



BioREco, Méthodologie et expérimentation système pour la réduction de l'utilisation des pesticides en vergers de pommier

Sylvaine Simon, Aude Alaphilippe, Solène Borne, Amandine Fleury, Laurent Galet, Thierry Girard, Olivier Guibert, Karine Morel, Dominique Riotord, Alice Velu, et al.

► To cite this version:

Sylvaine Simon, Aude Alaphilippe, Solène Borne, Amandine Fleury, Laurent Galet, et al.. BioREco, Méthodologie et expérimentation système pour la réduction de l'utilisation des pesticides en vergers de pommier. Innovations Agronomiques, 2018, 70 (70), pp.73-86. 10.15454/uuzphn . hal-02124775

HAL Id: hal-02124775

<https://hal.science/hal-02124775>

Submitted on 9 May 2019

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

BioREco, Méthodologie et expérimentation système pour la réduction de l'utilisation des pesticides en vergers de pommier

Simon S.¹, Alaphilippe A.¹, Borne S.¹, Fleury A.¹, Galet L.¹, Girard T.¹, Guibert O.¹, Morel K.¹, Riotord D.¹, Vélou A.¹, Hucbourg B.², Borioli P.², Drevet A.², Piffady-Durieux A.², Fichet G.³, Mollaret F.³, Stévenin S.⁴, Buléon S.⁵, Plénet D.⁶, Capowiez Y.⁶

Avec la collaboration de : Gros C.¹, Labeyrie B.¹, Valadas A.¹, Colin-Avilla M.¹, Perri A.², Palu E.², Gouverneur C.², Façy M.³, Gautier H.⁶, Lavigne C.⁶

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

² GRCETA Basse Durance, F-13210 Saint-Rémy-de-Provence

³ Lycée Agricole EPLEFPA du Valentin, F-26500 Bourg-lès-Valence

⁴ Chambre d'Agriculture Drôme, F-26500 Bourg-lès-Valence

⁵ Chambre d'Agriculture Ardèche, F-07000 Privas

⁶ INRA, UR1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, F-84914 Avignon Cedex 9

Correspondance : sylvaine.simon@inra.fr

Résumé

La réduction de l'utilisation des pesticides est un enjeu majeur en arboriculture. Le dispositif BioREco a permis d'explorer dans la durée le potentiel de réduction de l'utilisation des pesticides en verger de pommiers. Par rapport à la référence régionale, pour la période de pleine production (2009-2015), il a en moyenne été possible de réduire l'utilisation des pesticides de 38 à 45 % en combinant des variétés peu sensibles ou résistantes aux maladies, un ensemble de pratiques alternatives aux pesticides et une évaluation fine du risque de dégâts. Cette réduction a été atteinte pour des niveaux de rendement équivalents (systèmes bas-intrants) ou moindres (systèmes en Agriculture Biologique). L'évaluation multicritère réalisée (agronomique, environnementale, technico-économique et faisabilité) a permis d'identifier les points forts et les points d'amélioration des systèmes expérimentés. Ce dispositif a également permis de créer une dynamique au sein de la filière, autour de l'approche expérimentale, des vergers, de leur évaluation multicritère, des résultats et des connaissances nécessaires pour repenser les vergers de demain.

Mots-clés : *Malus x floribunda*, Système de culture, Evaluation multicritère, Maladie, Ravageur, Pesticide.

Abstract: Pesticide use reduction in apple orchards: learnings from BioREco system experiment

To reduce pesticide use is challenging but crucial to improve fruit production sustainability. The 'BioREco' system experiment permitted to assess the possibilities to decrease pesticide use in apple orchards. Compared to the regional reference, pesticide use at full production (2009-2015) was on average decreased by 38-45% in systems combining low-susceptibility cultivars, alternative methods to chemicals and an accurate evaluation of the risk of damage. In those systems, yield was either similar (low-input systems) or lower (organic farming) than the reference. The multicriteria evaluation that

considered agronomic, environmental, technico-economical and feasibility aspects displayed the benefits and the limits of the experimented systems. This work also enabled interactions among stakeholders in the food system about the experimental approach, the orchards, the multicriteria evaluation, the results and knowledge necessary to design the orchards of tomorrow.

Keywords: *Malus x floribunda*, Cropping system, Multicriteria evaluation, Pest and disease management, Pesticide.

Introduction

La production fruitière est très dépendante de l'utilisation des intrants, et plus particulièrement des pesticides (Sauphanor et al., 2009) du fait de la pérennité de la plante-hôte, qui permet le maintien de certains bio-agresseurs dans la parcelle d'une année sur l'autre, d'une période de risque souvent longue, de 6 à 8 mois en verger de pommiers, des standards de commercialisation rémunérant les fruits frais en fonction de leur aspect visuel ('zéro défaut') et d'une majorité de vergers plantés avec des variétés sensibles aux maladies (Sauphanor et al., 2009). Il y a donc un réel besoin d'innovation pour répondre à cet enjeu de réduction de l'utilisation des intrants et des pesticides, qui renvoie par ailleurs à d'autres enjeux généraux, d'ordre environnemental (préservation des ressources naturelles, de la biodiversité...) ou socio-économique (autonomie et durabilité des exploitations agricoles et donc de la production fruitière française).

Les travaux sur la réduction de l'utilisation des pesticides et/ou la diminution des impacts environnementaux liés à leur utilisation ne sont pas récents. La lutte intégrée puis la Protection Fruitière Intégrée (PFI) (années 1970-1980 en France) ont permis de poser les bases du raisonnement de la protection en verger (seuils d'intervention, écotoxicité des substances actives, préservation des auxiliaires). Entre les années 1990 et 2000, des produits ou méthodes alternatifs à la lutte chimique ont été développés (produits microbiologiques, lutte par confusion sexuelle...), ainsi que de nouveaux matériels ou techniques de pulvérisation, ou encore des modèles de prévision du risque de dommages, visant à améliorer l'efficacité de l'utilisation des pesticides. De même, les pratiques culturales (fertilisation, irrigation, conduite de l'arbre...) susceptibles d'agir sur les relations arbres-bioagresseurs (ravageurs, maladies...) et de limiter l'impact ou le développement de ces derniers, ont fait l'objet de travaux d'expérimentation (ex. monilioses sur pêcher modulées par les pratiques d'irrigation, de fertilisation et/ou de taille, Mercier et al., 2008).

Toutefois, l'expérimentation d'un ensemble cohérent de méthodes en vue d'atteindre un objectif ou expérimentation système, constitue une approche de développement récent en arboriculture par rapport à d'autres filières (Debaeke et al., 2009). Face à des enjeux complexes tels que la réduction de l'utilisation des pesticides, cette approche présente l'avantage de prendre en compte les interactions entre pratiques et l'effet de combinaisons de méthodes, de changer d'échelle spatio-temporelle (évaluation dans la durée et en grande parcelle...) pour expérimenter en conditions proches de celles des vergers de production.

L'objectif du dispositif BioREco, implanté en 2005, a été de concevoir et d'évaluer de manière multicritère plusieurs systèmes de production de pommes visant à réduire l'utilisation des pesticides tout en assurant une production commerciale régulière. Plus largement, ce travail s'est accompagné d'une dynamique d'échanges au sein de la filière, autour des vergers et de leurs pratiques, de l'approche expérimentale et des résultats. Cet article rend compte des principaux résultats issus de la période de pleine production des vergers et mis en discussion dans le cadre de cette dynamique, en particulier au sein du programme DEPHY EXPE Ecophyto¹.

¹ <http://ecophytopic.fr/dephy/dephy-dephy-expe>

1. Matériels et méthodes

Les actions conduites ont eu pour principaux supports : l'expérimentation système BioREco implantée en 2005 sur l'unité expérimentale INRA de Gothéron (Alaphilippe et al., 2009 ; Simon et al., 2011 ; INRA Gothéron, 2017a, 2017b), le réseau FERME fruits à pépins et le référentiel verger de pommier du GRCETA de Basse Durance. La dynamique d'échanges a été permise par l'organisation de plusieurs séminaires (ex. Simon et al., 2014) et d'actions visant à mettre en regard les résultats expérimentaux et ceux de vergers en production ou d'autres sites, et qui ont largement alimenté la réflexion accompagnant l'expérimentation.

1.1 Le dispositif expérimental

Gotheron se situe en zone semi-continentale avec des influences méditerranéennes estivales (Moyenne Vallée du Rhône). Le sol est constitué de terrasses anciennes du Rhône (*Diluvium alpin*) : il est peu profond, caillouteux et à faible réserve utile. Le dispositif expérimental BioREco, implanté en janvier 2005, représente 3,3 ha de vergers (Figure 1).

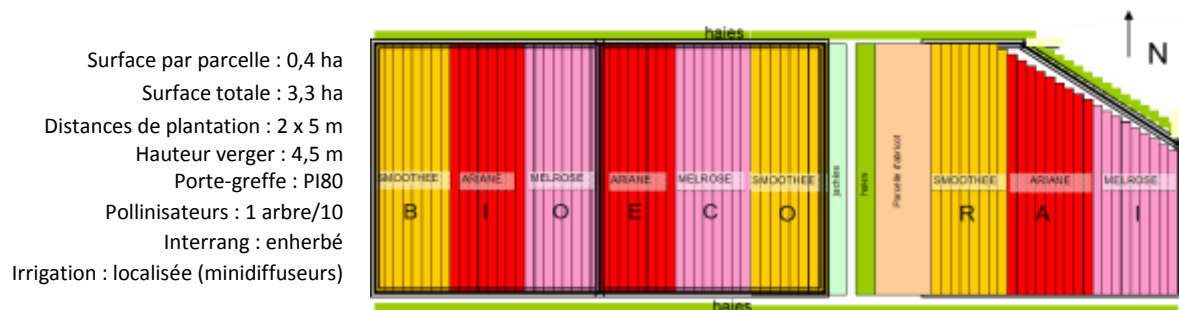


Figure 1 : Dispositif expérimental BioREco. BIO : Agriculture Biologique ; ECO : Econome en intrants ; RAI : Conventionnel Raisonné

Les trois systèmes expérimentés sont :

- **Raisonné (RAI)** : sans prise de risques, limitation des coûts de production (protection principalement chimique), référence conventionnelle ;
- **Econome en intrants (ECO)** : protection utilisant des méthodes non chimiques sauf si risques de perte de récolte/d'arbres ;
- **Agriculture Biologique (BIO)** : respect du cahier des charges européen et de la réglementation française, limitation du cuivre.

Dans chacun des 3 systèmes sont implantées 3 variétés de sensibilité différente aux maladies : Smoothie (CG10 Yellow Delicious Smoothie®, variété de type Golden sensible aux maladies), Ariane (résistante à la tavelure, gène Vf) et Melrose (peu sensible aux maladies).

Les systèmes diffèrent entre eux pour la protection et la fertilisation qui est minérale dans RAI, organique (compost, engrais organique) dans BIO et minérale (2005-2010) puis mixte (compost, engrais minéraux) dans ECO. Des haies brise-vent multi-espèces sont présentes au Nord et au Sud des 3 systèmes ; une haie Nord-Sud et une zone tampon séparent le système RAI des systèmes ECO et BIO regroupés pour optimiser l'utilisation de la confusion sexuelle.

1.2 Des pratiques évolutives en fonction de la pression biotique et du contexte

Plus ou moins mobilisés selon les systèmes (Simon et al., 2011 ; Simon et al., 2015), les leviers pour limiter l'utilisation des pesticides reposent sur :

- Des actions via la plante (choix variétal, conduite d'arbre pour une frondaison aérée, fertilisation et irrigation ajustées aux besoins des arbres),
- Des actions de prophylaxie (tavelure, carpocapse, oïdium....),
- Des actions via les auxiliaires en limitant l'utilisation de pesticides peu sélectifs et en réduisant la fréquence des tontes de l'inter-rang,
- Une évaluation fine du risque de dégâts dans la parcelle basée sur les prévisions et les conditions météorologiques, des observations en verger et l'utilisation de modèles de prédiction du risque de dégâts (tavelure, carpocapse),
- Des méthodes alternatives aux pesticides de synthèse : désherbage mécanique, confusion sexuelle, lutte microbiologique (virus de la granuloïse), lutte biologique (nématodes entomopathogènes).

Les pratiques de protection ont été modifiées au fil du temps en raison de changements de stratégie liés au contexte de production et à la pression biotique :

- Mise en place de la lutte par confusion sexuelle contre le carpocapse dans le système RAI en 2013 : cette référence évolue donc, en lien avec la généralisation de cette méthode alternative de protection dans les vergers du Sud de la France, après 7 années de protection exclusivement chimique contre le carpocapse.
- Le gène *Vf* de résistance à la tavelure de la variété Ariane a été contourné en 2012 par des souches de tavelure dans les 3 systèmes de protection expérimentés : la stratégie de protection a donc été modifiée pour cette variété (protection de tous les risques de contamination tavelure au printemps).
- Une résistance à deux familles de produits chimiques (strobilurines, ANP anilinopyrimidines) a été détectée par analyse (ANSES Lyon) en 2013 pour des souches de tavelure issues de ECO et RAI, ce qui limite le choix de produits phytopharmaceutiques pour la protection contre les maladies.

1.3 Evaluation multicritère des vergers

Les suivis réalisés (Simon et al., 2011) ont concerné le verger, sa croissance et sa vigueur, le sol et sa fertilité, la production (quantité et qualité), le contrôle des bio-agresseurs, les pratiques, incluant l'utilisation des pesticides mesurée par l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT), les temps de travaux, les conditions nécessaires à la mise en œuvre des stratégies expérimentées (faisabilité). L'impact des pratiques a été mesuré *in situ* avec l'analyse des communautés biologiques du verger dans les différents systèmes et en utilisant des outils multicritères de calcul des impacts environnementaux (Analyse de Cycle de Vie, Alaphilippe et al., 2013) et de la durabilité (DEXiFruits, Alaphilippe et al., 2017, <http://www6.inra.fr/means/Outils-d-analyse-multicritere/DEXiFruits> : outil informatique co-construit par l'Inra, le Ctfl, l'IFPC, et AgroCampus Ouest pour permettre aux acteurs de terrain d'évaluer la durabilité de systèmes de production de fruits, dans un contexte donné). Les résultats présentés concernent, sauf mention contraire, la période de pleine production étudiée (2009-2015).

Par ailleurs, les résultats communs au dispositif BioREco et au réseau FERME (IFT par cible et type de substance active ; analyse des leviers d'action utilisés et de leur hiérarchie pour réduire l'utilisation des

pesticides...) ont été analysés. Enfin, les résultats de BioREco ont été mis en regard des critères de performance des vergers du référentiel verger de pommier du GRCETA pour les aspects technico-économiques et les pratiques de protection en verger de pommiers.

2. Résultats – discussion

2.1 Utilisation des pesticides et contrôle des bio-agresseurs

Les systèmes qui permettent la réduction la plus importante (38-45 % IFT total en moyenne par rapport à RAI Smoothee) sont les systèmes BIO et ECO plantés avec Ariane et Melrose qui mobilisent les leviers variété peu sensible ou résistante aux maladies, combinaison de méthodes alternatives et prédiction fine du risque de dégâts (Figure 2a). La diminution de l'utilisation des pesticides reste limitée (16-25 %) en BIO et ECO pour une variété sensible aux maladies telle que Smoothee. Lorsque le système testé recourt principalement à des solutions chimiques (pas de prise de risques), la réduction de l'utilisation des pesticides est également limitée quelle que soit la variété (<25 %, ex. RAI). Le même type de résultats est retrouvé, avec des réductions d'utilisation des pesticides plus marquées entre systèmes, lorsqu'on exclut du calcul les produits de biocontrôle tels que le virus de la granuloze, les nématodes et le kaolin (Figure 2b).

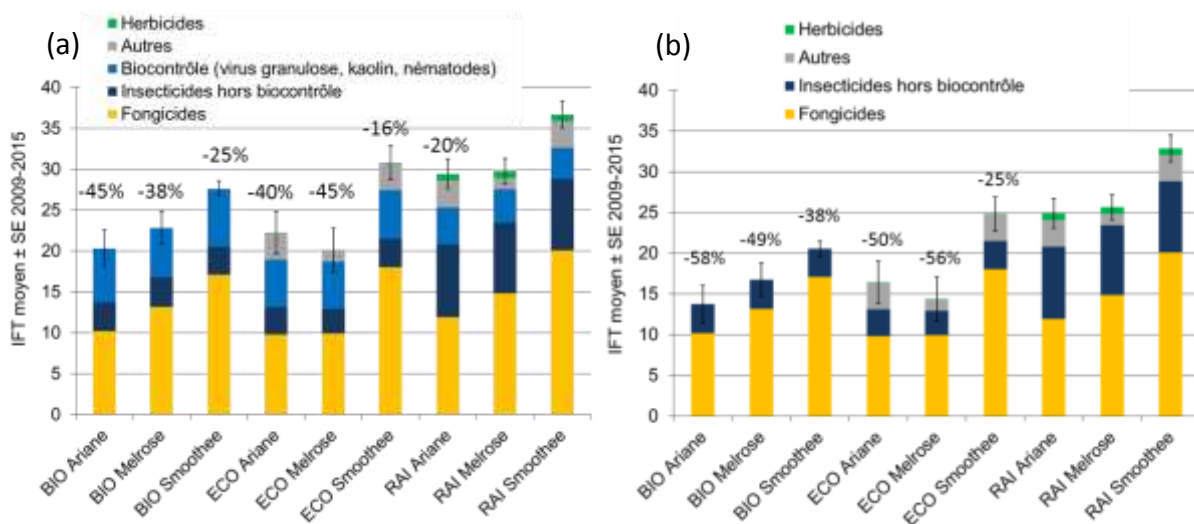


Figure 2 : IFT moyen (± écart type) 2009-2015, période de pleine production, (a) avec et (b) sans produits de biocontrôle. Pour des raisons d'homogénéité de calcul entre années, les produits de biocontrôle (référence 2012) incluent : virus de la granuloze, nématodes, kaolin. La confusion sexuelle n'est pas comptabilisée. Les produits 'Autres' correspondent aux éclaircissants. Les pourcentages indiqués représentent la réduction d'IFT par rapport à la référence RAI Smoothee.

Le contournement de la résistance à la tavelure en 2012 s'est accompagné d'une utilisation accrue des fongicides et d'une augmentation des dégâts sur fruits, en particulier en BIO (Figure 3).

L'utilisation de la confusion sexuelle, mise en place dans le système RAI à partir de 2013, a permis en moyenne une réduction de 6.2 IFT insecticides (période 2013-2015 par rapport à la période 2009-2012). La protection contre le carpocapse est réalisée exclusivement avec des produits de biocontrôle (confusion, virus granuloze, nématodes) dans ECO et BIO depuis 2013, avec surveillance régulière du verger et utilisation de modèles. Les dégâts à la récolte sont en moyenne faibles à peu élevés en fonction des systèmes, avec une plus grande variabilité des résultats en BIO et ECO (Figure 4).

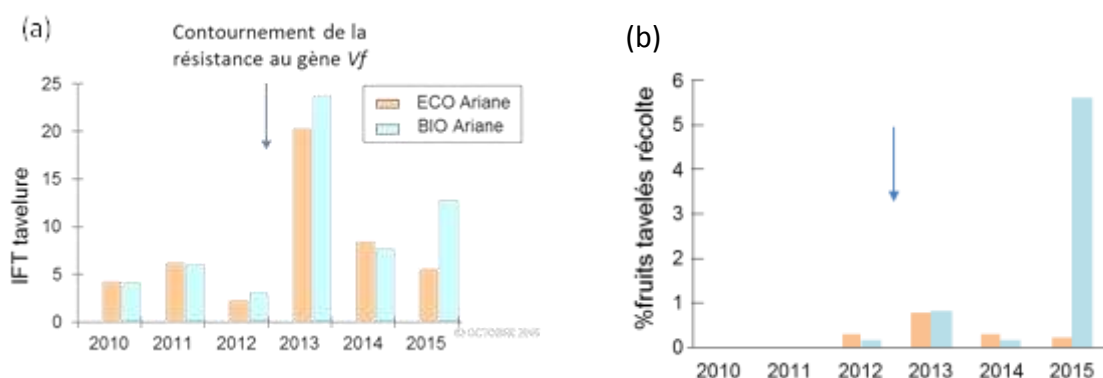


Figure 3 : (a) Evolution de l'IFT tavelure pour BIO et ECO Ariane et (b) dégâts sur fruits à la récolte (période 2010-2015).

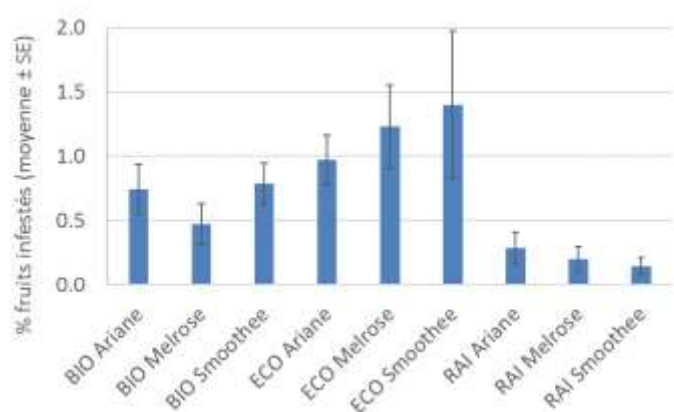


Figure 4 : Dégâts de carpocapse à la récolte (moyenne ± écart type 2009-2015)

Ces résultats illustrent plusieurs points-clés de la réduction de l'utilisation des pesticides en verger de pommiers. Le contournement du gène de résistance à la tavelure impacte fortement l'utilisation des fongicides (IFT similaire à Smoothee en période de contamination primaire) dans le cas d'Ariane. Si les méthodes de biocontrôle et les suivis du risque permettent une gestion du carpocapse sans insecticide de synthèse en ECO et BIO, le contrôle du puceron cendré n'est pas satisfaisant en BIO (utilisation huiles et argile) avec un impact sur la récolte. Enfin, les herbicides, dont l'IFT est pourtant très faible (environ 3 % de l'IFT total dans RAI avec une valeur moyenne proche de 1 IFT), constituent un groupe de produits phytopharmaceutiques dont l'impact environnemental, avec application sur sol nu, est loin d'être négligeable.

2.2 Evaluation agronomique

Pour les 3 variétés, la vigueur, estimée par l'accroissement du diamètre du tronc, est identique dans les 3 systèmes expérimentés (données non présentées).

Les rendements et le pourcentage de fruits de 1^{er} choix sont de niveau équivalent en RAI et ECO, et plus faibles en BIO (Fig. 5). Ceci s'explique par : i) une entrée en production plus lente ; ii) une charge moindre des arbres visant à limiter l'alternance de production et iii) des fruits en général de plus petit calibre dans ce système, en particulier les années de fortes attaques de pucerons. L'alternance de production est particulièrement marquée pour Melrose, quel que soit le système. En revanche, la variété Smoothee alterne moins en BIO par rapport aux deux autres systèmes : ceci peut s'expliquer par un éclaircissage manuel précoce dans le verger BIO. Enfin, la variété Ariane est régulière en production ;

son retour à fleur important demande toutefois un temps élevé de gestion de la charge pour assurer une production de calibre satisfaisant (les conditions climatiques ne permettent pas toujours une utilisation optimale des éclaircissants chimiques dans RAI et ECO).

Les déclassements de fruits sont principalement dus à des dégâts esthétiques (calibre, coloration), mécaniques ou climatiques (blessures, coups de soleil) et/ou aux bio-agresseurs. Ces derniers, hormis certaines années en BIO (tavelure, puceron cendré), déclassent en fait peu de fruits par rapport aux autres critères (ex. calibres trop gros et peu de coloration pour Melrose, Russett...).

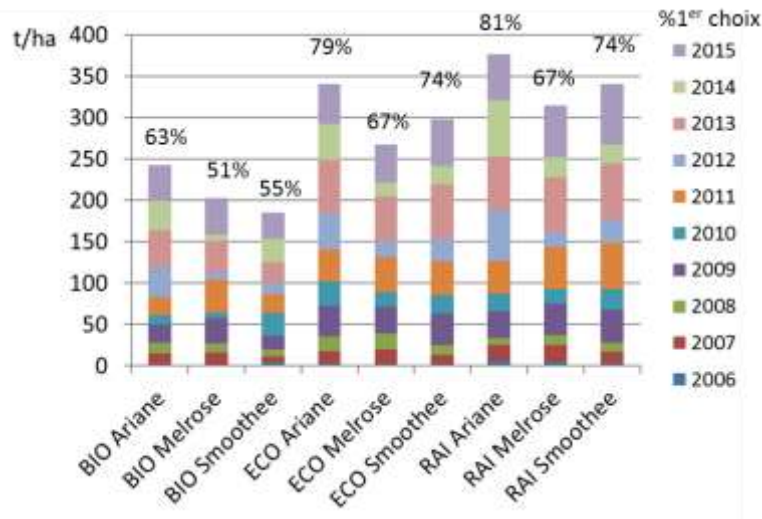


Figure 5 : Rendement total (frais + industrie) : cumul 2006-2015 et % 1^{er} choix en période de pleine production (2009-2015)

L'indice réfractométrique mesuré à la récolte montre que la teneur en sucre des fruits est fortement liée à la variété. Des travaux complémentaires sur la période 2011-2013 identifient également la variété et l'année comme principaux facteurs affectant la teneur totale en polyphénols des pommes (Le Bourvellec et al., 2015). La qualité (sucre, acidité) des fruits produits dans les 3 systèmes est similaire et satisfait les critères commerciaux pour chacune des variétés (données non présentées).

La diminution de l'utilisation des pesticides dans ECO a donc été obtenue avec un niveau de rendement et de dégâts sur fruits équivalents à RAI. Le rendement des parcelles BIO (période 2007-2015) est en moyenne de 20-25 t/ha selon les variétés ; une proportion plus élevée de fruits déclassés est également notée en BIO, en rapport avec quelques échecs de protection contre la tavelure (ex. Smoothee) ou des fruits de petit calibre suite à une infestation de puceron cendré (toutes variétés).

2.3 Evaluation environnementale

L'analyse inclut des mesures sur différentes communautés biologiques du verger et l'utilisation d'outils d'évaluation.

2.3.1 Communautés d'araignées du sol et de la frondaison

L'abondance des araignées du sol est moindre dans RAI (Figure 6) et cette tendance persiste plusieurs années après changement de pratiques de protection dans cette parcelle (suppression des organo-phosphorés, mise en place de la confusion sexuelle et diminution du nombre d'insecticides). La structure de la communauté d'araignées de la frondaison diffère également dans RAI par rapport aux 2 autres systèmes (données non présentées).

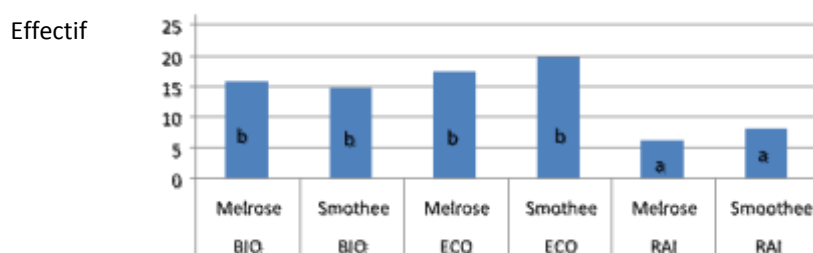


Figure 6 : Nombre moyen d'araignées par pot-piège, ex. juin 2013. Les lettres indiquent les différences significatives ($P < 5\%$) entre parcelles

2.3.2 Communautés d'insectes : exemple des forficules, prédateurs généralistes

En revanche, le changement de pratiques de protection s'accompagne de l'augmentation de l'abondance des forficules dans les abris installés sur les troncs dans le verger (Figure 7) : l'abondance des forficules, très faible dans RAI jusqu'en 2012 (Figure 7a), est équivalente dans les 3 systèmes en 2013 (Figure 7b, et années suivantes, données non présentées) dès le changement de pratiques de protection.

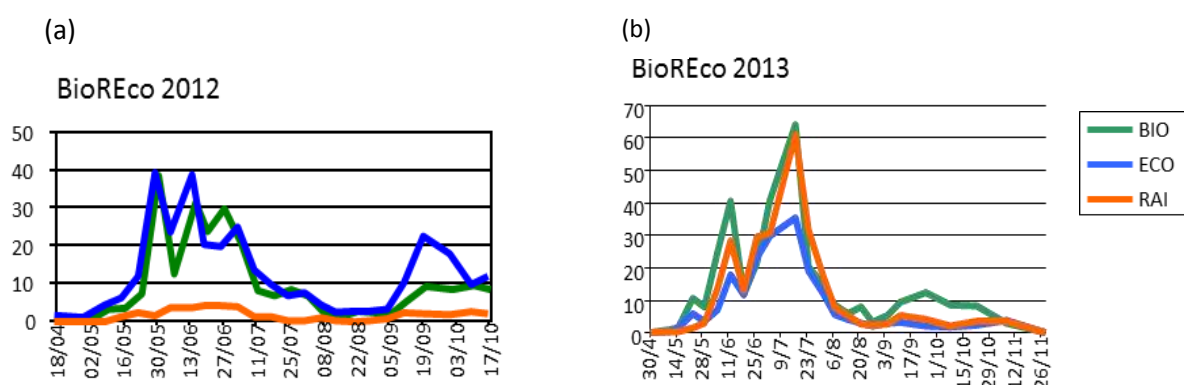


Figure 7 : Abondance des forficules au fil de la saison : (a) 2012 système RAI : protection chimique contre le carpocapse ; (b) 2013 système RAI : mise en place de la confusion sexuelle et réduction de l'utilisation des insecticides.

Selon les groupes étudiés, les systèmes peuvent se différencier, sans tendance marquée entre systèmes pour l'ensemble des communautés en termes d'abondance ou de diversité. Seule la composition des communautés tend à individualiser RAI des deux autres systèmes. Un changement de pratiques peut s'accompagner de rapides changements d'abondance (ex. forficules), mais des facteurs autres que la protection peuvent intervenir, par exemple le précédent cultural pour les lombrics (données non présentées).

2.3.3 Evaluation par Analyse de Cycle de Vie (ACV)

L'ACV est une méthode d'évaluation quantitative des impacts sur l'environnement d'un système qui inclut l'ensemble des émissions directes (au champ) et indirectes (extraction des matières premières, fabrication et transport des intrants et du machinisme, gestion des déchets). Différentes catégories d'impacts (ex. émission de gaz à effet de serre ou de substances polluantes) générées par chaque activité dans le verger sont considérées.

Pour les différentes catégories d'impact, l'ACV met en évidence un effet du système avec réduction de plusieurs catégories d'impact dans ECO par rapport à RAI, ainsi qu'un effet de la variété : ECO Melrose présente des impacts moindres qu'ECO Smoothee (Figure 8a). La mécanisation accrue du système ECO ne s'accompagne pas d'émissions de gaz à effet de serre plus élevées (Figure 8b), sous réserve d'une optimisation du choix du matériel et de son utilisation avec des opérations combinées (ex. enfouissement du compost et prophylaxie tavelure par enfouissement des feuilles sur le rang). Il n'y a donc pas de transfert de pollution d'une catégorie d'impact à une autre lorsqu'une mécanisation spécifique et optimisée remplace une protection chimique ; ces travaux confirment plus largement l'intérêt des méthodes de substitution aux pesticides expérimentées pour réduire les impacts environnementaux.

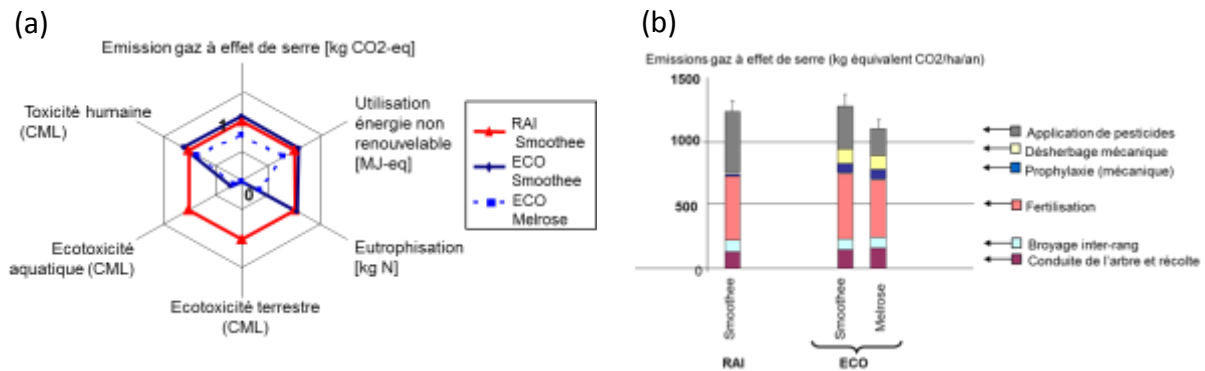


Figure 8 : (a) Résultats ACV/ha (2006-2009) et (b) Focus sur les émissions de gaz à effet de serre. Pour des raisons de lisibilité, les systèmes ECO, seuls présentés, sont décrits en relatif par rapport au système RAI Smoothee (en rouge) dont les émissions sont ramenées à 1 pour toutes les catégories d'impact (Figure 8a). CML : méthodologie développée par l'Institut des sciences environnementales à l'Université de Leiden (Pays-Bas) et utilisée en ACV pour obtenir les facteurs d'impact.

Source : <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/index.html>

2.4 Evaluation technico-économique et faisabilité

Le coût de protection est lié à la variété et aux pratiques (Figure 9). La diminution du nombre d'applications de pesticides ne permet pas (sauf exception, cf BIO et RAI Smoothee) de compenser le surcoût de protection lié à la mécanisation, à l'utilisation de méthodes alternatives et aux contrôles en verger (en moyenne 16 contrôles annuels dans ECO vs. 6 dans RAI). Le coût de protection (et de production) est plus élevé dans ECO et BIO mais s'accompagne d'une valorisation des fruits plus élevée en BIO.

Plusieurs contraintes de mise en œuvre des systèmes ECO sont identifiées :

- Accès à l'information et à la formation : disponibilité de l'information à l'échelle du site ou de la parcelle, temps de contrôle en verger et de décision (combinaison d'informations de diverses sources), en particulier en période de pics d'activités,
- Taille et structure de l'exploitation, matériel/personnel disponibles pour intervenir 'au dernier moment',
- Pas de revalorisation de la production ECO en circuit long.

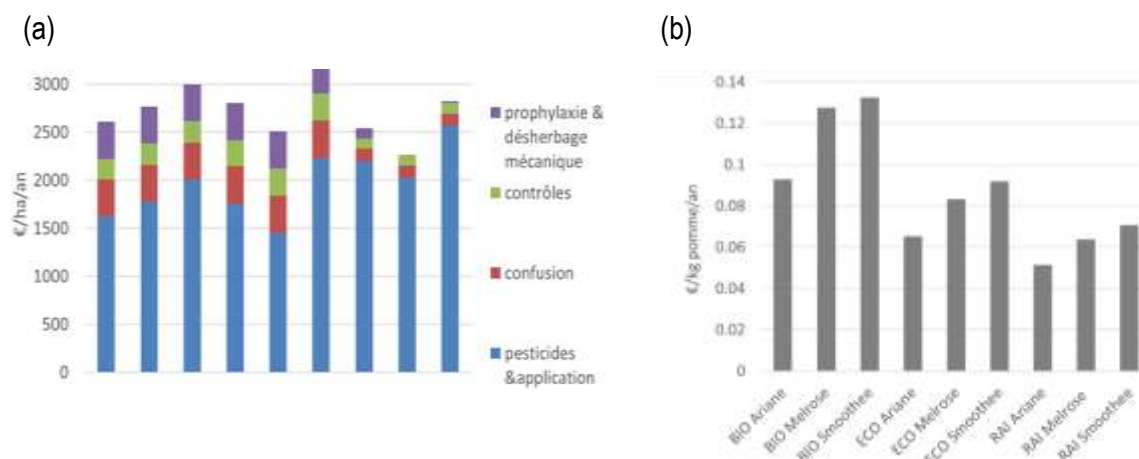


Figure 9 : Coût moyen annuel des stratégies de protection (2009-2014, hors temps de décision pour pilotage) (a) par hectare et (b) par kg de pomme produit. Le nombre d'années retenu pour le calcul est pair pour tenir compte de l'alternance de production pour certaines variétés. Le coût de protection inclut le coût des intrants (dont outils de pilotage), du machinisme et de la main d'œuvre pour l'ensemble des activités (opérations culturales, temps de contrôle, hors temps de décision).

2.5 Evaluation globale et référentiel de production

2.5.1 Tableau de bord et DEXiFruits

Chaque système présente des atouts et des limites (Figure 10). Le système RAI est principalement pénalisé par son impact environnemental quel que soit l'indicateur. En ECO, l'absence de revalorisation des fruits et les contraintes de mise en œuvre sont des freins à l'adoption de tels systèmes. En BIO, l'utilisation de cuivre et soufre s'accompagne d'impacts environnementaux négatifs (analyse ACV, données non présentées) ; enfin, le coût des stratégies en BIO est compensé par une valorisation plus importante du prix des fruits.



Figure 10 : Tableau de bord : les points forts et les points d'amélioration de RAI Smoothie (référence) et des 4 systèmes expérimentés réduisant fortement l'utilisation des pesticides.

Par ailleurs, une évaluation sur les 3 piliers de la durabilité a été réalisée avec DEXiFruits. Lorsqu'on compare les 3 systèmes entre eux pour la variété Ariane (Figure 11), BIO et ECO présentent la même performance environnementale (note 5/5) alors que le système RAI est pénalisé par ses pratiques de protection et de fertilisation. En revanche, il présente la note de performance économique la plus élevée

(coûts de production moindres, rendement élevé). Pour les aspects sociaux, c'est principalement le niveau de satisfaction de l'expérimentateur qui explique les différences entre systèmes, en rapport avec les contraintes de mise en œuvre des systèmes.

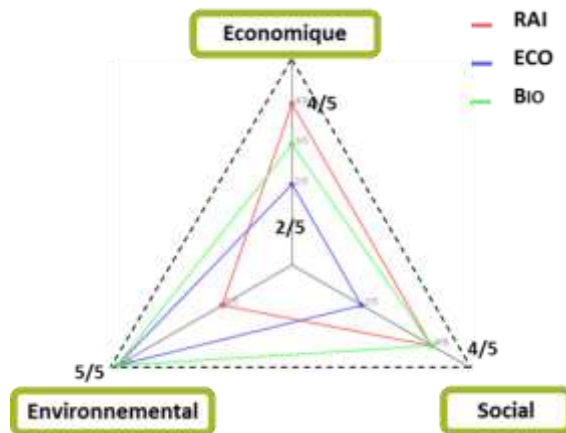


Figure 11 : Performances environnementales, sociales et économiques de RAI Ariane, ECO Ariane et BIO Ariane en 2013. Analyse de la durabilité DEXiFruits. Une note de 5/5 indique une performance très satisfaisante.

2.5.2 Regard croisé FERME – EXPE et référentiel production

L'analyse croisée des systèmes de culture du réseau FERME Fruits à pépins, de vergers de producteurs du GRCETA de Basse Durance et du dispositif expérimental BioREco a permis d'identifier des groupes de leviers en fonction de leur degré de mobilisation et, plus largement, de situer les expérimentations système dans un référentiel de production. Le contexte (ex. bioagresseur absent), la pérennité de la culture (verger implanté avec une variété sensible aux maladies), l'absence de contrôleur phytosanitaire (déficit de suivis pour évaluer le risque de dégâts) ou encore une prise de risques plus importante (ex. seuil d'intervention plus élevé) peuvent expliquer la mobilisation ou non de certains leviers dans les vergers FERME et les systèmes BIO ou ECO de BioREco. A titre d'exemple :

- Le levier génétique est principalement mobilisé en expérimentation, attestant de la prépondérance de variétés sensibles aux maladies dans les vergers de production, et d'un renouvellement de verger peu élevé ou orienté par des critères autres que la sensibilité variétale.
- A contrario, une méthode alternative telle la confusion sexuelle s'est généralisée dans le Sud-Est alors que, jusqu'en 2012, la référence expérimentale était sous protection chimique, pratique dominante en 2005 lors de l'implantation de l'essai : ceci renvoie alors à l'importance de faire évoluer les systèmes expérimentaux de référence en fonction du contexte, ce qui a été le cas dans BioREco où la référence est en confusion depuis 2013.
- Plus que la nature des leviers mobilisés, c'est la combinaison d'un grand nombre d'entre eux au sein du même verger qui caractérise des systèmes tels ECO.

Au sein du référentiel de vergers de production en Production Fruitière Intégrée du GRCETA (données non présentées), les vergers expérimentaux ECO et RAI de BioREco se caractérisent par des temps de travaux élevés quel que soit le système, des rendements équivalents aux vergers commerciaux en année de production (pour la variété Smoothie qui alterne), et des IFT du système RAI proches de la médiane.

Cette confrontation des résultats expérimentaux et en vergers commerciaux souligne le poids du contexte (taille des parcelles, suivis expérimentaux complexifiant les récoltes, statut du décideur par ex.) dans les choix stratégiques et techniques mais permet par ailleurs de mettre en perspective les résultats et les systèmes décisionnels associés et de les évaluer dans un cadre élargi et partagé.

Conclusion

Le programme BioREco a proposé une approche expérimentale originale confrontée à des références en vergers de producteurs, dans un objectif général de réduction de l'utilisation des pesticides en verger de pommiers. Les enseignements de ce travail sont tout d'abord méthodologiques, en particulier en rapport avec la pérennité de la culture : comment évaluer un verger dans la durée, dans un contexte changeant ? Comment prendre en compte différentes phases de vie du verger et sa durée de vie ? Si ce travail nous invite à considérer la notion de trajectoire du système de culture, qui correspond à l'inscription dans la durée de ce système, en fonction d'un contexte évolutif, des développements autour de ces questions ont pu être abordés par ailleurs (Alaphilippe et al., 2013 ; 2016 ; Simon et al., 2017), qui attestent de l'importance d'outils et démarches spécifiques à l'arboriculture.

Les résultats obtenus attestent de possibilités de réduction de l'utilisation des pesticides pour certains contextes et types de vergers, et plus globalement de marge de manœuvre pour améliorer la durabilité des vergers. Toutefois, ils soulignent l'importance d'élargir le cadre de la réflexion au-delà de la saison culturale et de la parcelle, en rapport avec la pérennité du système verger et les contraintes de filière :

- Les choix structurels à la plantation (matériel végétal, densité de plantation, forme fruitière, infrastructures...) sont difficiles à modifier au cours de la vie du verger. Or, ils contraignent fortement la configuration du verger et les pratiques à mettre en œuvre. Ces choix de plantation influent également sur l'ensemble des pratiques, en particulier sur le temps de main d'œuvre et les quantités d'intrants à investir pour produire (hauteur du verger, temps d'éclaircissage manuel) et sur la longévité du verger (phase/rythme de production).
- L'accès à l'information pour évaluer le risque de dégâts, l'importance et la dispersion des surfaces à gérer pour intervenir rapidement en cas de risque voire le statut du décideur (exploitant, chef de culture, directeur de verger) et sa perception du risque sont des composantes également déterminantes dans la décision d'intervention et in fine dans l'utilisation des pesticides.
- L'ensemble de la filière, incluant l'amont (e.g., la création variétale) et l'aval (la commercialisation et ses standards) est également questionné par la réduction de l'utilisation des pesticides. Ce projet souligne l'importance et la richesse d'un partenariat multi-acteurs et le besoin de créer des espaces d'échanges, pour aborder des questions complexes telles que le changement des pratiques de protection en cultures pérennes.
- Ce travail questionne enfin quant à la production de connaissances et à leur appropriation par les producteurs, leurs accompagnants mais également au niveau de l'enseignement agricole : les expérimentations système peuvent constituer des sites où la connaissance peut s'acquérir dans l'action ou a minima dans une interaction autour de l'action (ex. mises en situation).

Le dispositif BioREco a été conçu en 2004 (plantation janvier 2005). A la lecture de la grille d'évaluation d'Hill et McRae (1995), certains systèmes expérimentés se caractérisent par la combinaison d'un ensemble de leviers relevant de l'efficience (ex. évaluation du risque de dégâts), de la substitution (méthodes alternatives) mais également de la re-conception du verger (variétés, distances de plantation, conduite des arbres, combinaison de nombreux leviers), qui demande de repenser les modes d'action contre les bio-agresseurs (ex. modification du microclimat), la configuration du verger et/ou le pilotage d'interactions complexes. Toutefois, ce dispositif et ses choix de plantation (ex. variétés, densité d'arbres) sont maintenant beaucoup moins originaux qu'il y a une douzaine d'année et ne permettent pas ou peu d'évoluer pour continuer à être innovant : des leviers d'action autres que ceux initialement mis en œuvre pour réduire l'utilisation des pesticides (ex. plantes de service favorisant les auxiliaires (Simon et al., 2015)) seraient à intégrer et évaluer. Toutefois, certaines configurations des systèmes testés dans BioREco, assez proches des vergers commerciaux existants, permettent

d'apprécier les marges possibles de réduction de l'usage des pesticides ainsi que leurs impacts possibles sur les performances multicritères des vergers actuels.

Enfin, pour réduire drastiquement l'utilisation des pesticides, une nouvelle phase de conception est nécessaire pour proposer des prototypes plus ambitieux, qui maximisent un ensemble de mécanismes limitant le développement des bio-agresseurs, par des actions via les plantes ou via les auxiliaires. Ceci suppose très certainement de considérer des éléments peu étudiés tels la gestion du sol (effet sur les ravageurs via la nutrition de l'arbre et les auxiliaires, les décomposeurs étant à la base des chaînes alimentaires), la diversification végétale et l'échelle supra-parcellaire pour maximiser les services écosystémiques de régulation et mieux intégrer les aspects organisationnels, et enfin l'élargissement de la réflexion à la filière et au système socio-technique, incluant l'amont, l'aval et des interactions entre acteurs à renouveler autour de l'enjeu de produire des fruits plus durablement.

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à ces travaux et aux échanges autour de BioREco au fil des 12 années du programme. La conduite du dispositif BioREco a été permise par l'implication de nombreux collègues de l'unité INRA de Gothéron, en particulier F. Merlin et P. Asencio pour la réalisation des traitements. Le GIS Fruits a apporté un soutien thématique et logistique à nos animations. Les diffuseurs utilisés dans le dispositif ont été fournis par la société SumiAgro. Pour la période 2012-2016, le programme BioREco a été en partie financé par le réseau DEPHY Ecophyto EXPE (action pilotée par le ministère chargé de l'agriculture, avec l'appui financier de l'Agence Française de la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto 2018) et le dispositif expérimental a également bénéficié d'un support du projet européen Pure (Pesticide Use Reduction, FP7-265865).

Références bibliographiques

- Alaphilippe A., Brun L., Guinaudeau J., Sauphanor B., Hayer F., Simon S., 2009. BioREco, un dispositif pour évaluer les pratiques de protection. *L'arboriculture fruitière* 641, 30-33.
- Alaphilippe A., Simon S., Brun L., Hayer F., Gaillard G., 2013. Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production. *Agronomy for Sustainable Development* 33, 581-592.
- Alaphilippe A., Boissy J., Simon S., Godard C., 2016. Environmental impact of intensive versus semi-extensive apple orchards: use of a specific methodological framework for Life Cycle Assessments (LCA) in perennial crops. *Journal of Cleaner Production* 127, 555-561.
- Alaphilippe A., Angevin F., Guérin A., Guillermin P., Vélú A., Zavagli F., 2017. DEXiFruits, un outil d'évaluation multicritère des systèmes de production de fruits : d'un modèle de recherche à un outil terrain co-construit. *Innovations Agronomiques* 59, 205-212.
- Debaeke P., Munier-Jolain N., Bertrand M., Guichard L., Nolot J.M., Faloya V., Saulas P., 2009. Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 73-86.
- Hill S.B., MacRae R.J., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7, 81-87.
- INRA Gothéron, 2017a. BioREco, 12 ans d'expérimentation pour réduire l'utilisation des pesticides en verger de pommiers (2004-2015). <https://www.gis-fruits.org/GROUPES-THEMATIQUES/Approche-systeme/Expe-systeme-BIORECO>
- INRA Gothéron, 2017b. Film 'Le projet BioREco'. <http://ecophytopic.fr/tr/innovation-en-marche/reseau-dephy/bioreco-methodologie-et-experimentation-systeme-pour-la>

Le Bourvellec C., Bureau S., Renard C. M., Plénet D., Gautier H., Touloumet L., Girard T., Simon S., 2015. Cultivar and year rather than agricultural practices affect primary and secondary metabolites in apple fruit. *Plos One* 10 (11), 23 p.

Mercier V., Bussi C., Plénet P., Lescourret F., 2008. Effects of limiting irrigation and of manual pruning on brown rot incidence in peach. *Crop Protection* 27(3-5), 678-688.

Sauphanor B., Dirwimmer C., Boutin S., Chaussabel A.-L., Dupont N., Fauriel J., Gallia V., Lambert N., Navarro E., Parisi L., Plénet D., Ricaud V., Sagnes J.-L., Sauvaitre D., Simon S., Speich P., Zavagli F., 2009. Analyse comparative de différents systèmes en arboriculture fruitière, in: *Ecophyto R&D : vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires*, Rapport d'Expertise Collective INRA, INRA Ed., Tome IV, 49 p.

Simon S., Brun L., Guinaudeau J., Sauphanor B., 2011. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 541-555.

Simon S., Plénet D., Alaphilippe A., Guillermin P., 2014. Méthodologie de l'approche système en arboriculture fruitière, partage d'expériences. Synthèse séminaire du 06 Novembre 2013, INRA Gotheron. <https://www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Cycle-de-trois-seminaires-Systemes/Journee-sur-les-essais-systemes-en-arboriculture-6-novembre-2013-INRA-Gotheron>

Simon S., Marliac G., Capowiez Y., 2015. Quelles pratiques agroécologiques pour contrôler les bioagresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers? *Innovations Agronomiques* 43, 29-40.

Simon S., Lesueur-Jannoyer M., Plénet D., Lauri P.-É., Le Bellec F., 2017. Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences. *European Journal of Agronomy* 82, 320–330.

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).