend en compte la sensibilité variétale, l'inoculum présent à l'automne, et l'intensité de la projection des ascospores pour définir un seuil de traitement. Cette démarche est originale, le seuil de traitement étant difficile à établir dans la lutte contre la tavelure, à cause du peu de tolérance dont on dispose (fruits sans défauts) et de la difficulté à maîtriser la maladie une fois qu'elle est présente. Le seuil est dans ce cas un risque suivant Mills, complété par le risque « Angers ». Lefeuvre (1995) a validé expérimentalement ce schéma de raisonnement pendant 3 ans chez des arboriculteurs du Val de Loire, et a proposé quelques modifications (Parisi *et al.*, 2004b) (Tableau 2). Lefeuvre (1995) a montré que l'application du schéma de raisonnement de la lutte a permis une réduction moyenne de 49 % des traitements par rapport à la moyenne régionale, qui était de 15 traitements, sans prise de risque, et confirme l'intérêt de ce type de raisonnement pour les parcelles plantées avec des variétés peu sensibles, protégées par 4 traitements en moyenne sur les 3 années. On dispose donc d'un outil permettant de raisonner la protection, et de ne pas traiter chaque parcelle d'une manière identique.

**Tableau 2 :** Choix d'une courbe de Mills comme seuil minimum pour une intervention (Olivier, 1986, modifié par Lefeuvre, 1995). Courbes de risques : A : Angers, L : léger, M : moyen, G : grave.

Projections d'ascospores	Variétés très sensibles			Variétés sensibles			Variétés peu sensibles		
	Inoculum d'automne								
	Léger	Moyen	Dense	Léger	Moyen	Dense	Léger	Moyen	Dense
Peu denses	M	M	L	G	M	L	-	G	M
Denses	L	A	A	L	L	L	G	M	L

Cependant, il est aujourd'hui difficile de conseiller aux arboriculteurs d'appliquer de façon stricte le schéma de raisonnement proposé par Olivier pour différentes raisons:

- si nous disposons des outils méthodologiques pour évaluer, avant la chute des feuilles, l'inoculum d'automne d'une parcelle, nous ne connaissons pas précisément l'influence des parcelles voisines dans l'apport d'un inoculum primaire exogène. Pour essayer d'apporter des réponses à cette question, nous avons engagé, fin 2006, une étude pluriannuelle sur l'inoculum d'automne sur un réseau de 36 parcelles dans le sud-est de la France (Programme de recherche ANR ADD/GEDUPIC).

- la quantité d'ascospores libérées lors d'un épisode contaminant reste un paramètre difficile à appréhender. Cette question est aujourd'hui étudiée au sein du Groupe National de Travail Tavelure,

animé par le CTIFL. Nous participons à ce travail en mettant à disposition du groupe les données obtenues par des capteurs de spores aériens (Burkard) sur l'inoculum primaire libéré en verger (2 sites, INRA Gothenon et Angers depuis 2004).

- ce mode de protection impose de n'intervenir qu'en stop ou curatif après la pluie, ce qui peut poser des problèmes (temps d'intervention limité, moins de matières actives disponibles, matières actives concernées par des problèmes de résistance). Dans le cas des variétés sensibles ou très sensibles, l'application des propositions d'Olivier entraînerait un nombre de traitements curatifs trop important pour pouvoir respecter les propositions d'alternance des familles de fongicides (Anonyme, 2005).

Malgré les remarques ci-dessus sur les difficultés pour transférer en l'état le modèle d'Olivier, ces propositions restent aujourd'hui toujours les plus complètes dans le raisonnement de la protection tavelure puisque prenant en compte les conditions climatiques, l'inoculum du pathogène et la sensibilité variétale de l'hôte pommier. C'est un outil de travail et de réflexion très intéressant pour l'expérimentateur en protection intégrée.

### *1.3) Perspectives : Des outils à associer*

Nous avons montré que certaines pratiques ont fait leurs preuves pour réduire le développement de la tavelure au verger. Cependant, toutes ces pratiques ont une efficacité partielle, potentiellement variable d'une année à l'autre. Certaines de ces méthodes ne sont pas sans inconvénient. Les mélanges de variétés, par exemple, posent des problèmes agronomiques et soulèvent la question de la durabilité de la résistance due au gène *Vf*. Il n'est donc pas question de préconiser l'une ou l'autre de ces méthodes comme une solution unique, mais d'insister sur la nécessité de poursuivre les recherches sur ces méthodes alternatives, sur leur intégration dans un schéma de raisonnement global incluant la lutte chimique. Nous avons donc mis en place différents essais pour prendre en compte cette démarche d'intégration, les premiers résultats sont présentés dans la deuxième partie de cet article.

## **2) Approche expérimentale intégrative dans le raisonnement de la protection contre la tavelure**

### *2.1) Essai Reine des Reinettes, La Rétuzière (Maine-et-loire)*

L'objectif de cette expérimentation est d'étudier, sur une variété à résistance partielle, l'efficacité contre la tavelure de l'association de la réduction de l'inoculum primaire avec une protection fongicide raisonnée.

Cet essai a été réalisé avec la collaboration de V. Caffier (INRA/UMR PaVé), A. Lemarquand et G. Orain (INRA/UE Bois l'Abbé – La Rétuzière).

### Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental est constitué de 6 parcelles élémentaires de 78 arbres de la variété Reine des Reinettes séparées les unes des autres par une haie composite de plantes non hôtes de la tavelure. Ce dispositif a été planté en avril 1999. A l'automne 2005, la tavelure est présente dans les 6 parcelles.

A partir de 2006, durant la période des contaminations primaires, 3 parcelles reçoivent une protection fongicide destinée à protéger les risques de contaminations par la tavelure de niveau Moyen et Grave. Ces parcelles sont nommées « Traitées ». La stratégie retenue n'est pas seulement curative. En effet, si les pluies annoncées étaient importantes (pouvant induire une contamination de niveau Moyen ou

Grave), des traitements préventifs pouvaient être réalisés. Durant cette même période, pour protéger les pommiers des attaques d'oïdium, des traitements avec un fongicide anti-oïdium n'ayant pas d'effet sur la tavelure ont été réalisés sur l'ensemble des parcelles du verger.

Les parcelles « Traitées » ont également fait l'objet d'une mesure prophylactique consistant en un ramassage de litière foliaire à l'automne précédent. L'appareil utilisé est de type Broyeur Rotoram FS 175 (Chabas, Charleval, France) avec une turbine d'aspiration. Chaque année, plusieurs passages ont été nécessaires en novembre et décembre.

Les 3 autres parcelles de Reine des Reinettes n'ont reçu aucune protection fongicide contre la tavelure et n'ont pas fait l'objet de mesures prophylactiques. Ces parcelles sont nommées « Non Traitées ».

## Résultats

A l'automne 2005, des différences de quantité de maladie sur les feuilles ont été observées entre les différentes parcelles de Reine des Reinettes. Malgré cette hétérogénéité de départ, les valeurs des estimations d'inoculum primaire 2006 (Potential Ascospore Dose : PAD) (Mac Hardy et Gadoury, 1986) sont en moyenne 7 fois plus faibles dans les parcelles où la litière foliaire a été ramassée (Tableau 3).

**Tableau 3** : Développement de la tavelure dans les parcelles « Traitées » et « Non Traitées » de l'essai Reine des Reinettes, résultats 2006-2007.

	Reine des Reinettes	
	Non Traitées	Traitées
Inoculum primaire 2006 (P.A.D <sup>1</sup> . en ascospores/m <sup>2</sup> )	310 553	42 856
Pourcentage d'arbres tavelés le 12/06/06	37%	3,0%
Pourcentage de fruits tavelés (récolte 2006)	3,1%	1,0%
Inoculum primaire 2007 (P.A.D. en ascospores/m <sup>2</sup> )	459 926	2 353
Pourcentage d'arbres tavelés le 24/07/07	88%	15%
Pourcentage de fruits tavelés (récolte 2007)	3,0%	0,2%

<sup>1</sup> : P.A.D. : Potential Ascospore Dose

La stratégie de protection contre la tavelure a entraîné 5 traitements fongicides entre le 29 mars et le 15 juin 2006 protégeant un risque « Grave », trois risques « Moyens » et deux risques « Légers ». Par contre, deux risques « Angers » (19 mai et 20 mai) et 1 risque « Léger » (25 juin) n'ont pas été protégés par une application fongicide.

Le 12 juin 2006, 37% des arbres de Reine des Reinettes des parcelles « Non traitées » présentaient des symptômes de tavelure, contre seulement 3% pour les parcelles « Traitées ». A la récolte 2006, 3,1% (respectivement 1%) des fruits de Reine des Reinettes des parcelles « Non Traitées » (respectivement « Traitées ») étaient tavelés (Tableau 3).

En 2007, l'inoculum primaire de tavelure est environ 200 fois plus important dans les parcelles « Non Traitées » de Reine des Reinettes que dans les parcelles « Traitées » (Tableau 3).

Six traitements fongicides, réalisés entre le 28 mars et le 29 mai 2007, ont protégé un risque « Grave », cinq risques « Moyens », quatre risques « Légers » et deux risques « Angers ». Par contre, trois risques

« Angers » (12 avril, 8 mai et 25 mai), et deux risques « Légers » (7 mai et 12 mai) n'ont pas été protégés par une application fongicide.

Le 24 juillet 2007, 88% des arbres des parcelles de Reine des Reinettes « Non traitées » étaient tavelés, contre seulement 15% des arbres des parcelles « Traitées ». A la récolte 2007, 3,0% (respectivement 0,2%) des fruits des parcelles « Non Traitées » (respectivement « Traitées ») étaient tavelés (Tableau 3).

## Discussion

La stratégie de traitement des parcelles « Traitées », qui consiste à protéger les risques Moyens et Graves durant la période des contaminations primaires correspondrait à la situation d'une variété « Peu sensible » avec un inoculum d'automne « Moyen » selon les propositions d'Olivier (Tableau 2). Or, dans l'environnement immédiat des parcelles de Reine des Reinettes, la présence de parcelles comprenant une variété très sensible non protégée contre la tavelure crée un inoculum d'automne très important et pouvant atteindre les parcelles voisines (Parrot, 2005). Ainsi, l'application du modèle de raisonnement dans ce contexte aurait dû nous amener à considérer l'inoculum d'automne « Dense » et à retenir les risques Légers et Moyens comme seuils d'intervention (Tableau 2). Nous avons retenu des seuils plus élevés, et malgré cela nous n'observons pas d'échec important de protection. Les parcelles de Reines des Reinettes « Non Traitées » présentent environ 3% de fruits tavelés à la récolte ce qui montre que la pression tavelure en 2006 et 2007 n'a pas été trop forte pour cette variété. En effet, sur le même site, nous avons observé pour des parcelles de Reine des Reinettes « Non Traitées » des pourcentage de fruits tavelés à la récolte compris entre 0,3% en 2003 et 29% en 2004 (Didelot *et al.*, 2007). Ces résultats confirment l'intérêt des variétés peu sensibles pour raisonner la protection contre la tavelure et limiter le nombre d'interventions fongicides sans une prise excessive de risques ; ils montrent que des itinéraires techniques intégrant cette résistance partielle dans le raisonnement de la lutte sont en cours de validation.

### *2.2) Essai BioREco, Gotheron (Drôme)*

L'objectif général de cette expérimentation est de comparer différentes stratégies de protection contre les maladies, ravageurs et adventices du pommier, et d'en réaliser une évaluation la plus complète possible (performances agronomiques, aspects technico-économiques, impact environnemental). Dans cet article, seules les stratégies de protection contre la tavelure et l'oïdium seront présentées.

Les résultats présentés ici ont été obtenus avec la collaboration de J. Guinaudeau, S. Simon, C. Gros et F. Combe (INRA/UERI Gotheron).

## Matériel et méthodes

Trois variétés sont les supports de cette étude : **Smoothee**<sup>®</sup> (Clone 2832) sensible à la tavelure, **Melrose** (clone 2643) peu sensible à la tavelure, et **Ariane** (clone 6407) portant le gène *Vf* de résistance à *V. inaequalis* non contourné dans la Drôme à l'heure où nous écrivons.

Ces 3 variétés ont été plantées en janvier 2005 selon un dispositif expérimental comprenant 3 systèmes de production en verger correspondant à 3 approches différentes de la protection du verger :

- **RAI** : mode de protection des plantes raisonnée, correspondant aux bonnes pratiques agricoles et faisant référence à la Charte Nationale de Production Fruitière Intégrée et à sa déclinaison dans les cahiers des charges PFI des organisations professionnelles régionales.



- **ECO** : mode de protection économe en intrants phytosanitaires, privilégiant les solutions permettant de n'utiliser la lutte chimique qu'en dernier recours, et faisant références aux préconisations de l'OILB (2002).

- **BIO** : mode de protection (et de production) selon les critères de l'Agriculture Biologique (règlement CEE n° 2092/91 modifié et annexes). De plus, les solutions permettant de limiter l'usage des spécialités phytosanitaires, autorisées en Agriculture Biologique mais à effets négatifs sur l'environnement comme le cuivre et la roténone, sont privilégiées.

Ces 3 systèmes de protection n'utilisent, bien sûr, que des spécialités phytosanitaires autorisées en arboriculture en France pour l'usage qui en est fait sur pommiers. Ils sont conduits de façon équivalente pour les autres facteurs de production (porte-greffes, distances de plantation, irrigation,...) afin de minimiser les différences autres que celles liées au mode de protection. Le système BIO conserve toutefois les spécificités liées à l'arboriculture biologique pour la fertilisation (organique) et l'éclaircissage (uniquement manuel).

Le dispositif expérimental est constitué de 9 parcelles de pommiers, d'environ 3700m<sup>2</sup> chacune.

Les stratégies de protection contre la tavelure mettent en oeuvre des pratiques prophylactiques de réduction d'inoculum primaire associées à un raisonnement de la protection fongicide :

- **Prophylaxie maximale** : à la fin de la chute des feuilles, une forte réduction d'inoculum primaire est visée par enfouissement des feuilles sur le rang par buttage avec les outils à disques utilisés pour l'entretien du rang (ideal ARR, Ommas) complété par un ramassage des feuilles situées sur l'inter-rang enherbé avec une balayeuse (2200 TH, Morel) couplée à un tracteur (Gomez *et al.*, 2007).

- **Prophylaxie simplifiée** : à la fin de la chute des feuilles, un broyage des feuilles est réalisé sur l'inter-rang enherbé avec un broyeur à marteaux (TSAP, Vigolo).

- **Prophylaxie optionnelle** : même opération que pour la prophylaxie simplifiée, mais elle n'est réalisée que si l'inoculum d'automne de la parcelle est de niveau Moyen ou Dense (Tableau 2).

- **Stratégie fongicide classique** : du début du stade de sensibilité des pommiers (gonflement apparent des bourgeons) jusqu'à la fin de la période de contaminations primaires, les fongicides sont positionnés de façon préventive avant les pluies annoncées. Les courbes de risque de contamination ne sont utilisées que pour rattraper, avec un traitement fongicide « stop » ou curatif, un défaut de protection ou un lessivage du produit positionné en préventif.

- **Stratégie fongicide Modèle Olivier** : du début du stade de sensibilité des pommiers jusqu'à la fin de la période de contaminations primaires, la décision d'intervention fongicide se raisonne à partir des seuils d'intervention proposés par Olivier (Tableau 2). Pour prendre en compte les propositions d'alternance des matières actives, la stratégie retenue n'est pas exclusivement curative, des traitements préventifs peuvent être réalisés si les conditions météorologiques annoncées laissent penser que le seuil de traitement peut être atteint.

- **Stratégie fongicide Durabilité Résistance Vf** : pour Ariane, une protection fongicide réduite et limitée aux périodes de fortes contaminations est préconisée afin de se prémunir des risques de contournement (Roche *et al.*, 2004). Ainsi, nous protégeons les risques Moyens et Graves associés à des projections d'ascospores « Denses » (> 5%). Le positionnement des fongicides peut être préventif (pour les 3 modes de protection) ou curatif (pour RAI et ECO).

Pour les 2 dernières stratégies fongicides, devant la difficulté d'estimer le niveau des projections d'ascospores, nous considérons par défaut qu'à chaque épisode contaminant les projections sont « Denses » (> 5% du stock de l'année). Lorsque les modèles d'aide à la décision (avertissement SRPV ou modèle RIMpro ; Giraud et Trapman, 2006) prévoient que plus de 95% du stock d'ascospores de l'année a été projeté, alors nous considérons les projections comme « Peu Denses » (< 5% du stock de l'année).

Les combinaisons prophylaxie – stratégies fongicides sont présentées dans le tableau 4. Pour la variété Smoothie®, sensible à la tavelure, nous pensons que l'application du modèle Olivier nous conduirait à réaliser trop de traitements curatifs, et la stratégie fongicide classique a donc été retenue pour les 3 modes de protection. En Agriculture Biologique, les fongicides autorisés en France contre la tavelure (cuivre, soufre) ne présentent qu'un effet préventif. Ainsi, pour Melrose dans le mode de protection BIO, la stratégie est surtout préventive en début de saison, le modèle Olivier n'étant réellement appliqué que lorsque 95% du stock d'ascospores est projeté. Ceci correspond alors à un arrêt de la protection fongicide pour une variété peu sensible avec un inoculum d'automne léger et des projections peu denses (Tableau 2).

A la fin de la période de contamination primaire, la protection fongicide est arrêtée après un contrôle en verger (100 pousses par parcelle) pour s'assurer de l'absence de taches de tavelure, et donc de l'absence d'inoculum secondaire (conidies). Pour le BIO, nous avons légèrement relevé le seuil d'arrêt de la protection (Tableau 4) car l'expérience nous a montré qu'il y avait toujours quelques taches de tavelure en fin de contamination primaire, et que la poursuite des fongicides à base de soufre pouvait affecter les populations d'auxiliaires et présenter plus d'inconvénients que d'avantages (Simon *et al*, 2006).

La protection contre l'oïdium consiste tout d'abord en une prophylaxie par élimination des rameaux oïdiés lors de la taille d'hiver pour les 3 modes de protection. Pour ECO et BIO, il n'y a pas de protection fongicide en début de saison, mais une prophylaxie par élimination manuelle des rosettes de feuilles oïdiées (inoculum primaire ayant passé l'hiver à l'intérieur du bourgeon) est réalisée après la floraison. Cette prophylaxie est généralement réalisée lors des opérations culturales en vergers (extinctions artificielles, éclaircissage manuel). Pour RAI, il n'y a pas d'élimination manuelle des rosettes oïdiées, mais une protection fongicide systématique contre l'oïdium de l'apparition des premières feuilles à la fin de floraison.

**Tableau 4** : Stratégies de protection contre la tavelure mises en oeuvre dans les différentes parcelles de BioREco.

		RAI	ECO	BIO
<b>Smoothie®</b>	<i>Prophylaxie</i>	<i>Optionnelle</i>	<i>Maximale</i>	<i>Maximale</i>
	Stratégie fongicide	Classique	Classique	Classique
<b>Melrose</b>	<i>Prophylaxie</i>	<i>Optionnelle</i>	<i>Maximale</i>	<i>Maximale</i>
	Stratégie fongicide	Classique	Modèle Olivier	Modèle Olivier
<b>Ariane</b>	<i>Prophylaxie</i>	<i>Simplifiée</i>	<i>Maximale</i>	<i>Maximale</i>
	Stratégie fongicide	Résistance Vf	Résistance Vf	Résistance Vf
	Conditions pour un arrêt de la protection fongicide	En % de pousses tavelées ≤ 1%: arrêt > 1%: protection préventive selon prévision météo d'une pluie potentiellement contaminatrice		En % de feuilles tavelées ≤ 2%: arrêt > 2%: protection préventive selon prévision météo d'une pluie potentiellement contaminatrice

Après floraison, pour les 3 modes de protection, la décision d'intervention fongicide n'intervient que si un seuil de quantité de maladie sur feuilles est dépassé (Giraud *et al.*, 1996). Pour chaque parcelle, les 5 dernières feuilles (situées sous la dernière feuille déroulée) de 100 pousses en croissance sont observées. Si le seuil de 5% de feuilles oïdiées est dépassé, une intervention fongicide renouvelée une fois en fin d'efficacité, est réalisée (soufre en BIO, soufre ou fongicide de synthèse en ECO, fongicide de synthèse en RAI). Les contrôles oïdium reprennent en fin d'efficacité du deuxième traitement. En dessous du seuil de 5% pour BIO et ECO (2% pour RAI) aucune intervention fongicide n'est réalisée, et le contrôle oïdium est renouvelé 2 semaines plus tard. Pour RAI, un seuil intermédiaire est pris en compte, entre 2 et 5% de feuilles oïdiées, deux interventions fongicides à base de soufre sont réalisées.

Dans tous les cas, la protection oïdium prend fin avec l'arrêt de croissance des pousses.

## Résultats

En 2005 et 2006, lors du contrôle en fin de période de contamination primaire, aucune tache de tavelure n'a été observée dans aucune des parcelles. La protection fongicide contre la tavelure n'a donc pas été poursuivie au-delà de la période des contaminations primaires. Aucun fruit tavelé n'a été observé à la récolte 2006. Cependant, nous observons 8% (resp. 7%) de pousses tavelées à la fin octobre 2005 (resp. 2006) dans le verger Smoothee® BIO alors que l'inoculum d'automne reste nul à très faible dans les autres parcelles. En 2007, la présence de taches de tavelure dans les Smoothee® BIO est détectée en fin de contamination primaire (seuil de 2% de feuilles tavelées dépassé) et la protection fongicide a dû être poursuivie jusqu'à la récolte (10 fongicides soufre du 24 mai au 20 août) (Tableau 5). A la récolte 2007, 0,3% des fruits de Smoothee® BIO sont tavelés, alors qu'aucun fruit tavelé n'est détecté dans les autres parcelles.

Aucune difficulté dans la gestion de l'oïdium n'a été rencontrée. Seule la variété Ariane a nécessité des interventions après fleur (seuil dépassé). L'oïdium primaire reste très faible dans les parcelles RAI et BIO, il est légèrement plus important pour la modalité ECO en 2007 (Tableau 5).

Pour chaque mode de protection, Ariane et Melrose permettent une réduction du nombre de fongicides, par rapport à Smoothee®, sans échec de protection contre la tavelure et l'oïdium. Pour RAI, les règles de décision étant identiques entre Melrose et Smoothee®, le nombre d'intervention fongicides est forcément similaire (Tableau 5). Pour le mode ECO, où la protection fongicide tavelure peut être raisonnée selon les propositions d'Olivier pour la variété peu sensible Melrose, le nombre annuel moyen de fongicides est identique à celui d'Ariane car cette variété a nécessité plus d'interventions oïdium que Melrose (Tableau 5). En BIO, la culture d'une variété sensible comme Smoothee® entraîne une augmentation du nombre de fongicides assez importante (18 applications) dès la « troisième pousse ».

## Discussion

Les résultats obtenus sur le dispositif BioREco mettent en évidence l'intérêt du choix variétal pour raisonner la protection fongicide contre la tavelure. Cependant, ce verger expérimental n'est qu'en troisième feuille et les résultats seront à confirmer dans la durée. En particulier, la variété Ariane se trouve dans un environnement exempt de souches virulentes vis-à-vis du gène *Vf*, ce qui a facilité la réduction du nombre de fongicides. En effet, la mise en œuvre de la stratégie fongicide « Durabilité Résistance *Vf* » a souvent fait l'impasse sur les traitements préventifs, alors que pour la mise en œuvre de la stratégie « Modèle Olivier » sur Melrose ECO ou BIO, la prise de risque a été moindre et le recours aux traitements préventifs plus important. Ceci explique le nombre de fongicides contre la tavelure plus important pour Melrose que pour Ariane en ECO et BIO.

Au printemps, les raisonnements de la protection fongicide tavelure et oïdium ne sont pas indépendants l'un de l'autre puisque certains fongicides sont efficaces à la fois contre les deux maladies. Par exemple, une intervention fongicide contre la tavelure peut permettre d'éviter par la suite un traitement fongicide oïdium, ou le contraire. Seule la variété Ariane a nécessité des interventions fongicides contre l'oïdium après fleur (seuil d'intervention dépassé). Ceci n'est pas forcément dû à une sensibilité de cette variété à l'oïdium, mais peut être la conséquence d'un plus faible nombre de fongicides contre la tavelure et pouvant également avoir une action sur l'oïdium.

La stratégie BIO ne permet pas de réduire le nombre de traitements fongicides, en particulier par rapport à la stratégie ECO. En 2007, la modalité Smoother® BIO a même nécessité plus du double d'intervention fongicides contre la tavelure que Smoother® dans les modalités RAI et ECO. Les fongicides utilisés n'étant pas les mêmes, la variable 'nombre de fongicides' seule ne permet pas de conclure sur l'impact environnemental de ces traitements.

**Tableau 5 :** Efficacité des stratégies fongicides du dispositif BioREco. Nombres de fongicides réalisés et évolution de l'inoculum primaire de tavelure et d'oïdium.

Mode de protection	RAI			ECO			BIO		
	Smo	Mel	Ari	Smo	Mel	Ari	Smo	Mel	Ari
Nombre de fongicides contre la tavelure en 2005	7	6	1	7	3	1	7	6	1
Nombre de fongicides contre l'oïdium en 2005	2	2	4	0	0	1	0	0	0
% pousses tavelées fin octobre 2005	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%
% arbres avec inoculum primaire oïdium (rosettes oïdiées) fin floraison 2006	0%	0%	0%	0%	0,6%	0,9%	0%	0%	1,2%
Nombre de fongicides contre la tavelure en 2006	9	9	3	10	7	4	10	7	4
Nombre de fongicides contre l'oïdium en 2006	2	2	4	0	0	2	0	0	2
% pousses tavelées fin octobre 2006	0%	1%	0%	0%	0%	0%	7%	1%	0%
% arbres avec inoculum primaire oïdium (rosettes oïdiées) fin floraison 2007	0%	0,6%	0,6%	1,2%	1,8%	3,0%	0,6%	0,6%	0%
Nombre de fongicides contre la tavelure en 2007	8	8	3	8	2	2	18	6	4
Nombre de fongicides contre l'oïdium en 2007	1	1	1	0	0	2	0	0	0
<b>Nombre moyen fongicides tavelure/oïdium par an</b>	<b>9,7</b>	<b>9,3</b>	<b>5,3</b>	<b>8,3</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>11,7</b>	<b>6,3</b>	<b>3,7</b>

## Conclusion

Nous pensons que la **réduction de l'inoculum primaire** au verger devrait être systématique et constituer la base de toute stratégie de protection contre la tavelure. Sur les variétés sensibles ou très sensibles à la tavelure, la réduction de cet inoculum permet, en cas d'échec de protection phytosanitaire par la suite, une diminution importante du nombre de fruits tavelés à la récolte. Nous

l'avons démontré pour un verger conduit en Agriculture Biologique, mais des échecs de protection tavelure sont également observés en arboriculture conventionnelle. De plus, il semblerait logique de recommander cette prophylaxie comme une bonne pratiques agricole qui pourrait permettre de retarder ou limiter l'apparition de résistance de *V. inaequalis* aux fongicides. Pour les variétés peu sensibles à la tavelure, la réduction d'inoculum permet de raisonner la protection fongicide, et de diminuer le nombre de traitements sans prise de risque importante. Enfin, pour les variétés résistantes Vf, cette prophylaxie, associée à une protection fongicide, est fortement recommandée pour retarder l'installation des souches virulentes dans le verger. La méthode de réduction d'inoculum que nous avons développée est très efficace mais demande de réaliser un balayage et un entretien mécanique du rang de plantation (réalisé essentiellement dans les vergers en agriculture biologique). Elle n'est donc pas transférable à tous les vergers, mais d'autres méthodes de prophylaxie existent (broyage des feuilles, pulvérisation d'urée) ou sont en cours d'étude (antagonistes microbiens). De plus, toutes ces méthodes semblent complémentaires et leur association devrait permettre un effet cumulatif sur la réduction d'inoculum primaire.

Nous avons montré l'intérêt des **variétés peu sensibles** à la tavelure pour limiter le développement des épidémies et raisonner la protection. Cependant, ces variétés peu sensibles sont souvent d'anciennes variétés qui ne répondent pas toujours aux critères modernes de production, et très peu de sélections récentes présentent une résistance partielle à la tavelure. En effet, la très grande majorité des variétés récentes cultivées en France sont très sensibles à la maladie (Anonyme, 2005). Dans le contexte du contournement du gène Vf en Europe (Parisi et al., 2004a), il serait particulièrement intéressant de disposer de variétés à résistance partielle à la tavelure adaptées au marché actuel. Il nous paraît indispensable que, dans le cadre de l'évaluation fruitière des nouvelles variétés, les arboriculteurs puissent disposer (en plus des informations sur des critères de production et de qualité du fruit) d'une information fiable sur la sensibilité variétale aux maladies.

Concernant la thématique des **mélanges variétaux**, l'étude est poursuivie par expérimentation et modélisation. Un essai multisite associant une variété peu sensible à la tavelure associée à une variété résistante Vf a été mis en place à l'INRA d'Angers (en agriculture conventionnelle) et de Gotheron (en Agriculture Biologique), avec association de la prophylaxie et, à terme, de la protection fongicide (Programme de recherche ANR ADD/GEDUPIC). Les études portent sur les principaux bioagresseurs du pommier, pour prendre en compte l'ensemble des problèmes phytosanitaires du verger, ainsi que sur la modélisation de la dispersion des conidies (collaboration avec l'équipe du PIAF de l'INRA de Clermont-Ferrand) et certains aspects agronomiques. Les résultats de cette nouvelle étude devraient nous permettre de progresser dans l'évaluation de l'intérêt des mélanges variétaux par rapport à un cortège de bioagresseurs, et de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans leur efficacité vis-à-vis de la tavelure.

## Références bibliographiques

- Anonyme, 2005. Note nationale tavelure du pommier 2005 - INRA, CTIFL et DGAL-SDQPV. Phytoma La Défense des Végétaux 579, 21-23.
- Blaise P.H., Gessler C., 1994. Cultivar mixtures in apple orchard as mean to control apple scab? Norw. J. Agric. Sci. 17, 105-112.
- Brun L., Gomez C., Dumont E., 2005. Intérêts de la diminution de l'inoculum primaire de tavelure en verger de pommiers. Phytoma – La Défense des Végétaux 581, 16-18.
- Carisse O., Dewdney M., 2002. A review of non-fungicidal approaches for the control of apple scab. Phytoprotection 83, 1-29.
- Crété X., 2007. Contribution à la protection intégrée du verger de pommier : réduction de l'inoculum primaire de tavelure, *Venturia inaequalis* (Cke) Wint. par pulvérisation d'urée. Mémoire d'Ingénieur Diplômé par l'Etat, Montpellier SupAgro, 79p.

- Didelot F., Delhaye K., Brun L., Parisi L., 2000. Analysis of 1998 scab epidemic in an experimental apple orchard planted with cultivar mixtures. IOBC/WPRS Bulletin 23, 207-210.
- Didelot F., Brun L., Parisi L., 2007. La résistance partielle du pommier. Une alternative pour le contrôle de la tavelure. L'Arboriculture Fruitière 617, 35-38.
- Didelot F., Brun L., Parisi L. Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards. Plant Pathology, (sous presse).
- Garret K.A., Mundt C.C., 1999. Epidemiology in mixed host populations. Phytopathology 89, 984-990
- Giraud, M., Baudry, O., Orts, R., Gendrier J.P., 1996. Protection Intégrée Pommier – Poirier. Ed. Ctifl, Paris, 276p.
- Giraud M., Trapman M., 2006. Le modèle Rimpro. Intérêt dans la gestion de la tavelure du pommier. L'Arboriculture Fruitière 29, 29-32.
- Gomez C., Brun L., Chauffour D., De Le Vallée D., 2007. Effect of leaf litter management on scab development in an organic apple orchard. Agriculture, Ecosystems and Environment 118, 249-255.
- Holb I.J., Heijne B., Jeger M.J., 2004. Overwintering of conidia of *Venturia inaequalis* and the contribution to early epidemics of apple scab. Plant Disease 88, 751-757.
- Lespinasse Y., Durel C.E., Parisi L., Laurens F., Chevalier M., Pinet C., 2000. An European project: D.A.R.E.- Durable Apple Resistance in Europe (FAIR CT97-3898). Durable resistance of apple to scab and powdery-mildew: one step more towards an environmental friendly orchard. IOBC/WPRS Bulletin 23, 257-260.
- Lefeuvre M., 1995. « Lutte raisonnée contre la tavelure du pommier : validation d'un modèle d'aide à la décision. » Mémoire d'Ingénieur Diplômé par l'Etat, ENITHP Angers, 32p.
- Mac Hardy W.E., Gadoury D.M., 1986. Forecasting ascospores dose of *Venturia inaequalis* in commercial apple orchards. Phytopathology 76, 985-990.
- Mills W.D., Laplante A.A., 1951. Diseases and insects in the orchard. Cornell Ext.Bull. 711, 100p.
- O.I.L.B., 2002. Guidelines for integrated production of pome fruits in Europe. Technical Guideline III. IOBC/WPRS Bulletin 25 (8), 45p.
- Olivier J.M., 1986. La tavelure du pommier, conduite d'une protection raisonnée. Adalia 1, 3-19.
- Parisi L., Lespinasse Y., Guillaumès J., Kruger J., 1993. A new race of *Venturia inaequalis* virulent to apples with resistance due to the *Vf* gene. Phytopathology 93, 533-537.
- Parisi L., Fouillet V., Schouten H.J., Groenwold R., Laurens F., Didelot F., Evans K., Fisher C., Gennari F., Kemp H., Lateur M., Patocchi A., Thissen J., Tsipouridis C., 2004a. Variability of the pathogenicity of *Venturia inaequalis* in Europe. Acta Horticulturae 663, 107-113.
- Parisi L., Didelot F., Brun L., 2004b. Raisonner la lutte contre la tavelure du pommier. Un enjeu majeur pour une agriculture durable. Phytoma - La Défense des Végétaux 567, 49-53.
- Parrot P., 2005. Impact de l'association de variétés de pommiers résistants et peu sensibles à la tavelure sur les épidémies de *Venturia inaequalis* et d'autres bioagresseurs. Mémoire de Master de Sciences et Technologies, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 72 p.
- Roche L., Edin M., Mathieu V., Laurens F., 2004. Ariane. Ed. CTIFL, Paris, 91 p.
- Simon S., Bussi C., Girard T., Corroyer N., 2006. Arboriculture biologique: 11 années d'expérimentation en vergers de pêcheurs et pommiers. Résultats expérimentaux 1994-2004. Suivi longitudinal. Impact du mode de production. INRA/UMRI 1098, 59 p.