



HAL
open science

Vergers Cidricole de Demain : les enseignements après 6 ans d'expérimentation système pour réduire les intrants en jeunes vergers cidricoles

Anne Guerin, Pascale Guillermin, Remi Bauduin, D. Biche, R. Coffon, N. Broussaud, Jean-Charles Cardon, B. Corroyer, N. Corroyer, A. Denis, et al.

► To cite this version:

Anne Guerin, Pascale Guillermin, Remi Bauduin, D. Biche, R. Coffon, et al.. Vergers Cidricole de Demain : les enseignements après 6 ans d'expérimentation système pour réduire les intrants en jeunes vergers cidricoles. *Innovations Agronomiques*, 2020, 79, pp.173-191. 10.15454/dn38-de90 . hal-02627740

HAL Id: hal-02627740

<https://hal.inrae.fr/hal-02627740v1>

Submitted on 26 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

Verger Cidricole de Demain : les enseignements après 6 ans d'expérimentation système pour réduire les intrants en jeunes vergers cidricoles

Guerin A.¹, Guillermin P.², Bauduin R.³, Biche D.⁴, Coffion R.⁵, Broussaud N.⁶, Cardon J-C.⁷, Corroyer B.⁷, Corroyer N.⁷, Denis A.⁷, Gilles Y.¹, Jouve H.⁸, Le Roux B.⁹, Paris D.¹⁰, Petit B.¹¹, Thiéry D.¹², Didelot F.¹¹

¹ IFPC, La Rangée Chesnel, F-61500 Sées

² Agrocampus Ouest – Centre d'Angers - 2 rue Le Nôtre, F-49045 Angers, Cedex 01

³ IFPC- UMT Nova²cidre, Domaine de la Motte, F-35653 Le Rheu

⁴ Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor, BP 54, F-22190 Plerin

⁵ ACTA Informatique, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12

⁶ Maison Cidricole de Bretagne, Chambre Régionale d'Agriculture – ZAC Atalante Champeaux – Rond Point Maurice Le Lannou, CS 74223, F-35042 Rennes Cedex

⁷ Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie, Service Vergers et Produits Cidricoles - 6 rue des Roquemonts - F-14053 Caen Cedex 4

⁸ Lycée Professionnel Agricole du Pays de Bray, Le Château, F-76220 Brémontier Merval

⁹ OP AGRIAL « Pommes destinées à la transformation », 4 rue des Roquemonts, F-14050 Caen Cedex

¹⁰ EPLEFPA Alençon-Sées, Rue du 11 Novembre 1918, F-61500 Sées

¹¹ IRHS, INRAE, Agrocampus-Ouest, Université d'Angers, SFR 4207 QuaSaV, F-49071 Beaucouzé

¹² Les Cidres de Loire, 9 rue André Brouard, BP 70510, F-49105 Angers Cedex 02

Avec la participation des producteurs impliqués dans le projet et accueillant un site d'expérimentation : J-P. Fontaine, V. Brault, G. Decarsin, S. Bidois, J. Besnard, R. Guerin, J. Bauruelle et B. Bancel.

Correspondance : anne.guerin@ifpc.eu

Résumé

Durant 6 ans, le programme Verger Cidricole de Demain a expérimenté 9 vergers de pommiers à cidre bas-intrants « ECO », implantés chez 9 cidriculteurs du Nord-Ouest de la France. En comparaison à 9 vergers témoin « PROD », le projet visait à évaluer la faisabilité technique et les performances économiques, environnementales, sociales et agronomiques de ces vergers prototypes, où des pratiques culturales ont été combinées dans une approche dite « système ». Grâce à l'enregistrement de près de 40 000 données, des références technico-économiques ont été acquises sur les moyens permettant de réduire les intrants en jeune verger, notamment l'emploi des produits phytosanitaires. Les 9 systèmes « ECO » ont atteint une réduction moyenne des IFT hors biocontrôle de 48%. Combinées aux changements de pratiques de fertilisation et de couverture sur l'inter-rang (implantation de bandes fleuries), les méthodes alternatives au désherbage chimique du rang testées semblent davantage pénaliser l'entrée en production des systèmes « ECO » que la réduction des fongicides et des insecticides. En revanche, les stratégies alternatives testées contre la tavelure ont permis de réduire significativement les IFT fongicides sans conséquence pour la production des vergers « ECO ». Des itinéraires techniques viables à plus bas intrants restent donc possibles en verger cidricole à conditions d'optimiser certains leviers et leur combinaison, parmi lesquels : la génétique (résistance variétale et porte-greffes adaptés), la prophylaxie, le biocontrôle, l'efficacité (outils d'aide à la décision et seuils

d'intervention), la protection physique (bâche tissée ou mulch de copeaux de bois sur le rang associé à une fertilisation optimale), la lutte biologique (par conservation via l'implantation de bandes fleuries).

Mots-clés : Pommier à cidre, approche système, verger bas-intrant, indicateurs, évaluation multicritère.

Abstract: Verger Cidricole de Demain: lessons after a 6-year trial with a systemic approach in order to reduce the use of inputs in young cider apple orchards

The "Verger Cidricole de Demain" (literally: Cider Apple Orchards of the Future) research project had experimented for 6 years with 9 low-input cider apple orchards named "ECO". These were established under field conditions in 9 cider growers spread out in the north-west of France. With regard to 9 cider apple orchard references named "PROD", the project aimed at assessing the technical feasibility and the economic, environmental, social and agronomic performances of these orchard prototypes, where cultural practices had been combined in a systemic approach. Thanks to the record of about 40,000 data points, technical and economic references had been acquired to reduce inputs in young cider apple orchards, such as the use of pesticides. The 9 ECO systems reached an average reduction of the chemical treatment frequency index (in French: IFT) of 48 % with regard to the PROD reference. When combined with changes in fertilization and plantation of flower strips in the orchard inter-rows, the alternatives to herbicide use in weed management seem to be more penalizing on the first fruiting than the reduction of fungicides and insecticides. However, thanks to the tested alternative strategies to fight apple scab, fungicide treatment frequency index was significantly reduced without impacting the yields of the ECO orchards. Viable low-input farming practices remain possible in cider apple orchards if some technics and their combinations are optimised. Among these are: genetics (varietal resistance and adapted rootstocks), prophylaxis, biocontrol products, efficiency (models and decision thresholds), physical protections (inert mulches on the tree rows for weed management, such as wood chip mulch or weed fabric, associated with an optimal fertilization), beneficial insects (by preservation with plantation of flower strips).

Keywords: Cider apple tree, system approach, low-input orchard, indicators, multicriteria evaluation.

Introduction

La filière cidricole anticipe depuis de nombreuses années les attentes sociétales : production locale et respectueuse de l'environnement, limitation des traitements phytosanitaires, sécurité alimentaire jamais mise en défaut, qualité des produits. Dès les années 1980-90, lors de la mise en place du nouveau verger cidricole spécialisé, la réduction d'intrants constituait une priorité. La protection chimique systématique ne se justifiait pas, tant sur le plan économique que technique (fruits destinés à la transformation sans contrainte d'aspect). De fait, la filière s'est rapidement engagée vers des modes de production fruitière intégrée (PFI). Dans une démarche de progrès continu, la profession cidricole a sollicité l'IFPC pour renforcer la durabilité du modèle de verger. Ainsi est née l'idée, dès 2010, d'un projet de recherche ambitieux nommé « Verger Cidricole de Demain » : concevoir, expérimenter et évaluer des vergers agroécologiques innovants visant la double performance économique et environnementale au verger et intégrant l'aval de la filière cidricole et la qualité des produits finis.

L'objectif final du programme était d'analyser dans quelle mesure et sous quelles conditions la réduction de l'impact environnemental de la production de pommes à cidre peut rester économiquement viable pour les arboriculteurs et compatible avec les attentes de l'aval en termes de qualité des produits finis.

Ce projet permet de répondre aux ambitions fortes de la filière en matière d'environnement et de naturalité. Elles ont été réaffirmées dans le plan de filière établi en 2017, suite aux Etats Généraux de l'Alimentation (Unicid, 2017). Ce plan prévoit notamment d'atteindre 30% du verger cidricole en AB d'ici 2022.

1. Démarche et méthodologie

1.1 Réduire l'utilisation de tous les types d'intrants grâce à l'approche systémique

Pour répondre aux objectifs du projet, l'utilisation d'une approche dite 'système', est particulièrement adaptée (Simon et al., 2014). En effet, ce type d'approche vise à combiner plusieurs pratiques culturales pour renforcer les interactions positives entre elles afin de réduire les intrants. Le verger est ainsi appréhendé dans sa globalité, au travers de toutes ses composantes (contexte pédoclimatique, pression des bioagresseurs, entretien du sol, pratiques de fertilisation, traitements phytosanitaires, vigueur des arbres, physiologie de la mise à fruit...).

Au regard d'autres approches de ce type, le projet est original par le cadre d'analyse des systèmes : il vise la réduction, voire la suppression, de l'usage de certains produits phytosanitaires mais aussi d'autres intrants comme les engrais minéraux (passage à la fertilisation organique) et le carburant. Il prend aussi en compte une grande diversité de pratiques, des modes de production conventionnels au biologiques. Ce projet concerne la phase juvénile du verger (6 années après plantation).

1.2 Une approche participative multi-acteurs

Le projet est également novateur par la diversité d'horizons des acteurs qu'il a réunis dans une approche participative. Vingt-deux partenaires (recherche, enseignement supérieur et technique, expérimentation, acteurs de l'aval mais également conseillers de terrain et producteurs) ont ainsi mis en commun leurs expertises pour choisir les combinaisons de leviers à expérimenter, formuler les principales règles de gestion des vergers bas-intrants, définir les indicateurs et les observations à collecter, et enfin interpréter et synthétiser les résultats obtenus.

Le projet s'est aussi appuyé sur un comité d'experts extérieurs multi-filières (IFV, ACTA, ITAB, INRAE Gotheron, INRAE PSH, INRAE EcoDev, INRAE UMR System, RMT Biodiversité, GIS Fruits) ou en lien avec d'autres projets ou groupes de recherche sur les systèmes de culture et les expérimentations système : réseaux DEPHY EXPE arboriculture et viticulture (Lafond et al., 2018 ; Simon et al., 2018 ; Zavagli et al., 2018), CASDAR 2017-2020 AgroEcoPerenne, RMT SdCi, ...

1.3 Un dispositif expérimental en conditions réelles

Dix-huit parcelles représentatives de parcelles de cidriculteurs (1 ha) ont été implantées entre 2010 et 2012 chez 9 cidriculteurs, dont 2 en Agriculture Biologique (AB) (Figure 1). Ce réseau d'expérimentation multi-sites permet une bonne représentativité de la diversité régionale de la filière en termes de contextes pédoclimatiques et de pratiques culturales (conventionnel / Production Fruitière Intégrée, AB).

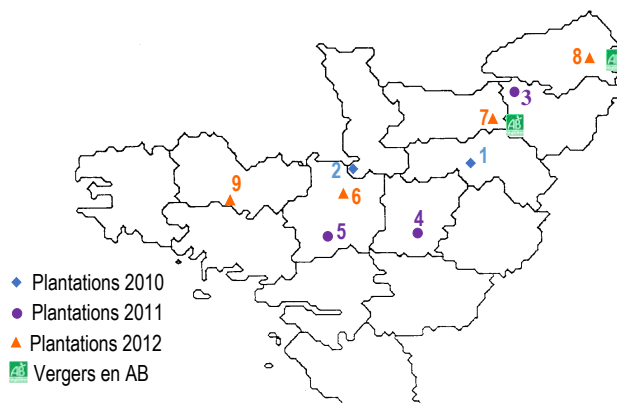


Figure 1 : Répartition géographique des 9 sites expérimentaux dans le Grand-Ouest.

Sur chaque site, un système verger agroécologique bas-intrants « ECO » est comparé à un système témoin « PROD », où le producteur réalise les mêmes pratiques que sur le reste de son exploitation. Le schéma de plantation est commun aux 2 systèmes : 3 variétés sont plantées sur le porte-greffe M106 classiquement utilisé en cidriculture : Dabinett, Douce de l'Avent_{cov} et Judor, en répétition sur 3 rangs.

1.4 Leviers innovants étudiés et conception des règles pour le pilotage des vergers bas-intrants

Les leviers d'action expérimentés (Tableau 1) concernaient la gestion des bioagresseurs majeurs du pommier cidricole et la conduite du verger (entretien du rang, fertilisation, ...) et peuvent être classés en 3 catégories selon la classification ESR (Efficience, Substitution, Reconception) (Hill et MacRae, 1995).

Tableau 1 : Leviers et stratégies expérimentés pour la gestion des bioagresseurs et du verger dans chaque système ECO afin de réduire les intrants

Bioagresseurs/ Thématiques	Type de leviers	Détails du levier/stratégie testée	Sites concernés									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tavelure	Lutte génétique	Variétés tolérantes	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Lutte physique	Broyage de feuilles			x	x						x
	Efficience	Raisonnement de la lutte chimique et utilisation d'un outil d'aide à la décision (modèle tavelure RIM Pro) : intervention exclusivement en stop ou en curatif sur risque réel annoncé par le modèle, en fonction de l'inoculum d'automne de l'année précédente, de la sensibilité variétale et du niveau de risque de contaminations donné par le modèle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Substitution	Utilisation de produits de biocontrôle	x	x	x	x			x	x	x	
	Reconception	Mélange de 2 à 3 variétés sur un même rang										x
Puceron cendré	Lutte biologique par conservation	Implantation de haies Implantation de bandes fleuries autour du verger				x	x	x				x
	Lutte biologique par conservation/ reconception	Implantation de bandes fleuries sur toute la largeur de tous les inter-rangs Implantation de haies	x	x	x					x	x	
	Efficience	Raisonnement des interventions (pilotage selon comptage d'arbres atteints et de la faune auxiliaire)	x	x	x		x	x	x	x		
	Substitution	Utilisation de produits de biocontrôle ou de barrière physique	x	x	x	x			x	x		
Carpocapse	Substitution/lutte biologique	Utilisation de produits de biocontrôle (virus de la granulose)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Substitution/lutte biotechnique	Confusion sexuelle				x	x					
	Lutte biologique par conservation	Implantation de bandes fleuries et de nichoirs à mésanges	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Reconception	Introduction d'animaux (moutons) Introduction d'animaux (poules et oies)							x		x	
Anthonome Hoplocampe	Substitution	Utilisation de produits de biocontrôle contre l'anthonome										
	Reconception	Introduction d'animaux (moutons) Introduction d'animaux (poules et oies)							x		x	
Campagnols	Lutte physique	Piégeage au piège mécanique Topsnap	x	x	x							
	Reconception	Introduction d'animaux (moutons)							x		x	
Adventices	Lutte physique	Désherbage mécanique	x			x						
		Bâche tissée			x							x
		Bâche plastique		x			x	x				
		Mulch de copeaux de bois				x				x	x	
		Enherbement spontané		x					x	x	x	
Fertilisation minérale	Substitution	Semis de plantes couvre sol (paturin) Utilisation exclusive d'engrais azoté d'origine organique ou d'engrais d'origine naturelle					x					
			x	x	x	x	x	x	x	x		

Associées à chacun de ces leviers, des règles de mise en œuvre, appelées règles de décision (RDD), consistaient à : (1) définir des observations permettant de fixer des seuils d'interventions, (2) définir une stratégie d'action en fonction de ces seuils et basée sur des règles de type (« si », « alors », « sinon »).

D'une manière générale, les RDD retenues visaient une réduction maximale des impacts environnementaux, tout en prenant en considération des aspects économiques (niveau de productivité, temps de travail...). Elles ont été conçues pour pouvoir être modulées, adaptées ou abandonnées en fonction de leur efficacité et des résultats de l'évaluation du système ECO. Cette conception est basée sur des résultats de précédents travaux d'expérimentations, de la bibliographie ou d'hypothèses. A titre d'exemple, les systèmes ECO ont été conçus avec l'hypothèse que les infrastructures agroécologiques (IAE) (haies, bandes fleuries, ...) permettraient d'aller vers une augmentation de la biodiversité fonctionnelle et de la régulation naturelle des principaux ravageurs du verger cidricole (lutte biologique par conservation), dont le puceron cendré. Une thèse (Albert, 2017), co-encadrée par l'INRAE PSH Avignon, l'IGEPP Rennes et l'IFPC, a ainsi été menée sur les vergers du réseau pour mieux comprendre les interactions puceron cendré / auxiliaires / IAE, tout en fournissant des leviers d'actions aux producteurs pour augmenter les processus de régulation naturelle de ce ravageur particulièrement préjudiciable en jeune verger cidricole.

Ces règles ont permis d'homogénéiser *a minima* le pilotage des 9 systèmes ECO du réseau, mais chaque producteur a conservé une certaine latitude pour adapter les stratégies de conduite associées aux RDD, en fonction de ses contextes (situation pédoclimatique, agro-équipements disponibles, ...). En ce sens, les 9 systèmes ECO ne peuvent être considérés comme des répétitions. La performance de chaque système a été évaluée en comparaison de la référence PROD située dans le même contexte pédoclimatique et d'un système de référence construit à dire d'expert (Guerin, 2011). Les RDD permettent par contre de disposer de jeux de données correspondant à des variables identiques observées sur chaque système, ce qui permet d'envisager une analyse à l'échelle du réseau et de façon pluriannuelle.

1.5 Choix des indicateurs et méthodologie pour l'analyse multicritère des systèmes et pour la compréhension de leur fonctionnement

Afin de saisir, conserver et exporter toutes les observations et interventions culturelles faites sur les parcelles du projet (pression des bioagresseurs, rendements, vigueur, état nutritionnel des arbres, fertilité du sol, etc.), un outil de gestion des données, interfacé sur le web et intitulé System@rbo®, a été développé par l'IFPC, Agrocampus Ouest et ACTA Informatique.

En plus et à partir de ces variables agronomiques issues des relevés de terrain, d'autres indicateurs ont été calculés pour évaluer la réduction des intrants et les performances des vergers testés de façon multicritères, sur les plans agronomiques, économiques, environnementaux et sociétaux. Une revue des principaux indicateurs existants a été réalisée (Kouchner, 2015) pour retenir les plus adaptés au projet (Tableau 2). Dans une filière amont-aval, les systèmes ont également été évalués par l'UMT Nova²cidre (IFPC/INRAE) sur des critères de qualité des fruits et produits finis.

Tableau 2 : Indicateurs retenus dans le projet Verger Cidricole de Demain pour évaluer les performances des systèmes testés

Indicateurs d'utilisation des pesticides et risques environnementaux	IFT (Indice Fréquence Traitement)	Indicateur rendant compte de l'intensité d'utilisation des pesticides $\frac{\text{dose appliquée}}{\text{dose homologuée}} \times \% \text{ surface traitée}$
	IRPeQ (Indice de Risques des Pesticides du Québec) → 2 sous-indicateurs séparés : -L'Indice de Risque Santé (IRS) -L'Indice de Risque Environnement (IRE)	Indicateurs basés sur la toxicité des matières actives des pesticides et sur leurs conditions d'application (dose, formulation...) (Samuel et al., 2012)
	I-Azote _{ARBO} (Bockstaller et al., 2008 ; Griffith, P., 2004).	Indicateur de risques de pollutions azotées (risque de lessivage des nitrates, de volatilisation d'ammoniac et d'émissions d'oxyde nitreux (gaz à effet de serre)), basé sur la nature et les modalités d'apports des engrais
Indicateurs techniques agronomiques	Maitrise sanitaire des maladies	Evaluation qualitative de la satisfaction du producteur vis-à-vis de la pression bioagresseurs sur son verger
	Maitrise sanitaire des ravageurs	
	Vigueur du verger	Accroissement de la circonférence des troncs
	Maitrise de l'alimentation du verger	Analyses foliaires dont teneur en azote
Indicateurs économiques	Rendements	Tonnes à l'hectare
	Qualité des fruits	Potential de conservation des fruits au sol, taux d'altération à la récolte, composition des moûts : teneur en polyphénols, acidité totale, sucres et azote total
	Chiffre d'affaire	Rendement x prix forfaitaire de la tonne de pommes (fixé à 150€/t en conventionnel et 220€/t en agriculture biologique)
	Coûts de production	Ensemble des charges (hors charges de structure telles l'amortissement du matériel) : charges des intrants phytosanitaires, charges des intrants fertilisants, charges des autres intrants, charges de mécanisation et charges de main d'œuvre (prix forfaitaire de 17€/heure)
	Marges	Chiffre d'affaire – coûts de production : Marge brute (hors charges de main d'œuvre), marge semi-nette (hors charges de structure), marges cumulées
Indicateurs sociaux	Indice de Risque Santé (IRS)	Sous-indicateur IRPeQ de risque des produits phytopharmaceutiques
	Temps de travaux	Cumul, répartition annuelle, part des temps de travaux manuels/mécanisés

1.6 Focus biodiversité fonctionnelle : choix des indicateurs et méthodologie pour l'évaluation du rôle des IAE dans la régulation naturelle

Dans le cadre de la thèse conduite dans le domaine de la biodiversité fonctionnelle (Albert, 2017), plusieurs techniques d'échantillonnage des arthropodes ont été utilisées afin de collecter les variables nécessaires à l'évaluation du rôle des IAE dans la régulation naturelle du puceron cendré : filet fauchoir dans les différentes strates du verger (pommiers, haies, inter-rangs et bandes fleuries), observations directes dans les foyers de pucerons (nombre de pucerons cendrés, nombre d'auxiliaires présents par famille et stade, nombre de foyers avec fourmis). D'autres méthodes d'évaluation de la biodiversité (non développées ici) ont aussi été mises en œuvre notamment par des étudiants en 2^{ème} année de BTS Gestion et Protection de la Nature du lycée agricole d'Alençon-Sées.

2. Systèmes cidricoles bas-intrants : résultats de l'analyse multicritère sur les 6 premières années de vie des vergers

Les parcelles ont été plantées entre 2010 et 2012 et le projet a été conduit jusqu'en juin 2018. Suivant les parcelles, il est donc possible de dresser un bilan sur 6 à 8 années. Les rendements sont comptabilisés à partir de la 3^{ème} année (appelée aussi « feuille »). Afin d'analyser les résultats à l'échelle globale du réseau, les résultats sont donc présentés sur les six premières feuilles, à savoir de 2010 à 2015 pour les sites n°1 et 2 plantés en 2010 ; de 2011 à 2016 pour les sites n°3,4 et 5 plantés en 2011 ; et de 2012 à 2017 pour les sites n° 6,7, 8 et 9 plantés en 2012.

2.1 Bilan sur la réduction des IFT et étude de l'impact environnemental

La Figure 2 montre que les IFT ont été réduits sur tous les systèmes ECO par rapport aux systèmes PROD. La moyenne des réductions des pesticides de synthèse (calculée sur les IFT hors biocontrôle) atteint 56% chez les producteurs conventionnels hors site n°9 (-48% avec), mais les plages de réduction vont de -19% à -84%. L'intensité d'utilisation des pesticides et les possibilités de réduction varient selon les sites, en fonction des conditions météorologiques et de pression des bioagresseurs.

Malgré un IFT total très faible, les 2 parcelles ECO en agriculture biologique affichent respectivement une réduction de l'IFT hors biocontrôle de 83% pour le site 7 et de 20% pour le site 8 (respectivement -66% et -14% si on parle d'IFT total, IFT de biocontrôle compris et qui représente l'essentiel des IFT pour ces parcelles).

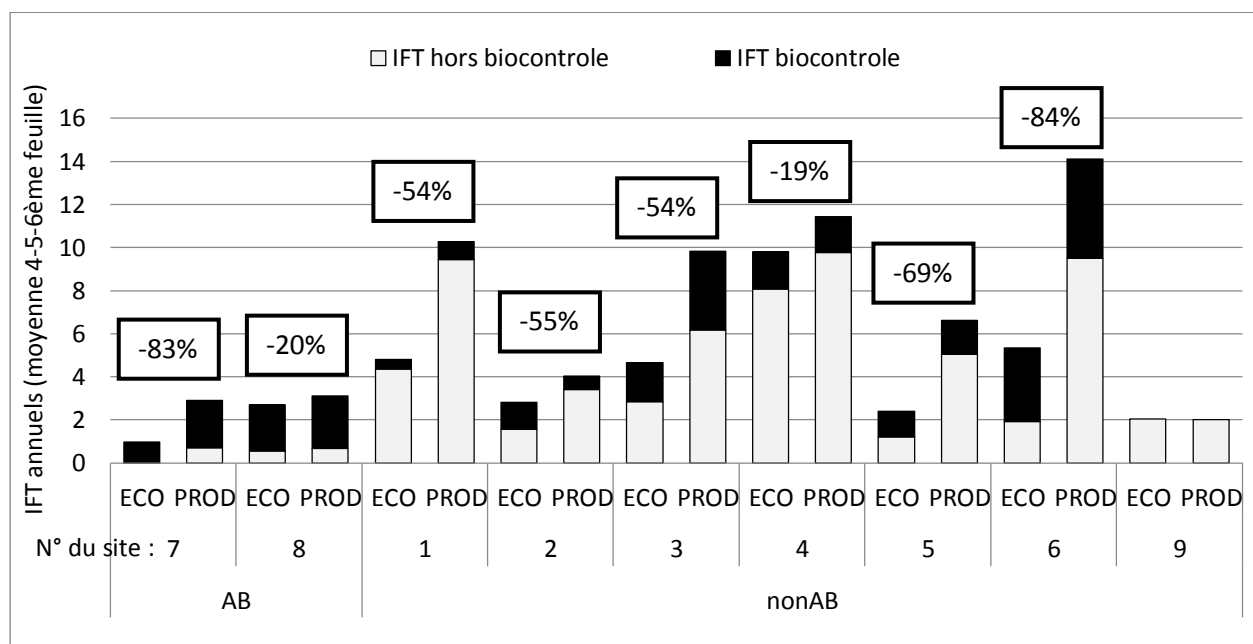


Figure 2 : Comparaison ECO/PROD des IFT totaux annuels moyens sur les 9 sites du réseau (moyenne calculées sur la 4, 5 et 6^{ème} feuille) et pourcentages de réduction des IFT hors biocontrôle ECO par rapport aux IFT hors biocontrôle PROD.

Dans les sites conventionnels, le nombre d'IFT total hors biocontrôle a surtout été réduit grâce à la réduction des fongicides (en particulier des traitements anti-tavelure) puis à celle des insecticides et enfin des herbicides (Figure 3), même si cette dernière catégorie de pesticides enregistre la plus forte réduction en pourcentage (moyenne de -61%, avec certains sites ECO qui atteignent 100% de réduction). La représentation des valeurs d'IFT biocontrôle sur la Figure 2, bien que non intégrées dans le calcul du pourcentage de réduction des pesticides, montre sur certains sites l'importance du recours à la substitution des molécules classiques par ces produits de biocontrôle (virus de la granulose, soufre, confusion sexuelle...) pour réduire les IFT chimiques dans les systèmes ECO conventionnels.

La Figure 3 indique cependant que les traitements de biocontrôle ont été réduits à l'échelle du réseau, en particulier sur les sites AB.

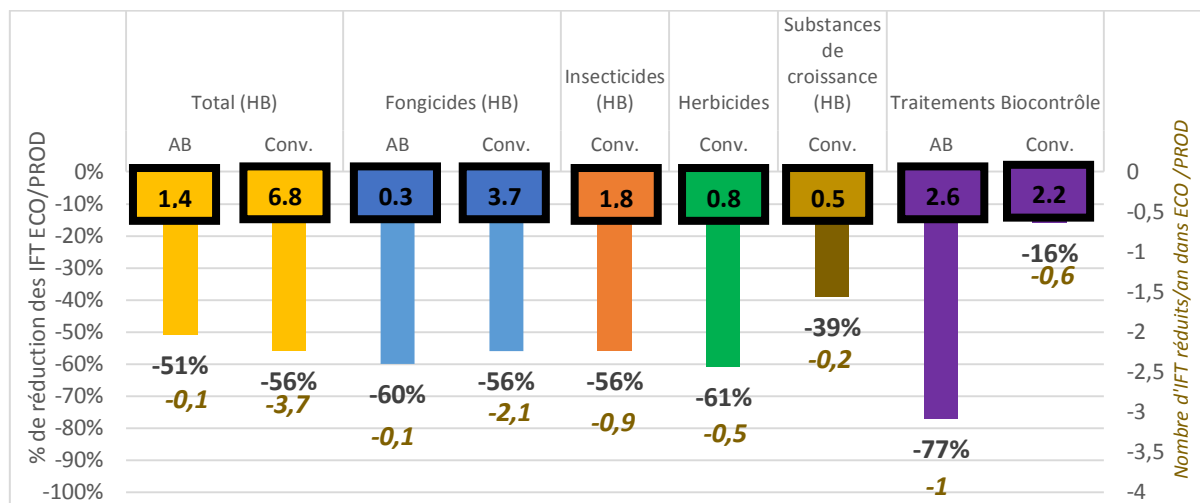


Figure 3 : Moyenne des réductions d'IFT atteintes dans les systèmes ECO conventionnels et AB en référence aux systèmes PROD (en pourcentage de réduction et nombre d'IFT réduits/an).

Pour chaque site ECO (hors site n°9), des réductions individuelles ont d'abord été calculées à partir des IFT moyens annuels (moyenne IFT 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} feuilles pour PROD et ECO et pour chaque site). Les chiffres sous les barres indiquent la moyenne des réductions pour les sites conventionnels et ceux en AB et pour chaque catégorie de pesticides (total hors biocontrôle, fongicides, insecticides, herbicides, substances de croissance et biocontrôle). Le chiffre encadré correspond à l'IFT moyen annuel des systèmes PROD (moyenne calculée sur la 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} feuilles). Exemple de lecture : en conventionnel, la réduction moyenne des fongicides hors biocontrôle atteint 56% ou 2,1 traitements en moins, avec un IFT fongicides moyen annuel de référence de 3,7.

Cette diminution de l'utilisation des intrants phytosanitaires et/ou leur substitution par des produits de biocontrôle s'est aussi traduite par une réduction des risques environnementaux et pour la santé. Ainsi, sur les 6 premières années de vie du verger, l'indicateur IRPeQ (voir Tableau 2) montre :

- Sur le plan environnemental (indicateur IRE), une amélioration moyenne de l'indice pour les parcelles ECO conventionnelles de l'ordre de 32%, essentiellement dû à la réduction des fongicides et des insecticides. Les parcelles en AB enregistrent une réduction des risques de 50%, qui s'explique essentiellement par la réduction de l'usage des fongicides à base de cuivre et de soufre.
- Sur le plan de la santé de l'applicateur (indicateur IRS) un gain moyen de l'indice pour les parcelles ECO conventionnelles de l'ordre de 40%, essentiellement dû à la réduction des fongicides et des herbicides. Les parcelles AB enregistrent une réduction des risques de 45%, ici encore grâce à la réduction de l'usage des fongicides à base de cuivre et de soufre.

2.2 Bilan sur les intrants de type engrais

Concernant les engrais azotés, l'objectif d'une utilisation exclusive d'engrais organiques sur l'ensemble des vergers ECO a été quasiment atteint. Différents engrais organiques ont été testés suivant les années et les sites : vinasse de betterave, farine de plume, mélange de copeaux de bois / compost de déchets verts / fientes de volailles, divers fumiers (volaille, ovin, bovin, porc, équin) et plus ou moins compostés, guano formulé du commerce, fientes de volailles, etc. Cette diversité s'explique essentiellement par les différentes possibilités d'approvisionnement de chaque producteur partenaire.

Le passage à la fumure organique ne s'est pas accompagné d'une évolution des risques de pollutions d'origine azotée (lessivage de nitrate, volatilisation ammoniacale, émission du gaz à effet de serre N₂O).

Les résultats des calculs de l'indicateur I-Azote (non présentés ici) montrent en effet des risques de pollution azotée globalement faibles pour toutes les parcelles, que ce soit dans PROD ou ECO, attestant de bonnes pratiques de fertilisation des producteurs déjà existantes (apports fractionnés, sans excès, à des dates d'apport cohérentes avec la dynamique d'absorption des arbres).

2.3 Maitrise sanitaire et bilan agronomique

2.3.1 Effet de la réduction des fongicides sur la maîtrise de la tavelure

Les stratégies et leviers mis en œuvre contre la tavelure dans les modalités ECO (Tableau 1) ont permis de réduire les fongicides de 56% en moyenne sur les vergers ECO conventionnels (avec des réductions allant jusqu'à 97%) et de 60% en AB (Figure 3).

Malgré cette baisse conséquente des fongicides sur plusieurs années (de 6 à 8 ans, selon l'année de plantation des parcelles), les arbres de la modalité ECO ne présentent pas plus de dégâts que les arbres de la modalité PROD. Ainsi, pour la variété sensible Judor (Figure 4), seules 11 situations (sur 36 observées) présentent un pourcentage de pousses tavelées à l'automne moyen à fort en ECO contre 13 en PROD. La tendance se confirme également sur fruits : malgré la présence de taches significatives sur feuilles pour certains sites, la tavelure n'a majoritairement pas eu d'incidence sur la récolte (qualité et rendement).

Pour les sites en AB, la gestion de la maladie semble plus difficile sur Judor, en particulier les années à forte pression, mais sans distinction entre les modalités PROD et ECO.

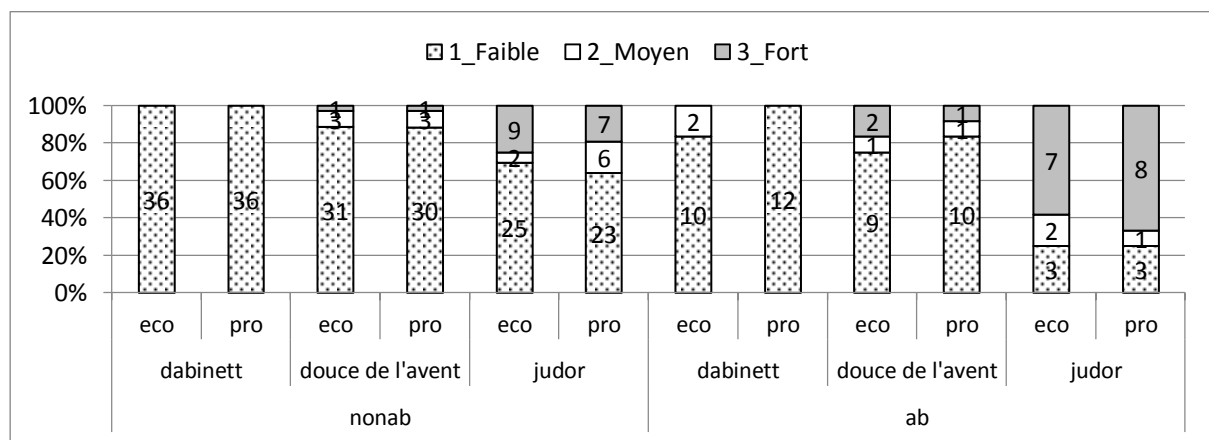
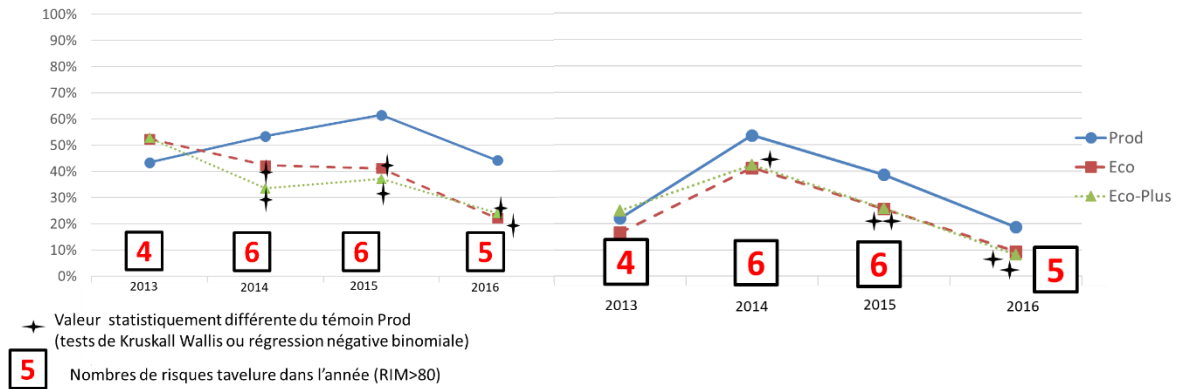


Figure 4 : Comparaison ECO/PROD pour chaque variété, en conventionnel et en AB, du pourcentage et du nombre de cas (1 cas=1 site/1modalité/1année) classés en inoculum tavelure faible (0 à 10% de pousses tavelées), moyen (10% à 1/3 des pousses tavelées) ou fort (plus de 1/3 des pousses tavelées).

Les résultats du site n°9, en mélange variétal sur le rang et dans un contexte de 0 traitement anti-tavelure depuis la plantation, montrent une efficacité significative de la diversification des rangs en comparaison de rangs monovariétaux, pour réduire la propagation de la maladie sur la variété la plus sensible Judor (Figures 5 et 5 bis). En revanche, les deux mélanges à 3 et 6 variétés (ECO et ECO Plus) présentent le même niveau d'efficacité. La complexification n'apporte donc pas de bénéfice sur le contrôle de la maladie sur la variété sensible Judor, avec le plan de mélange utilisé. Sur l'ensemble du verger, la proportion de fruits touchés reste élevée (entre 8 et 54% selon les années et les modalités) mais sans incidence sur le niveau de production, ce qui reste le critère économique majeur en vergers de pommes à cidre.

Sur les variétés peu sensibles, Douce de l'Avent_{cov} et Dabinett, la tavelure s'est très peu développée (0,1% d'incidence sur feuilles, moyenne 2013-2016). Le niveau de maladie est comparable dans les trois modalités. Pour les 3 autres variétés, Kéramère_{cov}, Bisquet et Avrolles du mélange ECO Plus, il n'est pas possible de conclure quant à l'efficacité des mélanges car ces 3 variétés sont uniquement présentes dans la modalité en mélange à 6 variétés (pas de témoin non en mélange pour ces variétés). La variété Kéramère_{cov} présente cependant une augmentation de l'incidence sur feuilles et fruits entre 2013 et 2016, traduisant un contournement de la résistance à la tavelure pour cette variété.



Figures 5 et 5 bis : Evolution du pourcentage de feuilles tavelées en été (à gauche) et de fruits tavelés à la récolte (à droite) entre 2013 et 2016, sur la variété sensible Judor, dans les parcelles PROD (témoin en rang monovariétaux), ECO (mélange de 3 variétés, Dabinett, Judor, Douce de l'Avent_{cov}, 2 à 2 sur le rang) et ECO+ (mélange de 6 variétés, Dabinett, Judor, Douce de l'Avent_{cov}, Bisquet, Avrolles, Kéramère_{cov}, 3 à 3 sur le rang).

2.3.2 Effet de la réduction des insecticides sur la maîtrise des ravageurs

Les stratégies et leviers mis en œuvre dans les modalités ECO contre le puceron cendré, le carpocapse et l'anthonome (Tableau 1) ont permis de réduire les insecticides hors biocontrôle de 56% en moyenne sur les vergers ECO conventionnels (Figure 3), avec des réductions allant jusqu'à 83% sur certains sites. Les IFT insecticides des 2 sites en AB ont des IFT très faibles et majoritairement de type biocontrôle.

Le carpocapse, l'hoplocampe et l'anthonome ont été bien maîtrisés dans les 2 modalités, dans un contexte global de faible pression due à la jeunesse des vergers. La réduction des insecticides dans les vergers ECO n'a globalement pas entraîné d'augmentation des dégâts de ces ravageurs en comparaison des vergers PROD. Leur pression pouvant augmenter avec l'âge des vergers, il conviendra de voir dans quelle mesure il est possible de poursuivre une telle réduction de l'usage des insecticides sur ces bioagresseurs pour des vergers en pleine production.

Concernant le puceron cendré, il est plus difficile de tirer une conclusion moyenne à l'échelle du réseau et il est nécessaire de regarder au cas par cas les conséquences agronomiques de la réduction des aphicides sur chacun des sites. Les résultats montrent certaines difficultés techniques à réduire les aphicides en jeune verger, principalement par manque d'outils de pilotage de ces interventions prenant en compte l'activité de la faune auxiliaire.

Sur le volet biodiversité fonctionnelle, la thèse (Albert, 2017) a permis d'améliorer les connaissances sur la régulation naturelle du puceron cendré par ses auxiliaires, dans les conditions climatiques des vergers du Nord-Ouest de la France, et de confirmer l'intérêt d'implanter des IAE telles que les bandes fleuries pour favoriser cette régulation (Dib, 2010 ; Dib et al., 2012 ; Gontijo et al., 2013 ; Simon et al., 2010 ; Wyss, 1995). En effet, les mélanges fleuris implantés sur les vergers du réseau ont été favorables à l'augmentation du nombre d'auxiliaires dans les foyers de pucerons. L'abondance des

forficules et des larves de syrphes a ainsi été multipliée respectivement par 2 et 1,3 pendant que celle des pucerons a été divisée par 2 (résultats de l'analyse statistique via modèle linéaire généralisé).

La localisation des bandes fleuries est un facteur important. Deux modalités d'implantation des mélanges fleuris ont été testées sur le réseau : autour du verger ou en inter-rang. Ces différentes modalités n'ont pas pu être testées statistiquement en raison du faible nombre de répétitions, mais une tendance montre que le nombre moyen de syrphes par arbre est moins important dans le cas des bandes fleuries implantées uniquement autour du verger. Les résultats de capture au filet fauchoir dans les pommiers ont également mis en évidence que la présence des syrphes était plus précoce dans les vergers avec des mélanges fleuris en inter-rang que dans les vergers avec couvert à base de graminées.

2.3.3 Effet de la réduction des herbicides, des changements de pratiques de fertilisation et d'entretien du sol sur l'état nutritionnel du verger

En fonction de son contexte, chaque producteur a opté, dans ECO, pour l'alternative aux herbicides de son choix (Tableau 1). La mise en place de ces différentes alternatives a permis de réduire de 67% les IFT herbicides en 6 ans (moyenne des réductions sur les 6 sites conventionnels calculée sur les IFT herbicides cumulés de la 1^{ère} à la 6^{ème} feuille). Mais les possibilités de réduction restent plus ou moins importantes selon les sites (plage de réduction allant de 30% à 100%). Elles dépendent essentiellement des possibilités de passer à l'enherbement total selon le contexte pédoclimatique, la croissance des arbres et/ou le matériel disponible sur l'exploitation pour entretenir cet enherbement.

Combinées aux changements de pratiques de fertilisation et de couverture sur l'inter-rang (implantation de bandes fleuries), les méthodes alternatives au désherbage chimique du rang ont entraîné des problèmes de concurrence hydro-minérale. Les analyses foliaires réalisées 60 jours après la floraison révèlent en effet des teneurs en azote significativement plus faibles dans les systèmes ECO ($p= 0.0393$, test ANOVA). Ces carences en azote, particulièrement marquées durant les premières années de vie des vergers ECO, ont été à l'origine d'une mise à fruits plus tardive, d'un moindre développement des arbres, de mauvais retours à fleurs et/ou de problèmes de nouaison, entraînant par conséquent des rendements globalement plus faibles dans les systèmes ECO (Figure 6). En effet, dans 55% des cas (1 cas = une variété sur un site et pour une année de production), les rendements annuels ECO sont inférieurs de plus de 20% à ceux de PROD et dans 17% des cas entre 0 et 20% inférieurs. Pour près de 30% des situations, les systèmes ECO présentent cependant un rendement équivalent ou supérieur.

Si on raisonne en production cumulée de la 3^{ème} à la 6^{ème} feuille et moyennée sur le réseau (Figure 6), on constate une baisse moyenne de 10 t/ha sur 4 années de production, en conventionnel comme en AB. 4 systèmes ECO/site/variété présentent cependant un rendement total quasiment équivalent ou supérieur à PROD (cas des systèmes Judor ECO du site 3, Douce de l'Avent et Dabinett ECO du site 4 et de Judor ECO du site 5). Les deux sites implantés en 2010 (n° 1 et 2) ont eu une entrée en production particulièrement tardive que cela soit dans les systèmes PROD ou ECO (5^{ème} voire 6^{ème} feuille selon les variétés). Par conséquent, les rendements cumulés après 4 années de production restent très inférieurs aux attentes dans les 2 systèmes et pour les 3 variétés. A noter également la montée en production plus lente de la variété Dabinett en comparaison des 2 autres variétés.

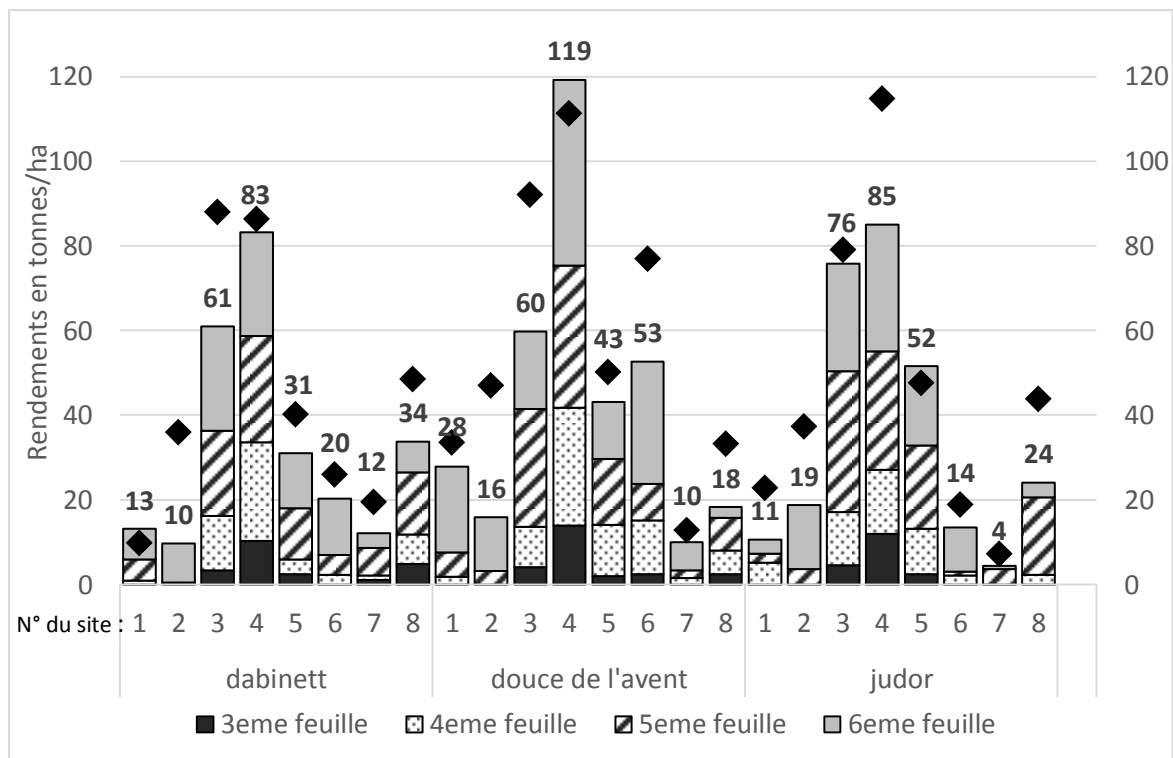


Figure 6 : Rendements annuels en tonnes/hectare pour les 3 variétés des parcelles ECO des sites n°1 à 8 selon l'âge du verger (rendements ramenés à une densité moyenne et équivalente pour tous les sites à 813 arbres/ha). Les chiffres et les points associés à chaque histogramme représentent le rendement total obtenu après 4 années de production respectivement sur les parcelles ECO et les parcelles PROD.

2.4 Bilan technico-économique des systèmes agroécologiques

2.4.1 Effet de la réduction des intrants sur la marge économique

L'enregistrement détaillé des pratiques a permis de réaliser une analyse jusqu'à la marge semi-nette (marge brute avec charge de main d'œuvre).

Sur les 6 premières années de vie du verger, les charges sont globalement plus élevées dans les systèmes ECO. Cette augmentation des coûts de production s'explique par des temps de travaux plus importants pour la fertilisation, l'entretien du rang et de l'inter-rang et à l'achat d'intrants alternatifs plus coûteux (achat de semences de bandes fleuries, de bâches, de mulch, d'aménagements pour les animaux, etc.). Combinées à des rendements plus faibles, les marges économiques restent donc inférieures dans les systèmes ECO. Mais les différences et niveaux de rendements étant très variables selon les sites (Figure 6), l'analyse de la viabilité des systèmes ECO doit se faire au cas par cas. Ces résultats économiques sont cependant à nuancer car ils ont été calculés sur des parcelles d'essai et de petites surfaces, dont les différentes charges ont pu être surestimées par rapport à une réalité grande échelle (temps de travaux liés à du désherbage mécanique et réalisé manuellement par exemple).

2.4.2 Effet de la réduction des intrants sur la qualité des fruits

Les fruits des récoltes 2015, 2016 et 2017 ont été pressés et des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les moûts extraits. Un traitement statistique (Modèle Linéaire Généralisé) des données a été réalisé sur les critères d'intérêt pour la fabrication du cidre : masse volumique, acidité totale, teneur en polyphénols et azote total. Pour chaque critère, l'objectif était de hiérarchiser puis d'évaluer la significativité des effets principaux : effet de l'année, du site ou de l'itinéraire (ECO ou PROD). Compte tenu du fort impact variétal connu sur les critères masse volumique, acidité totale et teneur en polyphénols, le traitement statistique a été réalisé variété par variété.

Les résultats montrent que les facteurs « année » et « site » et leurs interactions ont un impact significatif sur la masse volumique des moûts (quantité de sucre), l'acidité, les polyphénols et l'azote total. Ces résultats ont déjà été observés dans le cas d'autres études et s'expliquent par des contextes pédoclimatiques variés et des pratiques différentes d'un site et d'une année à l'autre. L'effet « itinéraire » (ECO vs PROD) reste minoritaire par rapport à ces 2 facteurs et, lorsqu'il existe, il n'intervient que sur les variétés Douce de l'Avent_{cov} et Dabinett et avec un effet significatif sur l'azote et sur les polyphénols.

L'effet sur l'azote se traduit par des modalités ECO avec une teneur moindre en azote total dans les moûts. Une plus faible teneur en azote est intéressante sur le plan de la stabilité microbiologique des produits non pasteurisés (cidres fermiers et artisanaux). En revanche, nous n'avons pas encore les éléments pour savoir si une teneur en azote plus faible est favorable ou défavorable sur les arômes fermentaires des cidres. Pour rechercher la ou les cause(s) possible(s) de cette plus faible teneur en azote, la fertilisation des parcelles (quantité, type et date d'apport) a été étudiée. Aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre la fertilisation, la teneur en azote des feuilles et la teneur en azote des moûts.

L'effet sur les polyphénols se traduit par une teneur accrue d'environ 10 à 20% dans les moûts issus des modalités ECO. L'effet de la charge et du poids des fruits par arbre n'explique pas cette plus grande richesse en polyphénols. Une hypothèse possible pour expliquer ce phénomène proviendrait de la carence azotée des parcelles ECO. Lea et al. (1978) ont mis en évidence que les pommiers carencés en azote produisaient des fruits plus riches en polyphénols (+17% en moyenne) que des fruits issus de pommiers correctement alimentés en azote.





Pour les critères économiques, les analyses statistiques montrent que le système de culture n'induit pas de différence sur le taux d'altération des fruits à la récolte et le potentiel de conservation des fruits. Malgré une période prolongée au sol (15-23 jours en moyenne), ECO n'est donc pas plus favorable que PROD (par l'utilisation de bâche ou de mulch sur le rang par exemple) ou défavorable (par une moindre utilisation de fongicides par exemple) à la conservation des fruits.

2.5 Synthèse via analyses multicritères

Un tableau de bord (Figure 7) rassemblant les indicateurs précédemment cités a été conçu pour :

- Visualiser rapidement et de façon synthétique l'ensemble des résultats de performance de chaque système (analyse multicritères).
- Identifier les systèmes ECO les plus performants sur un maximum de critères/indicateurs.
- Identifier les points forts/points d'amélioration de chaque parcelle.
- Identifier l'atteinte ou non d'objectifs à l'échelle du réseau.



Pour chaque indicateur et chaque site, une couleur a été attribuée en fonction de la différence de la modalité ECO par rapport à PROD :

-  : ECO meilleur ou identique à PROD sur le critère considéré
-  : différence avec PROD de moins de 10%
-  : différence avec PROD entre 10% et 20%
-  : différence avec PROD de plus de 20%

Ces valeurs seuils peuvent être modifiées, tout comme le choix du référentiel pour le calcul du différentiel (ici la référence est PROD mais la moyenne du réseau ou toute autre référence peut aussi être envisagée).

Parcelle	Environnemental			Economique							Agronomique			Social	
	IFT	Risque pour l'environnement	Pollution Azotée	Rendements cumulés 1ère-6ème F	Qualité des fruits	Coûts fertilisation	Coûts phytos	Coûts matériel	Marge semencière cumulée	Marge semencière en 6F	Maitrise des maladies	Maitrise des ravageurs	Accroissement	Temps de travail	Risque pour la santé
1	✓	✓	!	✗	✓	✗	✓	✓	✗	○	✓	○	✓	!	✓
2	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	!	!	✓	✓
3	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓	!	✗	✓
4	✓	✓	✓	!	✓	✗	✓	✗	✗	✓	!	✓	!	✗	✓
5	✓	✓	✓	!	✓	✓	✓	○	✗	✗	✓	✓	!	!	✓
6	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	!	!	✓	○	✓
7	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	○	!	!	✓	✓
8	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	!	✗	✗	✓	✓	✓	!	✓

Figure 7 : Analyse multicritères des performances obtenues sur différents critères de durabilité pour chacun des 8 prototypes bas-intrants expérimentés sur la période 1ère - 6ème feuille (hors site n°9 en mélange variétal).

A noter que le caractère positif ou négatif du différentiel avec PROD varie selon le critère. Par exemple, selon les cas, une valeur inférieure à PROD peut être vue comme positive, donc de couleur  (exemple des IFT) ou négative, donc de couleur  (cas des rendements). Pour les critères de qualité des fruits et de maîtrise sanitaire, l'évaluation de la performance du système ECO se fait de façon absolue, sans comparaison à une référence, selon la satisfaction du producteur et du technicien qui gèrent la parcelle.

Avec cette méthodologie d'analyse, il est difficile d'identifier un système performant sur l'intégralité des critères, notamment sur la durabilité économique. Le tableau a été généré sur les indicateurs moyennés ou cumulés sur les 6 premières années de vie des vergers. Mais il peut aussi être calculé pour chaque année afin de réaliser l'évaluation multicritères de façon annuelle. Les analyses réalisées sur quelques parcelles ayant une 7^{ème} et 8^{ème} années de production montrent dans certains cas une marge équivalente, voire supérieure, à celle des parcelles PROD.

3. Les enseignements sur les leviers et stratégies mobilisés

3.1 Leviers contre la tavelure

3.1.1 Efficience de la lutte anti-tavelure via l'utilisation d'un modèle de prévision des risques et via l'observation au verger

La règle de décision mise en œuvre contre la tavelure dans les modalités ECO a conduit à une forte diminution du nombre de traitements sans conséquence sanitaire pour le verger et sans incidence sur les rendements. Intervenir en curatif, selon des seuils de risques plus élevés donnés par le modèle Rimpro et tenant compte de la sensibilité variétale et de l'inoculum, reste néanmoins contraignant et délicat à maîtriser pour les producteurs : délai d'intervention nécessairement court et *a fortiori* dépendant de la surface du verger à traiter, conditions météorologiques aléatoires pour la pleine efficacité des produits appliqués, temps d'observation nécessaire (en moyenne 1 heure/ha pour observer une centaine de pousses) à une période qui coïncide avec le début de la récolte, etc. Il faut également prendre en compte le risque de résistances que peut induire une utilisation exclusive de produits à action curative. Enfin, une telle réduction de l'usage de fongicides doit être évaluée sur le long terme. En effet, la disparition des effets secondaires de certains fongicides anti-tavelure, du fait de leur suppression/réduction, peut engendrer le développement d'autres maladies (cas de l'Anthracnose et de Marssonina observées sur les sites n°7, 8 et 9).

3.1.2 Reconception du verger cidricole : variétés tolérantes à la tavelure et diversification par mélange variétal sur le rang

L'intégration du niveau de sensibilité variétale à la tavelure dans la grille de décision pour piloter les interventions fongicides permet de réduire très significativement le nombre de traitements sur des

variétés rustiques. En comparaison au témoin sensible Judor, Dabinett reste en effet la variété la moins traitée, du fait de sa moindre sensibilité à la tavelure et d'un débourrement plus tardif qui l'expose moins aux contaminations primaires au printemps.

Les résultats du site n°9 confirment l'intérêt du mélange végétal sur le rang pour contenir la tavelure tout en réduisant significativement le nombre d'applications fongicides. Mais cette diversification du verger cidricole peut s'avérer complexe à gérer, notamment à la récolte : chute des pommes à des moments différents, mélange des saveurs douces, amères, acidulées... Dans le cas du site n°9, le schéma de plantation a été réfléchi de façon à ce que l'écart des périodes de récolte des variétés mélangées sur un même rang ne dépasse pas 1 mois. Le producteur a ainsi pu récolter dans les modalités ECO et ECO+ de la même façon que sur le reste de son exploitation (attente de la chute naturelle et récolte en 3 passages).

Le mélange des saveurs n'a pas non plus été un problème pour la cidrerie avec laquelle le producteur était sous contrat. Ce contexte n'étant pas transposable à toutes les situations, il est aussi possible d'imaginer un système en mélange variétal sur le rang intégrant à la fois des critères de saveurs en plus de celui de la période de récolte.

Enfin, ce type de système pose également d'autres questions techniques, comme la gestion de l'alternance, qui reste encore à étudier aujourd'hui (site n°9 n'ayant pas nécessité d'être éclairci). Il est possible d'imaginer un schéma de plantation en mélange, intégrant en plus du type de saveur et des périodes de récolte, la notion de sensibilité à l'alternance.

Ces différents résultats confirment l'importance de mobiliser le levier génétique dès la plantation pour tendre vers des vergers bas-intrants agronomiquement performants. Ce levier reste cependant plus ou moins difficile à mobiliser pour les producteurs sous contrat avec des cidriers du fait des contraintes de saveur imposées à la plantation par le marché de l'aval.

3.2 Leviers contre les ravageurs

3.2.1 Implantation de bandes fleuries pour favoriser la régulation naturelle du puceron cendré par la faune auxiliaire

La thèse conduite sur le réseau de parcelles a démontré l'intérêt de semer des espèces fleuries dans les inter-rangs des vergers pour augmenter le nombre d'auxiliaires, tels que les larves de syrphes, dans les foyers de puceron cendré, et favoriser également leur arrivée plus précoce. Si la proximité des bandes fleuries avec les pommiers est un facteur important pour optimiser la régulation naturelle, leur implantation doit aussi être raisonnée en fonction du contexte pédoclimatique et du reste de l'itinéraire technique. En effet, lorsque le semis est réalisé sur toute la largeur des inter-rangs d'un jeune verger non irrigué, il peut induire des concurrences hydrominérales pénalisantes pour la production, qui plus est dans un contexte de 0 herbicide sur le rang et d'une fertilisation azotée pas forcément réadaptée à ce type de système de culture plus concurrentiel.

Outre leur localisation au sein du verger, il faut également tenir compte de la qualité des bandes fleuries (choix et nombre des espèces, période et durée de floraison, ...). Il n'y a pas de mélange idéal, mais pour maximiser le service de régulation, l'objectif est d'avoir plusieurs espèces (diversité des couleurs, des formes, des odeurs, ...) afin d'attirer un cortège d'auxiliaires varié et d'avoir une floraison étalée (relai des périodes de floraison entre espèces) pour accroître leur période de présence. Le coût d'implantation (variable selon les semenciers, les espèces choisies, la densité de semis et la surface) ainsi que la pérennité sont aussi des facteurs économiques à prendre en compte lors du choix de son mélange. Dans le contexte du réseau, le mélange testé comprenait une quinzaine d'espèces, ayant plus ou moins levé selon les sites, et un appauvrissement de la diversité des bandes fleuries a été constaté en moyenne 3 ans après implantation.

Concernant l'entretien des bandes fleuries, dans le contexte d'une filière où les fruits sont récoltés mécaniquement au sol, les producteurs ont expérimenté une première tonte tardive (fin juin/début juillet), toujours dans l'objectif que cet IAE soit attractif le plus longtemps possible pour les auxiliaires. Les résidus étaient suffisamment dégradés au moment du ramassage de la variété la plus précoce du dispositif (mi-octobre pour Dabinett) pour ne pas impacter la qualité de la récolte. L'utilisation d'un broyeur adapté (type broyeur bois de taille) peut cependant s'avérer nécessaire dans ce contexte de broyage tardif (couvert dense et ligneux).

Des recherches complémentaires s'imposent donc : (1) pour optimiser l'utilisation de ces infrastructures agroécologiques que sont les bandes fleuries (mélange et localisation moins concurrentiels, mode de gestion, fertilisation adaptée, etc.) afin de concilier leurs services de régulation avec une production économiquement viable ; (2) pour mieux intégrer l'efficacité des auxiliaires dans le pilotage des traitements aphicides, notamment avec des insecticides de biocontrôle, dont l'efficacité contre le puceron cendré ne semble pas toujours suffisante.

3.2.2 Introduction de moutons ou de volailles

L'introduction de moutons de race Shropshire a été testée dans 2 sites ECO à différentes densités (de 18 à 24 moutons/ha pour le site n°6 et 6 moutons/ha pour le site n°8). Cette race est connue pour ne pas s'attaquer à l'écorce des arbres si la nourriture est suffisante pour couvrir les besoins en sels minéraux des animaux. Néanmoins, les observations sur le terrain montrent que les dégâts restent possibles, ce qui oblige à une surveillance très étroite du troupeau. Si les animaux sont sortis suffisamment tôt avant la récolte pour limiter la présence de déjection, leur introduction semble aussi compatible avec la récolte mécanique des pommes au sol, contrairement aux volailles par exemple, qui peuvent occasionner des ornières par les nids de poule qu'elles creusent en grattant le sol.

L'introduction tardive (vergers trop jeunes) et l'absence d'observations précises dédiées n'a pas permis de tirer des conclusions agronomiques fiables quant à l'effet prophylactique supposé des moutons ou des volailles sur le carpocapse, l'hoplocampe ou l'anthonome ou des moutons sur la tavelure. Un des producteurs témoigne cependant d'une baisse de la pression campagnol dans son verger après 2 ans d'introduction (premiers moutons introduits en 5^{ème} feuille) grâce à l'effet du piétinement ainsi qu'une amélioration de la qualité de sa récolte (moins de fruits altérés au sol). Sur les 2 sites, les moutons ont également permis de réduire le nombre de fauches (1 tonte/an au lieu de 3) et *a fortiori* les consommations de carburant. Un débroussaillage ponctuel doit cependant être réalisé en complément pour gérer les refus de pâturage (orties, rumex, ...).

Bien que non éleveur au départ, le producteur du site n°6 témoigne d'une gestion relativement aisée de l'introduction de moutons en verger, les Shropshire étant une race très rustique. Un minimum d'adaptation et d'investissement restent évidemment nécessaires : mis en place d'un abri, clôture de la parcelle (compter 1100 €/ha hors temps de pose), achat de compléments alimentaires pour l'hiver (foin, pierre à sel) achat des moutons (220 à 250€/mouton), ajustement de la densité d'animaux en fonction de ses besoins et de ses contraintes, etc.

3.3 Les stratégies alternatives au désherbage chimique du rang

3.3.1 La plantation sur bâche plastique ou sur bâche tissée

La bâche plastique n'a pas été un levier satisfaisant pour les 3 sites ECO qui l'ont testée. Elle s'est rapidement dégradée (entre 9 mois et 2 ans selon les sites), obligeant les producteurs à passer à l'enherbement total trop prématurément, ce qui a induit des concurrences et pénalisé la pousse et la productivité des vergers dès leur phase d'installation. Le retrait de la bâche a aussi été particulièrement fastidieux et couteux en main d'œuvre. Enfin, ce type d'entretien s'est révélé peu optimal en contexte

de fertilisation organique (impermeabilité de la bâche limitant l'accès de l'arbre aux éléments, assèchement du sol sous la bâche ralentissant la minéralisation des engrais, ...).

La bâche dans sa version tissée a montré davantage d'intérêt. Si elle reste plus couteuse que la bâche plastique, elle était encore en place 8 ans après implantation sur l'un des 2 sites qui l'ont testée (site n°3). Sur l'autre site (site n°9), la bâche a été moins durable car endommagée par un régime de broyages plus important, lié à la prophylaxie tavelure mis en place sur cette parcelle (3 broyages de feuilles par an à l'automne/hiver pour diminuer l'inoculum tavelure). Dans les 2 cas, les producteurs témoignent d'une récolte des fruits facilitée sur bâche tissée, qui plus est dans un sol caillouteux (cas du site n°3).

Que la bâche soit tissée ou plastique, la gestion du bord de la bâche dans un contexte de 0 herbicide reste à optimiser. Des systèmes d'outils à base de fils pourraient être envisagés mais n'ont pas été testés. Une prophylaxie campagnol via l'installation de pièges et d'IAE favorisant les rapaces (perchoirs, nichoirs) doit également être envisagée dès la plantation sur bâche même en l'absence de pression, pour limiter les risques d'augmentation de population souvent associés aux systèmes de culture sous bâche (sur le réseau, pression campagnol des champs constatée sur les sites bâchés mais au final sans conséquence économique pour les vergers).

3.3.2 Le mulch à base de copeaux de bois

Ce type d'entretien du rang a été testé sur 3 sites. Le mélange de copeaux de bois, de fientes de volaille et de compost de déchets verts testé sur le site n°4, a donné de meilleurs résultats agronomiques que le mulch seul testé sur les sites n° 7 et 8, avec une fertilisation organique différée en 2 apports. En effet, la dégradation des copeaux engendre une faim d'azote qui, lorsqu'elle n'est pas compensée par une fertilisation suffisante, peut entraîner des phénomènes de carences azotées impactant la croissance et la mise à fruit du verger, comme cela a été constaté sur les sites n°7 et 8. L'utilisation de mulch reste couteuse en matériaux et à l'installation (temps nécessaire à l'épandage qui doit être renouvelé tous les ans pour garantir l'effet barrière vis-à-vis des adventices). Le système peut être économiquement optimisé en utilisant du bois de taille provenant de l'exploitation (taille du verger ou des haies), en limitant le mulching autour du tronc en îlot plutôt que sur la totalité du rang ou en trouvant des solutions matérielles pour mécaniser l'épandage.

Conclusion et perspectives

L'analyse des résultats a permis d'identifier des combinaisons de pratiques durables intéressantes et de préciser les conditions de réussite de leur mise en œuvre. D'autres restent à optimiser et certaines sont à écarter. Parmi les leviers les plus intéressants à combiner, on peut citer : l'utilisation de produits de biocontrôle, la diversification du « monosystème » verger cidricole via l'utilisation du levier génétique (variétés peu sensibles à la tavelure, mélange variétal sur le rang) et l'implantation de différents couverts pour réduire les herbicides tout en augmentant la biodiversité et les services de régulation naturelle, et l'amélioration de la fertilité du sol (gestion de la matière organique et de l'azote du sol). Ces leviers ont permis une réduction des IFT de 48% dans les modalités ECO conventionnelles par rapport au réseau de vergers témoins. Les contextes climatiques ont été assez variables dans la dernière décennie, caractérisés notamment par une élévation des températures moyennes et des périodes avec des déficits pluviométriques. Les évolutions climatiques continueront très probablement d'affecter les vergers cidricoles de l'ouest de la France, et devront être intégrées dans la gestion des bioagresseurs et de l'alimentation hydro-minérale des vergers cidricoles agroécologiques.

Le projet a aussi produit un certain nombre d'outils génériques et remobilisables par d'autres filières arboricoles et essais systèmes en cultures pérennes :

- Une méthodologie d'analyse multicritères des systèmes et de compréhension de leur fonctionnement
- Une base de données variétale, rassemblant 150 critères sur 650 variétés cidricoles, créée par l'équipe ResPom de l'INRAE-IRHS et qui pourra par exemple être remobilisée pour de futures études de sélection génomique visant à faire émerger les variétés de demain.
- Une base de données System@rbo® créée par l'IFPC, Agrocampus Ouest et ACTA Informatique et interfacée sur le web pour gérer les données d'expérimentations systèmes en arboriculture. Les quelques 40 000 données collectées dans cet outil constituent un solide référentiel technico-économique sur les vergers cidricoles bas-intrants.

Pour faire adopter ces systèmes bas-intrants par les acteurs de la filière, les résultats du projet ont été diffusés via différents canaux : journées techniques sur les parcelles du réseau, articles de revues techniques, scientifiques (Albert et al., 2017 ; Guerin et al., 2017) et de presse, interventions à des colloques scientifiques et techniques professionnelles. Une dizaine de vidéos a été produite et mise en ligne pour valoriser le retour d'expérience des agriculteurs et techniciens du projet. Un ensemble d'outils sont en cours de construction pour les professionnels et techniciens (fiches de synthèse des systèmes expérimentés, fiches techniques sur les différents leviers possibles pour réduire les intrants, ...).

Par la promotion de l'approche système, ce programme a aussi fait évoluer les compétences des conseillers cidricoles pour toujours mieux accompagner les cidriculteurs vers la transition agroécologique et les aider à lever certains freins pour qu'ils aient les moyens techniques d'atteindre leurs objectifs ambitieux de multiple performance.

Ce projet s'est concentré sur la phase juvénile des vergers. Les études doivent se poursuivre pour notamment travailler sur la phase de pleine production, afin de fiabiliser la robustesse des combinaisons, et ainsi les faire adopter par les producteurs et les développer sur le terrain. Elles permettront aussi de tester de nouvelles combinaisons de pratiques sur la base des résultats déjà acquis. De nouveaux projets sont donc en cours de construction ou de lancement, comme le projet ECOPHYTO EXPE 2019-2024 « SYDRA : vers des SYstèmes ciDRicoles Agroécologiques ».

Remerciements

Ce projet a reçu le soutien financier du CASDAR, des régions Bretagne et Pays de la Loire, de l'ANRT du GIS Fruits et de l'Unicid.

Références bibliographiques

Albert L., 2017. Régulation naturelle du puceron cendre et aménagements agro-écologiques : l'exemple des vergers cidricoles du Nord-Ouest de la France. Thèse. Université Européenne de Bretagne, France. 364 p.

Albert L., Franck P., Gilles Y., Plantegenest M., 2017. Impact of Agroecological Infrastructures on the Dynamics of *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae) and Its Natural Enemies in Apple Orchards in Northwestern France. *Environmental Entomology*, 46, 3, 528–537.

Bockstaller C., Girardin P., 2008. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO. UMR Nancy-Université-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar.

Dib H., 2010. Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera : Aphididae) en vergers de pommiers. Thèse. Université d'Avignon, France. 252 p.

Dib H., Libourel G., Warlop F., 2012. Entomological and functional role of floral strips in an organic apple orchard: Hymenopteran parasitoids as a case study. *Journal of Insect Conservation*, 16(2), 315-318.

- Gontijo L.M., Beers E.H., Snyder W.E., 2013. Flowers promote aphid suppression in apple orchards. *Biological Control*, 66 (1), 8-15.
- Griffith P., 2004. Construction d'un tableau de bord arbo-environnemental à partir de la méthode INDIGO. UMR INPL- INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar.
- Guerin A., 2011. Projet AGRIBALYSE® : rapport méthodologique sur la construction des inventaires de cycle de vie (ICV) de la production de pomme à cidre PFI. IFPC. 92 p.
- Guerin A., Guillermin P., Biche D., Bourbeillon J., Broussaud N., Cardon J.C., Corroyer B., Corroyer N., Denis A., Jouve H., Lemeur E., Le Roux B., Paris D., Petit B., Thiéry D., Didelot F., 2017. Verger Cidricole de Demain : conception, évaluation et diffusion de systèmes de production à haute performance environnementale et économiquement viables. *Innovations Agronomiques*, 55, 273-287.
- Hill S.B., MacRae R.J., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7, 81-87.
- Kouchner C., 2015. Synthèse bibliographique de indicateurs d'évaluation de la durabilité utilisables en cidriculture. IFPC. 31 pages.
- Lafond D., Delanoue G., Dutruel L., Fortin E., Gilet G., Sorgniard D., 2018. Projet EcoViti Val de Loire-Centre : expérimentation de systèmes viticoles à faible usage d'intrants phytosanitaires en Val de Loire. *Innovations Agronomiques*, 70, 21-36.
- Lea A.G.H., Beech F.W., 1978. The phenolics of ciders: effect of cultural conditions. *Journal of Science Food and Agriculture*, 29, 493-496.
- Samuel O., Dion S., St-Laurent L., April M.H., 2012. Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement [en ligne]. Québec : ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation/ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs/Institut national de santé publique du Québec, 48 p.
- Simon S., Bouvier J.C., Debras J.F., Sauphanor B., 2010. Review article Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), 139-152.
- Simon S., Plénet D., Alaphilippe A., Guillermin P., 2014. Méthodologie de l'approche système en arboriculture. INRA, 24 pages.
- Simon S., Alaphilippe A., Borne S., Fleury A., Galet L., Girard T., Guibert O., Morel K., Riotord D., Vélou A., Hucbourg B., Borioli P., Drevet A., Piffady-Durieux A., Fichepoil G., Mollaret F., Stévenin S., Buléon S., Plénet D., Capowiez Y., 2018. Projet BioREco : méthodologie et expérimentation système pour la réduction de l'utilisation des pesticides en vergers de pommier. *Innovations Agronomiques*, 70, 73-86.
- UNICID., 2017. Plan de la filière cidricole 2017. Cidre : la France au naturel. 16 p.
- Wyss E., 1995. The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 75(1), 43-49.
- Zavagli F., Alison B., Ballion S., Bellevaux C., Favareille J., Giraud M., Le Berre F., Lesniak V., Sagnes J.L., Verpont F., 2018. Réduire l'emploi des produits phytosanitaires en verger de pommier. Les enseignements du réseau national EXPE Ecophyto Pomme. *Innovations Agronomiques*, 70, 55-72

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).