



HAL
open science

EcoPêche - Conception et évaluation multisite de vergers de pêche – nectarine économes en produits phytopharmaceutiques et en intrants

Daniel Plénet, C. Hilaire, Philippe Blanc, Julie Borg, Solène Borne, Claude Bussi, Valérie Gallia, Marie-Laure Greil, M. Guiraud, E. Hostalnou, et al.

► To cite this version:

Daniel Plénet, C. Hilaire, Philippe Blanc, Julie Borg, Solène Borne, et al.. EcoPêche - Conception et évaluation multisite de vergers de pêche – nectarine économes en produits phytopharmaceutiques et en intrants. *Innovations Agronomiques*, 2019, 76, pp.291-310. 10.15454/lykahc . hal-02625136

HAL Id: hal-02625136

<https://hal.inrae.fr/hal-02625136>

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

EcoPêche : Conception et évaluation multisite de vergers de pêche – nectarine économes en produits phytopharmaceutiques et en intrants

Plénet D.¹, Hilaire C.², Blanc Ph.³, Borg J.¹, Borne S.⁴, Bussi C.⁴, Gallia V.³, Greil M.-L.⁵, Guiraud M.³, Hostalnou E.⁶, Labeyrie B.⁷, Mercier V.⁴, Millan M.², Montrognon Y.⁷, Monty D.⁵, Mouiren C.⁸, Pinet C.³, Ruesch J.²

¹ INRA, UR1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, Domaine St Paul, 84914 Avignon Cedex 9

² CTIFL, Centre opérationnel de Balandran, 751 chemin de Balandran, 30127 Bellegarde

³ SUDEXPE site St Gilles SERFEL, 517 chemin du Mas d'Asport, 30800 Saint Gilles

⁴ INRA, UE695 Recherches Intégrées Gotheron, 26320 Saint Marcel-lès-Valence

⁵ INRA, UE393 Unité Expérimentale Arboricole, Domaine des Jarres, 33210 Langon

⁶ Sica CENTREX, Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales, Mas Faivre, 66440 Torreilles

⁷ SEFRA, 2485 route des Pécolets, 26800 Etoile-sur-Rhône

⁸ GRCETA de Basse Durance, 13210 Saint-Rémy-de-Provence

Correspondance : daniel.plenet@inra.fr

Résumé

EcoPêche vise à concevoir et évaluer des vergers de pêche-nectarine conciliant une forte réduction des produits phytopharmaceutiques sans pénalisation des performances technico-économiques. Les expérimentations système, conduites par 8 partenaires dans 7 sites, combinent de nombreux leviers d'action depuis les choix structurels à la plantation jusqu'à l'association de différentes méthodes alternatives pour la gestion annuelle des vergers sur la période 2013-2018. Les analyses de données concernent 29 systèmes x années Référence (REF), 36 ECO (Econome en pesticides) et 12 systèmes BIO. La réduction des produits phytosanitaires hors biocontrôle atteint 52 % dans ECO et 77 % dans BIO par rapport à REF (21,1 IFT). Le rendement commercialisable est plus faible dans ECO (-20 %) et BIO (-64 %) par rapport à REF (30,5 t/ha). La réduction des coûts de production dans ECO (-15 %) ne permet pas de compenser la diminution du chiffre d'affaire (-19 %) conduisant à une réduction des marges (-21 %). En BIO, le prix de vente plus élevé des fruits permet d'obtenir des marges identiques à REF. 28 % des systèmes ECO et 50 % des BIO sont classés Systèmes Economes et Performants (SCEP, réduction de 50 % des IFT et marges supérieures à la médiane). Ces résultats montrent la faisabilité technique d'une forte réduction des pesticides en pêcher ce qui diminue les risques d'impacts sur l'environnement et la santé humaine. Une augmentation du prix payé aux producteurs (0,15 €/kg fruits) dans les systèmes ECO serait nécessaire pour compenser la diminution moyenne des rendements afin de favoriser la transition vers ces systèmes économes en pesticides.

Mots-clés : *Prunus persica*, Système de culture, Faible utilisation de pesticides, Evaluation multicritère, Stratégie de protection des maladies et ravageurs, Pesticide.

Abstract: EcoPêche. Design and evaluation of peach-nectarine orchards to reduce the use of pesticides and inputs.

EcoPêche aims to design and evaluate peach-nectarine orchards with a trade-off between a strong reduction of pesticides and the technico-economic performances. System experiments, conducted by 8 partners in 7 sites, combine many levers of action ranging from structural planting choices to the association of different alternative methods in the annual orchard management over the 2013-2018

period. Data analysis concern 29 systems x years Reference (REF), 36 ECO (Low pesticide use systems) and 12 organic farming (BIO) systems. Pesticide reductions excluding biocontrol products reached 52% in ECO and -77% in BIO compared with REF (21.1 IFT). Marketable yield is lower in ECO (-20%) and BIO (-64%) compared with REF (30.5 t/ha). The reduction of production costs in ECO (-15%) does not compensate for the decline in revenue (-19%) leading to a reduction in margins (-21%). In BIO, the higher fruit selling price makes it possible to obtain margins identical to REF. 28% of ECO systems and 50% of BIO are classified Economical and Performant Systems (SCEP, 50% reduction of pesticides and margins above the median). These results show the technical feasibility of a strong reduction of pesticides in peach orchards, which reduces the risks of impacts on the environment and human health. An increase in the price paid to producers (0.15 €/kg of fruit) in ECO systems would be necessary to offset the average decrease in marketable yields in order to promote the transition to these low pesticide use systems.

Keywords: *Prunus persica*, Cropping system, Low pesticide use, Multicriteria evaluation, Pest and disease management.

1. Introduction

Même si les surfaces de pêchers ont fortement régressé ces 20 dernières années en France du fait d'une très forte concurrence commerciale de pays à plus faibles coûts de main d'œuvre et des plans d'arrachage obligatoire pour lutter contre l'agent causal de la maladie de la sharka, la production de pêche – nectarine est encore importante (9 270 ha, 221 000 t, 2^{ème} production de fruits commercialisés en frais, FranceAgriMer 2018) et reste emblématique des fruits d'été. Ses exigences climatiques et édaphiques expliquent une aire de production majoritairement concentrée autour du bassin méditerranéen et sur des sols caillouteux et/ou filtrants. A part une commercialisation locale en circuits diversifiés, les fruits sont surtout commercialisés en frais dans des circuits de distribution fortement orientés vers la grande et moyenne distribution et les grossistes avec une gestion logistique en flux tendus (entreposage en chambres froides d'une durée maximale de 7 à 10 jours pour ne pas altérer la qualité).

Les intensités de fréquence de traitements en produits phytopharmaceutiques (IFT) sur pêche – nectarine sont élevées (70^{ème} percentile de l'IFT national se situant à 23,3 IFT en 2015, soit en 2^{ème} position après la pomme, mais bien supérieur aux autres fruits à noyau, Agreste 2018). Ce fort IFT s'explique par la diversité des pressions de ravageurs (tordeuse orientale, pucerons, thrips, etc.) et de maladies (cloque, oïdium, maladies de conservation dues en particulier aux monilioses, etc.), ainsi que par un ensemble de traits spécifiques aux espèces fruitières (Simon et al, 2017). L'absence de sources de résistance dans les variétés actuelles accentue l'importance de modes de conduite pour rendre les vergers moins sensibles aux bioagresseurs. Les maladies de conservation liées aux monilioses peuvent occasionner d'importantes pertes de récolte (10 à plus de 50 %) et nécessitent des traitements avant récolte pouvant être générateur de résidus dans les fruits qui, tout en respectant les limites maximales des résidus (LMR), sont dommageables pour l'image des fruits auprès des consommateurs. Même si le nombre d'intervention pour le désherbage chimique est relativement peu important (moins de 1,5 IFT) du fait de l'enherbement généralisé de l'inter-rang, la culture du pêcher sur des sols très filtrants et dans certaines zones à fort enjeu « eau » incite à proposer rapidement des alternatives.

Au début du projet EcoPêche, une réduction de 50% des IFT apparaissait comme un objectif très ambitieux au regard des connaissances techniques et des contraintes pesant sur la pêche : risques de pertes élevées de production liées aux bioagresseurs, exigences des normes commerciales, absence de variétés résistantes, faible nombre de leviers alternatifs disponibles, marché très concurrentiel au niveau des prix induisant une forte productivité par hectare pour être rentable. Les freins techniques expliquent

aussi le faible développement de vergers de pêche-nectarine en agriculture biologique (539 ha en 2012 et 628 ha en 2017 en Bio ou en conversion, source Agence Bio).

Les objectifs du projet EcoPêche ont été de concevoir et d'évaluer les performances multicritères (agronomique, qualité des fruits, écologique et technico-économique) de systèmes de culture (SdC) de pêche – nectarine visant à réduire fortement l'utilisation des produits phytopharmaceutiques (-50 % des IFT hors produits de biocontrôle) et si possible des autres intrants (eau d'irrigation, engrais) tout en assurant une production suffisante et rentable. Une approche multisite a été privilégiée pour analyser la diversité des règles d'action mises en œuvre pour s'adapter aux contraintes des contextes locaux et pour évaluer la robustesse des résultats dans différentes conditions de milieu. Comme pour toute expérimentation système (voir guide de l'expérimentateur système, Harvard et al., 2017), ce travail a donné lieu à de nombreux échanges sur la méthodologie, la gestion des pratiques, le partage des savoir-faire et l'interprétation des résultats (Simon et al., 2014 ; Plénet et Simon, 2015 ; Labeyrie et al., 2018).

Dans cet article, nous présenterons les grandes lignes des stratégies de gestion des vergers mises en œuvre (combinaisons des leviers d'action) et les principaux résultats d'indicateurs sélectionnés pour caractériser la multi-performance des systèmes expérimentés sur la période 2013-2018.

2. Matériels et méthodes

2.1 Le dispositif expérimental

Le réseau expérimental EcoPêche est constitué de sept sites expérimentaux localisés dans les principaux bassins de production de la pêche (Rhône-Alpes, Provence Alpes Côte d'Azur et Occitanie). Dans chacun des sites pilotés par les 7 partenaires du projet (Tableau 1), un ou deux essais système ont été mis en place soit sur la période 2011-2013 (plantation dans le cadre du CASDAR Vergers bas intrants, Mercier et al., 2014) soit dans le cadre du projet EcoPêche (plantation début 2013).

Tableau 1 : Principales caractéristiques structurelles des systèmes de culture implantés dans les différents sites et dispositifs expérimentaux, EcoPêche 2013-2018

Sites - Dispositifs et acronymes	Systèmes	année plantation	Variété	Porte-greffe	Type fruits ¹	Précocité ²	Densité (arbres /ha)	Forme fruitière	Système irrigation ³	IAE ⁴	Commentaires ⁵
1_INRA Avignon InraAvi	REF	2013	Nectarlove	GF 677	NB	saison	571	double Y	microjet		
	ECO1	2013	Nectarlove	GF 677	NB	saison	571	double Y	GàG ent.	HC - BF	
	ECO2	2013	Nectarlove	GF 677	NB	saison	909	Y oblique	GàG ent.	HC - BF	
2_INRA Gotheron InraGot	REF	2011	Surprise	cadaman	PB	saison	533	gobelet	microjet	HC	
	ECO	2011	Elise	cadaman	PB	saison	533	gobelet	GàG ent.	HC	
	BIO	2011	Elise	cadaman	PB	saison	533	gobelet	microjet susp.	HC	
3_INRA Bordeaux-Bourran (InraBor)	REF	2012	Surprise	jaspi	PB	saison	555	gobelet	microjet susp.	HC	Faible productivité
	ECO	2012	Surprise	jaspi	PB	saison	555	gobelet	GàG susp.	HC	
4_CTIFL Balandran Ctifl	REF	2013	Sweet Star	GF 677	PB	tardive	476	double Y	microjet	HC	
	ECO	2013	Sweet Star	GF 677	PB	tardive	1010	Y oblique	microjet susp.	HC - BEN	
	BIO	2013	Sweet Star	GF 677	PB	tardive	1010	Y oblique	GàG ent.	HC - BF	
5_SEFRA Sefra	REF	2012	Nectardream	GF 677	NB	tardive	476	double Y	microjet	HC	arrachage fin 2017 grêle 2016-2018
	ECO	2012	Nectardream	GF 677	NB	tardive	555	double Y	GàG ent.	HC - CA	
	BIO	2012	Nectardream	GF 677	NB	tardive	555	double Y	microjet susp.	HC - BEN - CA	
6_SudExpé SERFEL 1 Serfel1	REF	2010	Western Red	Montclar	NJ	tardive	556	double Y	microjet	HC	arrachage 2018 arrachage 2018 arrachage 2016
	ECO	2010	Western Red	Montclar	NJ	tardive	556	double Y	GàG ent.	HC	
	BIO	2010	Western Red	Montclar	NJ	tardive	556	double Y	microjet susp.	HC	
6_SudExpé SERFEL 2 Serfel2	REF	2013	Sandine	Montclar	NB	tardive	556	double Y	microjet		
	ECO	2013	Sandine	Montclar	NB	tardive	889	double Y palmette	GàG		
7_Sica CENTREX Centrex	REF-D	2013	Orine	cadaman	NJ	tardive	571	gobelet	GàG		0 résidus ECO REF ECO+
	ECO-D	2013	Orine	cadaman	NJ	tardive	571	gobelet	GàG		
	REF-Enh	2013	Orine	cadaman	NJ	tardive	571	gobelet	GàG susp.	HC - BF	
	ECO-Enh	2013	Orine	cadaman	NJ	tardive	571	gobelet	GàG susp.	HC - BF	

¹ NB : nectarine blanche ; NJ : nectarine jaune ; PB : pêche blanche

² Groupes de précocité : saison, maturité au mois de juillet ; tardive, maturité en août - début septembre

³ microjet : posé au sol ; microjet susp. : microjet suspendu ; GàG : goutte à goutte de surface ; GàG ent. : enterré ; GàG susp. : suspendu

⁴ IAE : infrastructure agroécologique ; HC : haie composite ; BF : Bandes fleuries bord du verger ; BEN : Bandes Enherbées Naturelles ; CA : cultures annuelles

⁵ A la Sica Centrex, il y a eu une évolution des stratégies début 2017 conduisant à une nouvelle codification des systèmes.

Dans chaque expérimentation, 2 ou 3 systèmes de culture sont testés. Ils se caractérisent par les orientations stratégiques communes suivantes :

- Le système de référence (REF) correspond aux préconisations actuellement diffusées pour la conduite d'un verger conventionnel dans chacune des régions. La priorité est donnée à la recherche de hautes performances agronomiques et technico-économiques en respectant le cahier des charges de l'Agriculture Raisonnée (type charte de Production Fruitière Intégrée ou charte Vergers Ecoresponsables qui correspondent à la certification Haute Valeur Environnementale niveau 2) et en minimisant les risques de pertes de récolte. En dehors des circuits de commercialisation courts, cette intensification raisonnée de la production s'avère actuellement nécessaire pour rester compétitif sur un marché très concurrentiel.
- Les systèmes économes (ECO) visent à limiter l'impact environnemental en réduisant l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, des fertilisants et de l'eau d'irrigation, tout en essayant de préserver les marges économiques et en assurant l'obtention de fruits sains et de bonne qualité. Dans la majorité des sites, l'objectif visé était d'atteindre une réduction de 50 % des IFT hors produits de biocontrôle tout en minimisant les risques de pertes des marges économiques. Le « zéro herbicide » a aussi été un objectif prioritaire.
- Des systèmes conduits en agriculture biologique (BIO) ont été mis en place sur certains sites avec pour objectif d'atteindre une performance agronomique plus importante que celle habituellement observée (en pêcher, les niveaux de production obtenus en BIO sont très nettement inférieurs au système conventionnel). Ces SdC BIO permettent d'intégrer les effets d'une meilleure valorisation des fruits dans les calculs économiques grâce au signe officiel AB.

Au cours de la période 2013-2018, plusieurs aménagements du dispositif général ont eu lieu en réponse à des problèmes expérimentaux (Tableau 1) : état sanitaire imposant un arrachage du verger (cas du SdC BIO à SudExpé SERFEL1 début 2016 du fait d'une pression monilia rendant ingérable le verger ; infection par la sharka sur le SdC REF de la SEFRA imposant un arrachage réglementaire fin 2017) ; erreur lors de la fourniture des plants par le pépiniériste induisant une restructuration du dispositif et très faible productivité du verger sur le site Inra Bordeaux-Bourran rendant les données peu représentatives ; modification des orientations stratégiques des SdC sur le site de la CENTREX suite à des choix de gestion des jeunes vergers (entretien du sol par un enherbement total) impactant trop fortement les SdC ECO) et ré-orientation des objectifs en 2017 rendant difficile des évaluations pluri-annuelles. De plus, certains accidents climatiques en détruisant la récolte sur certains sites-années ne permettent pas de calculer les indicateurs de performance définis dans EcoPêche (grêle à la SEFRA en 2016 et 2018, gel à la CENTREX en 2018 et à SudExpé SERFEL1 avec arrêt de l'essai courant 2018).

Ainsi sur les 23 SdC présents au début d'EcoPêche avec 9 REF, 10 ECO et 4 BIO, il reste 19 SdC fin 2018 avec 6 REF, 10 ECO et 3 BIO.

2.2 Les principaux leviers d'action mobilisés

Les règles de gestion stratégique des différents systèmes étudiés ont été définies au début du projet. Les règles de gestion des itinéraires techniques des vergers, en particulier les règles tactiques et opérationnelles, ont plutôt été définies chaque année sur chacun des sites pour s'adapter aux états du verger (vigueur, potentiel de production, état sanitaire...) et intégrer les évolutions rapides des méthodes alternatives issues de retours d'expériences des stations expérimentales et/ou des producteurs (réseaux Fermes ou autres). Les moyens mis en œuvre reposent sur une combinaison cohérente de différentes catégories de leviers d'action (Tableau 2) avec :

- Des choix structurels réalisés lors de l'implantation du verger (variété x porte-greffe, distances de plantation, forme fruitière), mais aussi le type de système d'irrigation (en particulier le goutte à, goutte enterré), l'aménagement d'infrastructures agro-écologiques (IAE : haies composites, bandes

fleuries...) autour des SdC (Tableau 1). En raison de l'absence de variétés résistantes en pêche-nectarine, le choix s'est majoritairement porté sur des variétés représentatives du panel variétal actuel (Ruesch et al., 2016) et sur des nectarines de saison ou tardives qui représentent plus de 50 % de la consommation française de pêche – nectarine. Les vergers à base de nectarines sont susceptibles de générer le plus de traitements du fait de leur plus forte sensibilité aux défauts visuels occasionnés par certains bioagresseurs (thrips notamment) et aux maladies de conservation.

- Des stratégies annuelles de gestion technique intégrant des combinaisons de méthodes alternatives :
 - Des méthodes culturales utilisant de manière plus intensive les mesures de prophylaxie, les méthodes visant à atténuer les risques de développement des bioagresseurs en agissant via la plante (Bussi et al, 2015) et/ou le microclimat : vigueur, statut hydrique, statut azoté, régularité de la vitesse de croissance des fruits, systèmes d'irrigation modifiant l'humidité de surface comme par exemple le goutte à goutte enterré..., techniques de taille d'hiver et d'été pour modifier l'architecture des arbres, formes fruitières (Blanc et al., 2003) comme le simple Y oblique (Hilaire, 2016) utilisé dans certains systèmes, etc.
 - Pour l'entretien du rang, 3 méthodes ont été utilisées en remplacement du désherbage chimique (objectif zéro herbicide en phase de production) : les bâches tissées horticoles qui s'avèrent très efficaces en pêcher ; le travail mécanique (2 SdC ECO sur 10) a été surtout utilisé pour les SdC BIO ; l'enherbement spontané du rang et une gestion de l'herbe par des tontes a été utilisé dans 4 SdC ECO. Cette dernière méthode s'avère trop compétitive pour les arbres lors de la phase d'installation du verger et a fortement pénalisé la vigueur du verger sur le site Centrex qui a modifié sa stratégie par la suite.
 - Des méthodes visant à favoriser et à préserver la biodiversité des communautés (habitats et ressources pour les auxiliaires via des haies composites, des bandes fleuries, nichoirs...) pour augmenter les possibilités de régulation des bioagresseurs au sein de ces systèmes. Parallèlement, la réduction des pesticides chimiques doit préserver le maintien des auxiliaires.
 - L'utilisation de produits de biocontrôle et des méthodes biotechniques (confusion sexuelle...) en substitution aux produits phytopharmaceutiques de synthèse (à noter que la confusion sexuelle contre la tordeuse orientale a aussi été systématiquement utilisée dans les SdC REF du fait de sa quasi généralisation dans les vergers des producteurs).
 - La mobilisation de barrière physique : glu, argiles... au fur et à mesure de leur apparition comme solutions techniques. Par contre, l'installation de bâches anti-pluie et de filets anti-insectes n'a pas été testé du fait de l'absence d'expérimentation analytique au préalable (avant 2013). De façon traditionnelle, les vergers de pêcheurs sont conduits sans palissage. L'installation des filets ou des bâches anti-pluie augmenterait fortement les coûts de plantation avec un risque important de non-retour sur investissement du fait d'une durée de vie des vergers assez courte en pêcher.
 - Les méthodes et outils d'aide à la décision pour améliorer le raisonnement du positionnement des interventions de lutte (piégeage et suivi des populations de bioagresseurs à l'échelle de la parcelle...) et du pilotage de l'irrigation (capteurs sol et/ou plante) et de la fertilisation.
 - Le choix des substances actives ayant le meilleur ratio efficacité technique / profil écotoxicologique et le minimum d'effets sur les auxiliaires.
 - Les techniques d'amélioration de la pulvérisation ou d'efficacité des traitements. Cette technique a surtout été mise en œuvre sur un site (SudExpé SERFEL2) après des essais analytiques visant à tester l'efficacité d'un nouveau type de pulvérisation. Sur les autres sites, il y a cependant eu des réductions de dose de substance active lors des traitements de sortie d'hiver.

- L'acceptation d'une augmentation de prises de risque (niveau de seuil de tolérance des populations des bioagresseurs, impasses pour certains traitements préventifs) raisonnées au cas par cas selon les bioagresseurs. Celle-ci repose sur l'hypothèse que l'approche systémique doit permettre d'améliorer la résilience des systèmes grâce à une autorégulation plus importante (concept de l'agroécologie), même si nous ne connaissons pas leur intensité.

Tableau 2 : Liste des leviers d'action mobilisables sur pêche – nectarine et utilisés dans les systèmes de culture ECO du projet EcoPêche au cours de la campagne 2017. Les chiffres indiquent le nombre de SdC où le levier d'action est mobilisé (sur les 11 SdC ECO) et sensé avoir une action par rapport aux bioagresseurs.

Catégories de leviers	Leviers	Adventices	Maladies	Ravageurs
Mécanique	Travail du sol	3		
Barrière Physique	Bâche tissée horticole	4		
Couverture sol	Enherbement du rang + tonte	1		
Génétique	Contrôle génétique (Variété, PG) : tolérance		0	0
Méthodes culturales	Action population : suppression organes touchés		9	
	Action population_Prophylaxie (réduction inoculum)		11	9
	Atténuation : conduite arbres (forme et aération)		10	
	Atténuation : conduite arbres (Vigueur) par fertilisation		10	10
	Atténuation : positionnement fruits par éclaircissage manuel		11	9
	Atténuation : conduite arbres (Taille en vert / égourmandage)		11	
Barrière Physique	Atténuation : Gestion irrigation avec déficit contrôlé		8	
	Filets ou bâches anti-pluie		0	0
	Argiles			6
Lutte biologique	Glu			3
	par conservation			10
	par lâcher inoculatif			0
	par lâcher inondatif			0
Lutte biotechnique	par produits de biocontrôle : micro-organismes (Bt, virus...)			11
	Confusion sexuelle			11
Produits de biocontrôle	Piégeage massif			3
	autres que les produits biologiques		11	6
Efficience	Réduction des doses de substances Actives		9	1
	Raisonnement, outil aide décision, contrôle régulier et fréquent		11	11
Autre	Prise de risque (seuils, impasses...)		11	11
Nombre moyen de levier d'action / SdC ECO		0.73	10.2	9.2

Pour la gestion des maladies sur les SdC ECO, c'est une combinaison d'une dizaine de leviers d'action qui ont été mobilisés. En l'absence de matériel végétal résistant ou tolérant aux maladies, de nombreuses méthodes culturales ont été mises en œuvre pour essayer de compenser le manque de solutions alternatives ayant une bonne efficacité et pouvant se substituer aux fongicides. L'intensité d'utilisation de ces méthodes alternatives a été cependant plus ou moins forte. Deux maladies s'avèrent de véritables verrous techniques pour réduire les fongicides : (i) la cloque qui peut nécessiter plus de 4 à 6 IFT selon les conditions climatiques et (ii) les maladies de conservation qui mobilisent 2 à 4 fongicides juste avant les récoltes générant des résidus dans les fruits. A noter que le pilotage de l'irrigation selon les principes du déficit hydrique raisonné (méthode connue sous le terme « Regulated Deficit Irrigation : RDI » dans la littérature scientifique) qui a été utilisé dans plusieurs sites afin d'essayer de contrôler les risques de maladies de conservation (Mercier et al., 2008), peut s'avérer assez risqué car il peut générer des réductions de calibre des fruits si des indicateurs du statut hydrique des arbres ne sont pas mobilisés parallèlement pour ajuster l'intensité des régulations hydriques. Ceci explique sans doute la variabilité des résultats observés quant à l'utilisation de cette méthode.

Pour la gestion des ravageurs, c'est aussi une combinaison de près de 10 méthodes alternatives qui a été utilisée. Des solutions de biocontrôle ayant une bonne à assez bonne efficacité existent (confusion sexuelle, produits microbiologiques, barrières physiques...) ce qui a permis un contrôle des ravageurs

relativement satisfaisant. Les pucerons restent cependant difficiles à maîtriser dans certaines situations, ainsi que les thrips. De même, la tordeuse orientale, malgré la confusion sexuelle, peut exiger des compléments de lutte non négligeables dans certaines situations à forte pression.

Dans les 3 systèmes BIO, ce sont les mêmes leviers alternatifs qui sont utilisés avec en moyenne 11 leviers pour maîtriser les maladies et 9,3 leviers pour contrôler les ravageurs (non présentés). Pour les adventices, il y a une utilisation exclusive du désherbage mécanique qui présente aussi l'intérêt d'enfourer légèrement les apports de matière organique fertilisante. La similitude d'utilisation des leviers d'action alternatifs dans les systèmes ECO et BIO ne doit cependant pas faire oublier la possibilité qu'on se donne dans ECO d'utiliser des produits de synthèse en complément ou en dernier recours par rapport au cahier des charges BIO. De même, le basculement vers une fertilisation exclusivement organique en BIO explique aussi sans doute une partie des diminutions de productivité.

2.3 La démarche de conception

Le projet EcoPêche a mobilisé une démarche de conception *de novo* essentiellement basée sur de l'expertise scientifique et technique lors des choix stratégiques réalisés au moment de l'implantation des dispositifs expérimentaux (activités réalisées dans le cadre du CASDAR Vergers bas Intrants pour certains essais et/ou avant le démarrage d'EcoPêche). Cependant, en début de chaque campagne, une démarche de conception incrémentale (ou pas à pas) a été mise en œuvre pour adapter progressivement les règles tactiques de gestion des itinéraires techniques annuels dans le respect d'orientations stratégiques prédéterminées. Cette imbrication des deux démarches de conception est nécessaire car (i) les expérimentateurs apprennent « chemin faisant » sur les manières de piloter des systèmes à faibles niveaux d'intrants, (ii) la gestion annuelle des vergers est très fortement conditionnée par les effets cumulatifs des années précédentes et (iii) l'apparition de nouvelles méthodes alternatives, en particulier les produits de biocontrôle, qui nécessite de réviser les règles de protection si on ne veut pas évaluer des systèmes trop en décalage avec l'innovation technique. Il s'avère donc quasiment impossible de fixer des règles de gestion fixes valables pour 3 à 5 ans de vie du verger, surtout quand on prospecte des itinéraires techniques peu connus.

Ces activités de conception et d'amélioration progressive ont reposé sur la mobilisation des connaissances scientifiques et expertes existantes dans le groupe EcoPêche (expérimentateurs des stations régionales, conseillers techniques d'exploitations fruitières, responsables de réseaux thématiques, chercheurs...) et l'implication d'ingénieurs des réseaux Fermes et de conseillers techniques, en particulier du GRCETA de Basse Durance et des Chambres d'Agriculture des Pyrénées Orientales, du Gard et de Drôme-Ardèche.

2.4 Indicateurs et analyse multicritère de la performance des systèmes

De très nombreuses observations et mesures régulières ont été réalisées pour caractériser la croissance des arbres et des fruits, la production de fruits et leur qualité, le statut hydrique des sols, les populations de bioagresseurs et leurs dégâts, etc. Les modalités de chaque intervention et leur temps de travail ont été enregistrées. A partir de l'ensemble de ces données, des indicateurs ont été calculés pour caractériser l'intensité d'utilisation des intrants et pour évaluer les performances des systèmes selon différents critères utilisés pour caractériser le fonctionnement agronomique des vergers, la productivité, la qualité des fruits, les pressions sur l'environnement et les résultats technico-économiques. Les critères analysés dans cette synthèse sont les suivants.

Indicateurs des pratiques : indicateur de fréquence de traitement (IFT) des produits phytopharmaceutiques décliné par grandes familles d'usage (insecticides, fongicides, herbicides, autres (molluscicides...)) et en catégories (produits hors biocontrôle dits « chimique », produits de biocontrôle).

Par souci d'homogénéité, sur la durée du projet et avec les réseaux FERME, l'IFT est calculé par rapport à la dose minimale homologuée sur pêche – nectarine pour le produit commercial considéré et en fonction des surfaces réelles d'application. L'IFT est aussi exprimé par tonne de fruits commercialisables.

Indicateurs agronomiques et de la qualité des fruits : dégâts et dommages liés aux bioagresseurs, rendement brut et commercialisable détaillé par calibre et catégorie commerciale, qualité physico-chimique des fruits (surtout l'indice réfractométrique qui mesure la teneur en sucres solubles), tenue des fruits en conservation, résidus phytosanitaires dans les fruits.

Indicateurs technico-économiques : le chiffre d'affaire bord verger est calculé en prenant les prix du réseau des nouvelles des marchés (RNM de France Agri-Mer, moyenne 2013-2016) pour chaque calibre et en fonction des semaines de maturité des différentes variétés. Pour le BIO, les prix sont 2 fois plus élevés. Les charges opérationnelles distinguent les charges des intrants (produits phytosanitaires, engrais, irrigation...) et les charges de main d'œuvre (coût forfaitaire de 11.50 €/heure) liées aux chantiers manuels et aux opérations culturales mécanisées. Les marges partielles hors mécanisation correspondent à la différence chiffre d'affaire – charges opérationnelles incluant les coûts de main d'œuvre, mais sans les charges d'amortissement du matériel et d'implantation du verger, ni les charges de structure.

L'analyse des données concerne essentiellement la période où les vergers sont en production (3^{ième} feuille soit 2013 à 2015 selon les années de plantation jusqu'à fin de la campagne 2018). Les aléas climatiques et expérimentaux ont conduit à exclure certaines données (gel, grêle, arrachage pour des raisons sanitaires réglementaires, problèmes de productivité et de représentativité d'un site (Inra Bordeaux-Bourran) et certains systèmes dont les orientations stratégiques ont été modifiées au cours du projet (Sica Centrex). *In fine*, le nombre de SdC – années pris en compte dans la synthèse est de 77, dont 29 REF, 36 Eco et 12 Bio. Pour synthétiser les données, nous avons calculé les moyennes par systèmes en intégrant les données issues des différents sites x années. Cependant pour visualiser la variabilité existante, nous présentons pour certains indicateurs des paramètres statistiques permettant de caractériser la variabilité de la distribution et le niveau de confiance de la moyenne (valeurs minimum et maximum, écartype (S), intervalle de confiance de la moyenne au risque α de 5 % (IC)). A noter aussi que le faible nombre de système BIO dans le réseau induit un très fort intervalle de confiance autour des moyennes calculées. Les résultats moyens des systèmes BIO sont donc à interpréter avec prudence.

3. Résultats et discussion

3.1 Utilisation des intrants phytosanitaires, de l'irrigation et de la fertilisation

Les IFT totaux (chimique + biocontrôle) sont en moyenne de $24,9 \pm 2,3$ dans les SdC REF (n=29 ; S=6,0 ; IC=2,3) mais fortement variables entre année-site (Min.=9,5 ; Max.=36,9 IFT). Ces valeurs sont proches de celles établies par l'enquête Agreste sur les pratiques phytosanitaires en 2015 (IFT national de la pêche = 23,3, valeur du 70^{ième} percentile) indiquant que la gestion de la protection des SdC REF étaient représentatives des pratiques des producteurs. Les systèmes ECO ont des IFT totaux de $16,5 \pm 1,6$ (n=36 ; S=4,7 ; Min.=8,0 ; Max.= 28,3) ce qui représente une réduction de -33,8 %. Dans les SdC BIO, les IFT sont de $14,5 \pm 2,0$ (n=12 ; S=3,2 ; Min.=7,1 ; Max.= 19,5) conduisant à une réduction de -37,8 % par rapport aux SdC REF (IFT=23,3) présents dans les mêmes sites expérimentaux que les SdC BIO.

Les IFT hors produits de biocontrôle (« chimique ») varient fortement selon les sites et les systèmes (Figure 1a). Dans REF, les IFT chimiques¹ sont en moyenne de $21,1 \pm 2,4$ (n=29 ; S=6,2 ; Min.=8,0 ; Max.=32,6). Dans les systèmes ECO, ils sont diminués de -52,1 % (en moyenne $10,1 \pm 1,8$ (n=36 ;

¹ A noter que dans les jeunes vergers, les IFT chimique sont beaucoup plus faibles que dans les vergers en production du fait de l'absence de fruits. Par exemple, dans les vergers en 2^{ième} feuille, les IFT étaient en moyenne de 9,7 dans REF, 5,7 dans ECO et 3,5 dans BIO.

S=5,2 ; Min.=3,6 ; Max.=30,7)). Dans les SdC BIO, les IFT chimiques sont logiquement faibles avec une moyenne de $4,3 \pm 1,2$ (n=12 ; S=1,9 ; Min.=1,5 ; Max.= 7,0) conduisant à une réduction de -77,4 % par rapport aux SdC REF (IFT=19,1) présents dans les mêmes sites expérimentaux que les SdC BIO. Les IFT sont aussi exprimés par tonne de fruits commercialisables. Les valeurs sont de $0,87 \pm 0,17$ IFT/t de fruits dans REF, $0,75 \pm 0,41$ IFT /t dans ECO (soit une réduction de -13,4 %) et $0,77 \pm 0,57$ /t de fruits dans BIO.

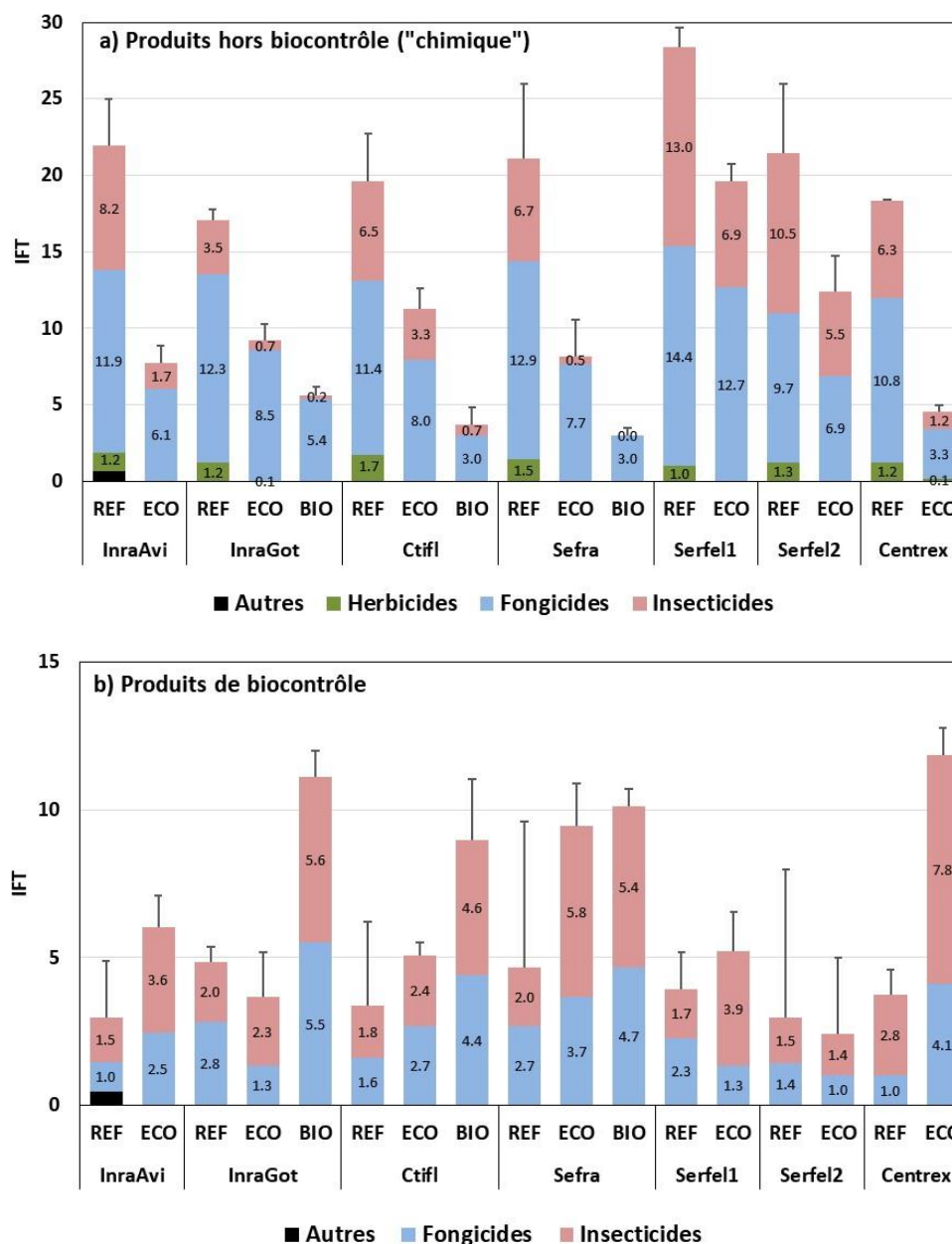


Figure 1 : IFT moyen (a) hors produits de biocontrôle (« chimique ») et (b) des produits de biocontrôle par famille de produits phytopharmaceutiques dans les systèmes de culture des différents essais système, EcoPêche 2013-2018. Moyenne depuis la 3ième feuille jusqu'à fin 2018. Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard calculée sur l'IFT correspondant au cumul des différentes familles.

Les IFT des produits de biocontrôle varient d'un facteur de 1 à 15 selon les sites et les systèmes (Figure 1b) avec une moyenne de $3,8 \pm 0,6$ sur REF (n=29 ; S=1,5 ; Min.=1,0 ; Max.=6,0), de $6,4 \pm 1,2$ sur ECO (n=36 ; S=3,4 ; Min.=1,0 ; Max.=14,0) et de $10,1 \pm 1,5$ sur BIO (n=12 ; S=2,4 ; Min.=5,1 ; Max.=14,5) conduisant à une augmentation d'un facteur de 1,7 sur ECO et de 2,4 sur BIO par rapport à REF.

L'objectif du zéro herbicide est quasiment atteint sur les systèmes ECO (en moyenne 0,15 IFT), leur emploi étant réalisé à faible dose dans un seul site parmi les 7 essais. La forte réduction de -11 IFT chimiques observée dans ECO (-52 % par rapport à REF) ou dans BIO (-14,8 IFT soit -77,4 %) a été partiellement compensée par une nette augmentation de l'utilisation des produits de biocontrôle (+2,6 IFT dans ECO et +6,4 IFT dans BIO) par rapport à REF. Malgré tout, les leviers d'action autres que les produits de biocontrôle (méthodes culturales, barrières physiques, efficacité, etc.) ont fortement contribué à la diminution globale (-34 % dans ECO et -38 % dans BIO) des produits phytopharmaceutiques (chimique + produits de biocontrôle).

Dans REF, les fongicides représentent 57 % des IFT chimique, les insecticides 37 % et les herbicides 5,9 %. Dans ECO, la proportion des fongicides augmente à 73 %, et les insecticides et herbicides ne représentent plus que 26 % et 1,4 % des IFT chimique. Dans BIO, les fongicides correspondent à la très grande majorité des IFT (93 %). Ceci indique que sur pêche, il y a actuellement plus de méthodes alternatives disponibles pour contrôler les ravageurs que pour les maladies. La répartition des IFT selon l'usage pour les principaux bioagresseurs (maladies et ravageurs) pour les sites où il y a eu une intervention phytosanitaire ciblée avec des produits chimiques et/ou avec des produits de biocontrôle (Figure 2) visualise bien les bioagresseurs pour lesquels il y a une substitution partielle par l'utilisation de produits de biocontrôle ayant une efficacité plus ou moins avérée (soufre pour l'oïdium, huiles blanches et argiles pour les pucerons, confusion sexuelle et insecticides microbiologiques pour la tordeuse orientale), avec d'ailleurs une utilisation même dans les systèmes REF. L'absence de produits de biocontrôle pour la cloque (et bactérioses) et les maladies de conservation qui sont susceptibles d'occasionner de très importants dégâts et/ou de pertes de récolte limite les possibilités de réduction des IFT chimique (-27 % et -30 % respectivement) si ce n'est en augmentant fortement la prise de risque. Pour les thrips, la problématique est un peu différente car cela concerne essentiellement les nectarines et les dommages causés aux fruits impactent surtout la présentation visuelle conduisant à des déclassements de la valeur commerciale mais sans dégrader la valeur qualitative et sanitaire du fruit.

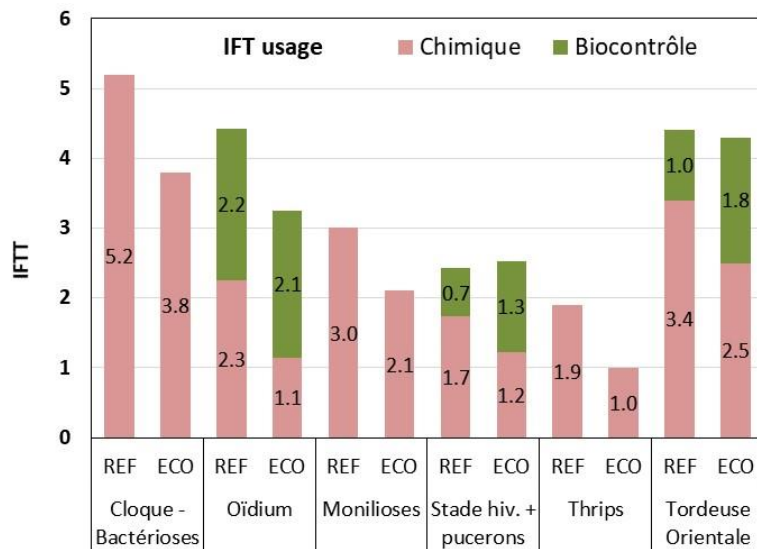


Figure 2 : IFT moyen selon l'usage en produits chimiques et de biocontrôle dans les systèmes REF et ECO où il y a eu des interventions phytosanitaires ciblant ces bioagresseurs, EcoPêche campagnes 2015-2018.

Parallèlement aux réductions de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, des diminutions d'apport des intrants fertilisants et de l'eau d'irrigation ont été réalisées sur la plupart des sites (Tableau 3). Les réductions des quantités d'azote sont globalement modérées (-15,5 % sur ECO) car de plus fortes diminutions réalisées au début du projet ayant impacté la vigueur des arbres sur certains sites, la fertilisation a été réajustée à un niveau proche des SdC REF dans les dernières années. Les

diminutions de la fertilisation phosphatée et potassique sont plus marquées (-39 % en P_2O_5 et -27 % en K_2O sur ECO) du fait des liens plus indirects de ces éléments minéraux vis-à-vis de la vigueur et de la productivité ce qui donne plus de marge de manœuvre.

Tableau 3 : Quantités annuelles de fertilisation et d'irrigation apportées dans les systèmes des différents essais, EcoPêche 2013-2018. Moyenne \pm intervalle de confiance à 95% depuis la 3^{ème} feuille jusqu'à fin 2018. Les % correspondent à la réduction par rapport au SdC REF présents dans les mêmes sites expérimentaux. Pour l'azote, il s'agit du total N minéral et de la fraction N organique jugée disponible l'année de l'apport.

Indicateurs	REF	ECO	BIO	% ECO vs REF	% BIO vs REF
N total (kg N/ha)	138 \pm 8.2	116 \pm 8.6	105 \pm 21.1	84.5	81.2
P2O5 (kg P2O5/ha)	56 \pm 9.6	34 \pm 7.5	44 \pm 14.5	61.0	65.5
K2O (kg K2O/ha)	177 \pm 22.5	130 \pm 18.1	90 \pm 29.5	73.2	56.1
Irrigation (mm)	606 \pm 66	476 \pm 43	426 \pm 64	78.6	72.1

Pour l'irrigation, la demande hydrique (kc ETP – P) moyenne estimée est de 552 mm sur la période d'irrigation considérée (souvent de mi-avril à fin septembre ; avec kc ETP = 820 \pm 48 mm et Précipitations = 268 \pm 50 mm). Les réserves utiles étant souvent très faibles dans les sols adaptés à la culture du pêcher, les apports d'eau d'irrigation dans REF (606 mm) couvrent donc bien le déficit hydrique. Les réductions d'eau d'irrigation sont en moyenne de -21 % sur ECO et de -28 % sur BIO, mais avec des objectifs assez différents selon les sites puisque dans certains dispositifs la réduction moyenne est de -42 % à InraGot, -26 % à InraAvi, -23 % au Ctifl, -12 % à Serfel2, -6 % à Sefra et Serfel1, et 0 % à Centrex. Dans les SdC BIO, la diminution de l'irrigation s'explique à la fois par la volonté de maîtriser les risques de maladies de conservation et par une adaptation des doses à la vigueur des arbres et au faible potentiel de rendement.

3.2 Performances agronomiques

Les rendements commercialisables sont extrêmement variables sous l'influence des sites (qui intègrent plusieurs variables comme l'âge du verger, la variété, les conditions pédoclimatiques), les années avec leurs aléas et les systèmes (Figure 3). En moyenne (\pm IC), les SdC ECO ont des niveaux de rendement (24,4 \pm 4,9 t/ha) inférieurs à REF (30,5 \pm 5,6 t/ha) ce qui représente une diminution de -20 %. La diminution de rendement est importante (-64 %) sur BIO par rapport aux SdC REF (34,3 t/ha) présents dans les mêmes sites.

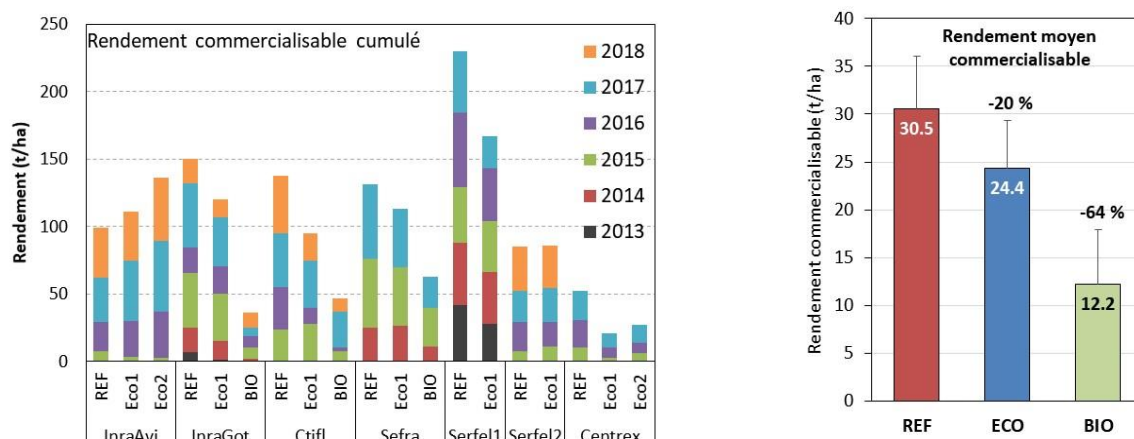


Figure 3 : Rendement commercialisable en fruits frais (t/ha) cumulé par système dans les différents sites et rendement moyen (\pm intervalle de confiance à 95%) par système, EcoPêche 2013-2018, vergers \geq 3^{ème} feuille.

Ces résultats de rendement commercialisable s'expliquent pour partie par une diminution du nombre de fruits récoltés par hectare (-16 % sur ECO et -48 % sur BIO) (Tableau 4). Le poids moyen des fruits est similaire sur ECO par rapport à REF, alors qu'il est réduit sur BIO (-17 %). Le rendement brut récolté est donc plus faible sur ECO (-18 %) et sur BIO (-43 %) par rapport aux SdC REF.

Tableau 4 : Indicateurs de performances agronomiques selon les systèmes de culture, EcoPêche 2013-2018. Moyenne \pm intervalle de confiance à 95% depuis la 3^{ième} feuille jusqu'à fin 2018. Les % correspondent à la réduction par rapport au SdC REF présents dans les mêmes sites expérimentaux.

Indicateurs	REF	ECO	BIO	% ECO vs REF	% BIO vs REF
Nombre fruits/ha (x 1000)	205.3 \pm 38.4	171.5 \pm 34.5	115.1 \pm 56.1	84	52
Poids moyen d'un fruit (g)	176.4 \pm 7.8	173.3 \pm 6.7	150.1 \pm 15.1	98	83
Rendement brut récolté (t/ha)	35.6 \pm 6.2	29.2 \pm 5.6	17.2 \pm 7.5	82	43
Pertes de fruits (%)	14.9 \pm 3.8	18.5 \pm 4.6	28.1 \pm 8.2	124	205
Rendement commercialisable (t/ha)	30.5 \pm 5.6	24.4 \pm 4.9	12.2 \pm 5.7	80	36
% calibre A et plus	84.3 \pm 5.6	82.9 \pm 5.0	61.5 \pm 18.0	98	70
Indice réfractométrique (% Brix)	11.6 \pm 0.7	12.3 \pm 0.6	11.5 \pm 0.7	106	109

Les pertes de fruits (écart de tri), en partie liées aux dommages des bioagresseurs, augmentent de 14.9 % sur REF à 18,5 % sur ECO (+3,6 points), mais double sur BIO (28,1 % vs 13,7 sur les REF correspondants). La répartition des calibres est similaire sur ECO par rapport à REF, mais fortement affectée sur BIO. La qualité des fruits mesurée par l'indice réfractométrique est légèrement améliorée sur ECO (+0,7 point Brix) et sur BIO (+0,9 point Brix) par rapport aux SdC REF correspondants.

Ainsi la forte réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques sur les SdC ECO n'a pas conduit à une forte augmentation des pertes de fruits à la récolte. La baisse de rendement commercialisable sur ECO est plus liée à des facteurs ayant affecté le fonctionnement global des arbres que ce soit par l'alimentation hydrominérale (effets de la réduction de la fertilisation et de l'irrigation sur certains sites, compétition par l'enherbement sur un site, etc.) et/ou par des attaques de bioagresseurs impactant la croissance végétative, la formation des jeunes fruits, la vigueur et le renouvellement des unités de production pour les années suivantes (longueur et qualité des rameaux fructifères, floribondité, etc.).

3.3 Performances technico-économiques

Les temps de travaux observés dans les SdC REF (807 heures, Tableau 5) sont représentatifs de ceux recueillis dans les vergers des producteurs et enregistrés dans la base technico-économique EFI[®] pêche (Giauque et Hilaire, 2003 ; Plénet et al., 2009). Comme recherché par les différents expérimentateurs, les temps sont réduits dans les systèmes ECO que cela soit avec (-14 %) ou sans le temps des chantiers de récolte (-15 %) qui est très dépendant du rendement récolté. Le temps de travail est aussi fortement diminué dans BIO en lien avec les faibles vigueur, charge en fruits et rendement. Ces réductions du temps de travail permettent de réduire les coûts liés à la main d'œuvre dans ECO et BIO par rapport à REF.

Les coûts totaux des intrants (engrais, eau d'irrigation et produits phytosanitaires) sont réduits dans les systèmes ECO (-19 %), alors qu'ils sont plus élevés en BIO (+21 %) par rapport aux SdC REF (Tableau 5). Cette augmentation en BIO s'explique surtout par le prix des engrais organiques. La réduction importante des IFT chimique s'accompagne logiquement d'une très forte diminution des coûts relatifs aux produits phytosanitaires hors produits de biocontrôle (« chimique » -56 % en ECO, -52 % en BIO). Mais les coûts en produits de biocontrôle augmentent de +47 % dans ECO et sont multipliés par 2,4 en BIO. Toutefois, les coûts de la protection sont globalement plus faibles dans ECO (731 \pm 103 €/ha, soit -33 %) et dans BIO (987 \pm 510 €/ha, soit -13 %) comparés à REF (1 083 \pm 125 €/ha).

Tableau 5 : Indicateurs de performances technico-économiques selon les systèmes de culture, EcoPêche 2013-2018. Moyenne \pm intervalle de confiance à 95% depuis la 3^{ème} feuille jusqu'à fin 2018. Les % correspondent à la réduction par rapport au SdC REF présents dans les mêmes sites expérimentaux.

Indicateurs	REF	ECO	BIO	% ECO vs REF	% BIO vs REF
Heures totales / ha	807 \pm 121	696 \pm 117	518 \pm 185	86	56
Heures hors récolte / ha	446 \pm 66	377 \pm 61	306 \pm 123	85	62
Coûts de main d'œuvre (€/ha)	10 276 \pm 1 517	8 905 \pm 1 474	6 634 \pm 2 269	87	62
Coûts totaux des intrants (€/ha)	2 166 \pm 304	1 745 \pm 281	2 536 \pm 969	81	121
dont coûts protection chimique (€/ha)	853 \pm 111	379 \pm 96	373 \pm 400	44	48
dont coûts produits biocontrôle (€/ha)	240 \pm 51	352 \pm 62	614 \pm 190	147	237
Coûts de production (€/ha)	12 368 \pm 1 740	10 553 \pm 1 707	9 170 \pm 3 066	85	67
Coûts de production (€/kg de fruits)	0.46 \pm 0.07	0.61 \pm 0.17	1.07 \pm 0.57	132	241
Chiffre d'affaire (€/ha)	32 049 \pm 5 764	25 948 \pm 5 658	30 203 \pm 14 047	81	86
Marge (hors coût mécanisation) (€/ha)	18 880 \pm 4 584	14 808 \pm 4 300	19 775 \pm 11 995	78	98

Les coûts de production par hectare varient fortement entre les sites, les années et les systèmes (Figure 4). En moyenne, ils sont plus faibles dans ECO (-15 %) et dans BIO (-33 %) que dans REF (Tableau 5). Par contre, les coûts de production par kg de fruits commercialisés qui se situent à 0,46 €/kg dans REF, s'élèvent à 0,61 €/kg dans ECO et 1,07 €/kg de fruits dans BIO. Ainsi dans ECO, il faudrait augmenter les prix de vente de 0,15 €/kg de fruits par rapport aux prix des SdC REF pour couvrir les charges de production.

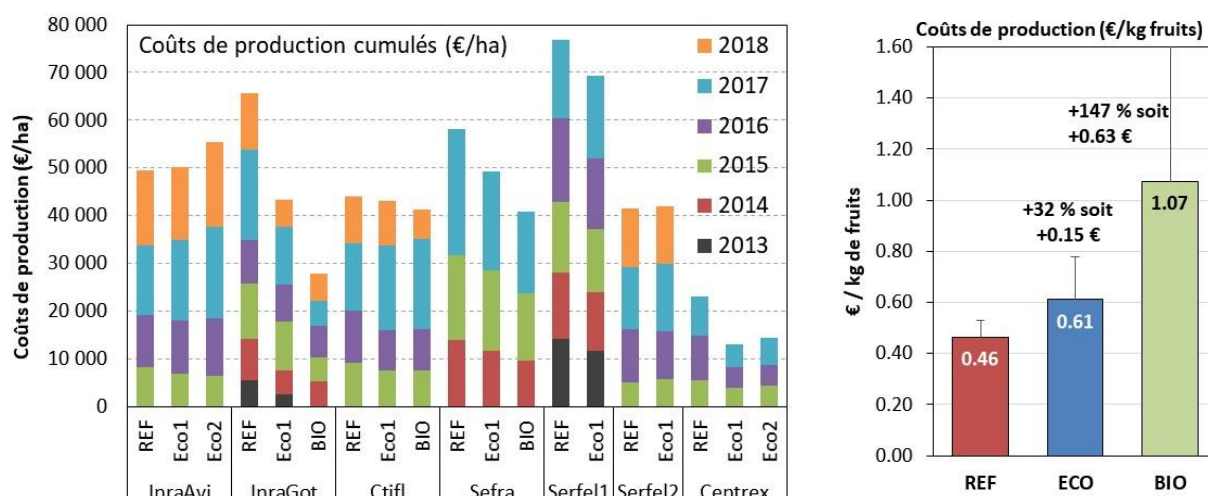


Figure 4 : Coûts de production cumulés (€/ha) par système dans les différents sites et moyenne des coûts de production en €/kg de fruits (\pm intervalle de confiance à 95%) par système, EcoPêche 2013-2018, vergers \geq 3^{ème} feuille. La moyenne des BIO est à confronter aux 3 SdC REF présents sur les mêmes sites soit 0,44 €/kg.

Les chiffres d'affaire cumulés (Figure 5) sont assez proportionnels aux rendements commercialisables sur REF et ECO. Par contre, dans les systèmes BIO, les prix de vente plus élevés peuvent inverser complètement les classements par rapport à ECO. En moyenne, les chiffres d'affaire sont sensiblement plus faibles (25 948 €/ha, soit -19 %) dans ECO vs REF (32 049 €/ha). Ils sont aussi plus faibles dans les systèmes BIO (30 203 €/ha, soit -14 %) par rapport aux SdC qui leur servent de référence (35 267 €/ha). Ces résultats conduisent à des marges partielles (hors coûts de mécanisation et de plantation) qui sont pratiquement similaires dans les systèmes REF et BIO (Figure 5), mais plus faibles dans ECO (-21 %).

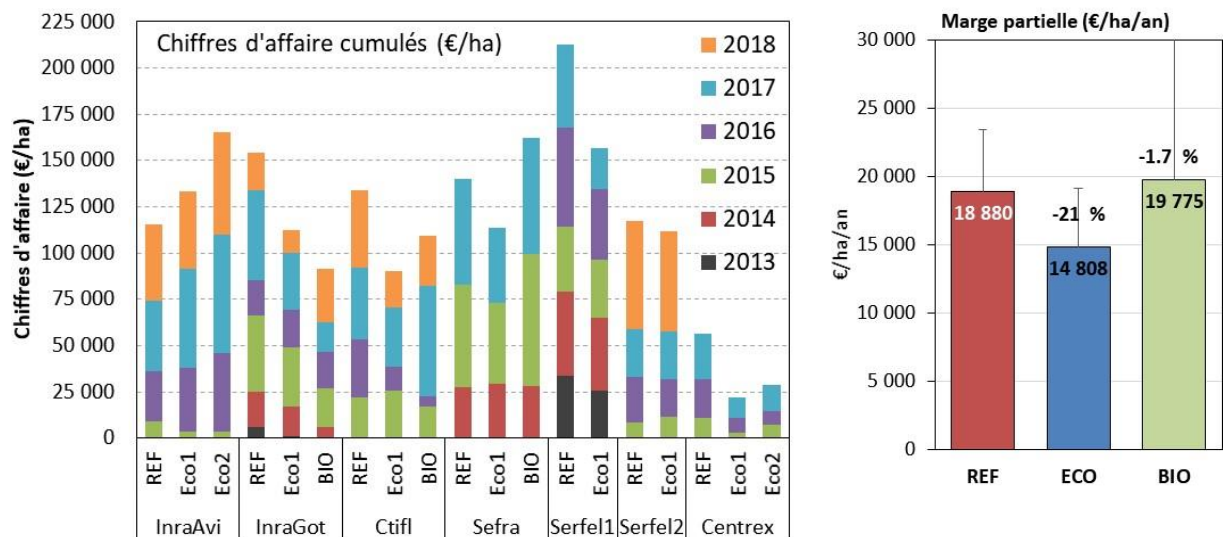


Figure 5 : Chiffres d'affaire cumulés (€/ha « bord verger ») par système dans les différents sites et moyenne (\pm intervalle de confiance à 95%) des marges partielles annuelles (€/ha hors coûts de mécanisation) par système, EcoPêche 2013-2018, vergers \geq 3^{ème} feuille. La moyenne des BIO est à confronter aux 3 SdC REF présents sur les mêmes sites soit 20 122 €/ha.

3.4 Résidus des produits phytopharmaceutiques dans les fruits

A partir des analyses de résidus de 34 SdC x années (15 REF et 19 ECO)², il ressort que 2,79 substances actives (SA) sont détectées dans les SdC ECO contre 4,47 SA dans SdC REF, ce qui représente une diminution de -38 %. Cependant, 0,87 SA dans REF et 0,63 SA dans ECO ne sont pas quantifiables (niveau inférieur à la limite de quantification, c'est-à-dire à 0,01 mg/kg). Le nombre de substances actives quantifiables est donc en moyenne (\pm IC%) de $3,60 \pm 1,14$ SA dans les SdC REF et $2,16 \pm 1,17$ SA dans les SdC ECO, soit une baisse -40 %.

Les teneurs sont toutes conformes et dans la très grande majorité des cas très inférieures aux Limites Maximales Réglementaires (LMR) que cela soit dans REF ou dans ECO. La somme des valeurs relatives par rapport aux LMR des différents résidus quantifiés s'élève en moyenne à 23,7 % dans REF et 15,1 % dans ECO. A l'exception de 4 situations où les % LMR cumulés sont supérieurs à 30 %, la somme relative des LMR est inférieure à 10 % dans 53 % des SdC REF et dans 74 % des SdC ECO dont 4 sans résidus quantifiables (21 % des cas). Dans la très grande majorité des situations, ce sont les traitements fongicides qui sont détectés (78 % dans REF et 83 % dans ECO), en particulier ceux utilisés pour lutter contre les maladies de conservation.

La diminution de l'usage des produits phytopharmaceutiques qui réduit les risques d'impacts sur l'environnement s'accompagne donc aussi d'un effet très intéressant pour le consommateur avec une réduction de la teneur en résidus présents dans les fruits.

3.5 Relations entre les IFT et les critères de performance

Le lien entre les niveaux d'IFT hors produits de biocontrôle (IFT « chimique ») et les rendements commercialisables montre une tendance assez faible ($R^2= 0,21$), mais significative ($F=20,14$; $P<0,0001$; $n=77$ systèmes x années) d'une baisse de la production avec une diminution des IFT (Figure 6a). Par contre, il n'existe pas de relation significative ($R^2=0,02$; $P=0,24$) entre les IFT et les marges (Figure 6b)

² Les résidus dans les systèmes BIO ont été analysés dans 6 cas avec une recherche des résidus en cuivre et soufre : dans 3 cas on retrouve des traces de Cu et S, mais nettement inférieures au LMR.

du fait d'une compensation de la baisse des rendements par la diminution en parallèle des coûts de production et/ou l'augmentation des prix de vente pour le cahier des charges BIO.

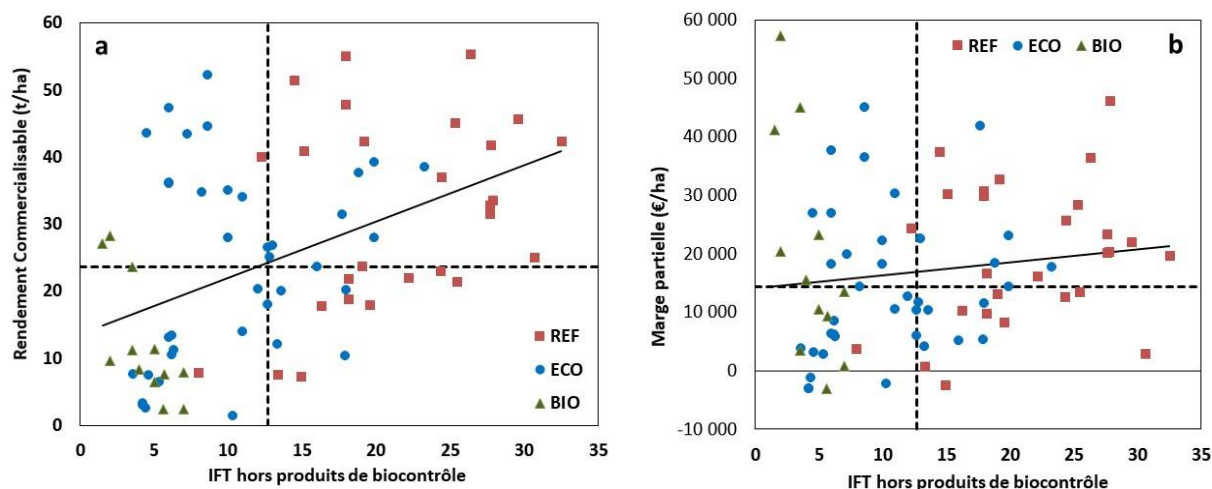


Figure 6 : Relations entre les IFT hors produits de biocontrôle (« chimique ») et (a) le rendement commercialisable (t/ha) et (b) la marge partielle (€/ha) pour les 77 systèmes x années du projet EcoPêche 2013-2018, vergers \geq 3^{ème} feuille. Les lignes pointillées verticale et horizontale correspondent à la médiane pour la variable considérée. Les lignes continues correspondent à la régression linéaire entre les variables considérées avec pour (a) Rdt Com. = $0,838 \text{ IFT} + 13,59$ $R^2=0,212$ $F=20,14$ $P<0,0001$ et pour (b) Marge = $224,8 \text{ IFT} + 14109$ $R^2=0,019$ $F=1,43$ $P=0,24$.

Il existe cependant une très grande variabilité autour de ces analyses tendanciennes. Pour identifier les systèmes de culture économes et performants économiquement (SCEP), chaque système x année a été classé en fonction de ces résultats d'IFT, de rendement commercialisable (Rdt Com.) et de marge par rapport à la médiane, le 1^{er} quartile ou le 3^{ème} quartile calculés sur l'ensemble des 77 systèmes x années comme proposé par Labeyrie et al (2018). Les systèmes considérés comme **SCEP 1** (très économes et très performants) ont des IFT < 6,0 (1^{er} quartile) et des Rdt Com. > 37,0 t/ha ou des marges > 24 336 €/ha/an. Les systèmes considérés comme des **SCEP 2** (économes et performants) ont des IFT < 12,7 (médiane) et des Rdt Com. > 23,6 t/ha ou des marges > 14 418 €/ha/an (médianes) (Tableau 6).

Pour le critère rendement commercialisable, le nombre de SCEP 2 est assez important (15 cas soit 19,5 % de l'ensemble des systèmes x années (Figure 6, cadran gauche en haut) avec 31 % des SdC ECO (11 cas sur 36) et 25 % des SdC BIO (Tableau 6). Par contre, il y a seulement 2 cas (ECO) classés en SCEP 1. Ils correspondent à des SdC présents à la SEFRA (en 2015) et à l'Inra Avignon (SdC Eco2 en 2018). Ces systèmes atteignent des productivités de même niveau que les meilleurs systèmes REF mais avec 75 % de moins d'utilisation de pesticides.

Tableau 6 : Nombre de systèmes x années par SCEP (SCEP 1, systèmes très économes et très performants ; SCEP 2, systèmes économes et performants) en fonction des systèmes de culture, EcoPêche 2013-2018. Les colonnes IFT et Rdt Com. et Marges correspondent aux valeurs seuils (médiane ou quartile).

SCEP	IFT	Rdt Com. ou Marge	Nombre de systèmes x années			
			REF	ECO	BIO	Total
SCEP1	IFT < 6.0	Rdt Com > 37.0 t/ha	0	2	0	2
SCEP2	IFT < 12.7	Rdt Com > 23.6 t/ha	1	11	3	15
SCEP1	IFT < 6.0	Marge > 24 336 €/ha	0	3	3	6
SCEP2	IFT < 12.7	Marge > 14 418 €/ha	1	10	6	17

Pour le critère marge partielle, 17 systèmes x années sont classés SCEP 2 (soit 22 %), avec 28 % des SdC ECO et 50 % des SdC BIO (tableau 6). En SCEP 1, on trouve 3 SdC ECO (soit 8,3 % de tous les

ECO, avec SEFRA en 2015, Inra Avignon SdC Eco1 et Eco2 en 2018), ainsi que 3 SdC BIO (soit 25 % de tous les BIO) représentés par SEFRA en 2015 et 2017, et Ctifl en 2017. La forte proportion des SdC BIO dans les SCEP portant sur le critère marge partielle pointe l'importance de la valeur marchande des fruits en lien avec le circuit commercial pour évaluer la performance économique des systèmes.

Dans chaque essai système, la présence d'un SdC REF permet d'exprimer les performances des SdC ECO et BIO en relatif par rapport à REF (indice 100). Cette approche est assez discriminante car la comparaison entre systèmes se fait sous conditions pédoclimatiques et pressions parasitaires similaires.

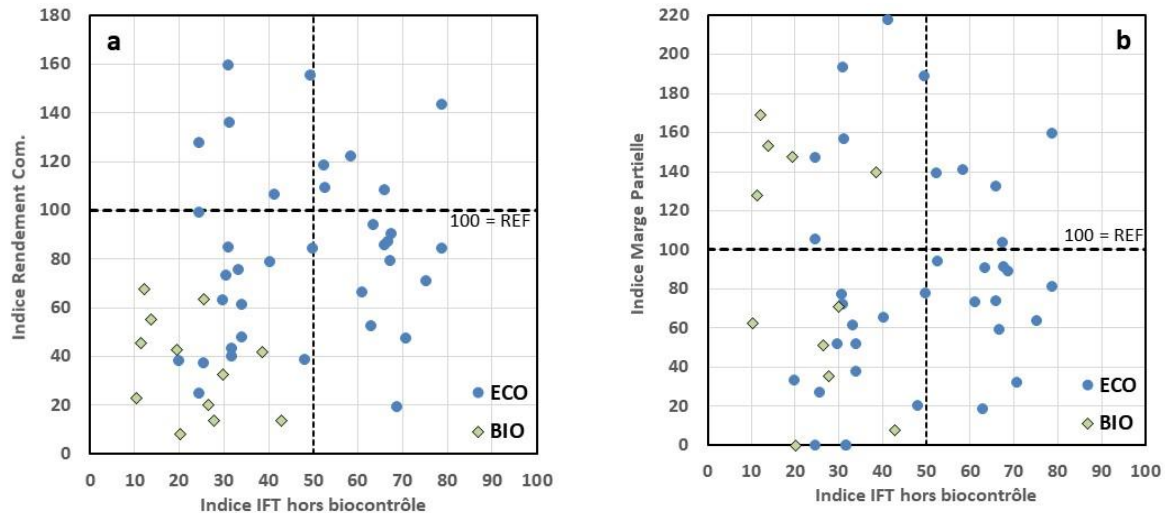


Figure 7 : Relations entre les indices IFT hors produits de biocontrôle (« chimique ») et (a) l'indice de rendement commercialisable et (b) l'indice de marge partielle pour les 36 ECO et 12 BIO systèmes x années du projet EcoPêche 2013-2018, vergers ≥ 3ième feuille. Les indices sont calculés chaque année par rapport aux résultats observés dans le système REF présent sur chacun des sites.

La Figure 7a montre que 6 SdC ECO (soit 17 %) ont des indices d'IFT < 50 et des indices de Rdt Com ≥ 100 (cadran haut gauche)³. Avec le critère Marge (Figure 7b), 6 SdC ECO et 5 SdC BIO correspondent à ce classement (indice IFT < 50 et indice Marge ≥ 100). Dans ces systèmes, la réduction d'au moins de 50 % des IFT s'accompagne d'un rendement ou d'une marge égal ou supérieur à celui du SdC REF, montrant ainsi que certaines combinaisons de leviers d'action peuvent permettre une très bonne maîtrise des bioagresseurs et/ou compenser des pertes liées aux dommages de fruits. L'augmentation des densités de plantation dans certains des systèmes ECO par rapport à REF explique pour partie ces résultats (cas de SEFRA, Inra Avignon SdC Eco 2...).

Conclusion

Les expérimentations système réalisées en multisite dans le cadre du projet EcoPêche montrent une très forte variabilité des performances agronomiques et technico-économiques selon les sites expérimentaux et les systèmes de culture testés. Il faut donc toujours être prudent quant à l'interprétation de résultats moyens. Cependant, l'installation de systèmes de référence dans chaque dispositif permet de dégager des tendances intéressantes quant aux effets de systèmes à faibles niveaux d'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse.

Les résultats obtenus sur la période 2013-2018 confirment la possibilité d'une forte réduction (-52 % des IFT hors produits de biocontrôle) sans trop pénaliser l'état sanitaire des arbres et en maîtrisant les pertes de fruits à la récolte. Cependant, dans les systèmes ECO, le rendement commercialisable est diminué (-20 %), ainsi que le chiffre d'affaire et la marge (-21 %) par rapport aux systèmes REF. Dans

³ Le SdC ayant un indice de rendement commercialisable de 99,1 a été comptabilisé.

les systèmes BIO, la diminution de -77% des pesticides s'accompagne d'une très forte diminution du rendement commercialisable (-64 %) mais le prix de vente plus élevé des fruits permet de compenser les pertes et d'avoir des marges similaires aux systèmes de référence.

Certains systèmes concilient la double performance avec une réduction de 50 % des IFT et des marges supérieures à la médiane (Systèmes Economes et Performants, SCEP). Ils représentent 28 % des systèmes ECO et 50 % des BIO.

L'analyse montre que la réduction des performances n'est pas seulement attribuable à une augmentation des dommages occasionnés par les bioagresseurs. Dans certains dispositifs, les choix techniques pour entretenir le rang des arbres avec des couverts herbacés dès l'installation des jeunes vergers ont entraîné de fortes concurrences et impacté durablement le potentiel de production. De même, la réduction concomitante aux pesticides, des intrants eau d'irrigation et fertilisation azotée, a diminué les capacités productives dans certains systèmes ECO. Dans les systèmes BIO, la disponibilité de l'azote organique est aussi un facteur explicatif majeur des faibles performances. Il apparaît donc important, lors de l'installation d'un verger, de privilégier l'obtention d'arbres vigoureux ayant un bon potentiel productif, la mise en œuvre des itinéraires à très faibles niveaux d'intrants (produits phytosanitaires, irrigation et fertilisation) devant plutôt s'appliquer sur des arbres déjà bien installés. Ceci n'empêche pas de raisonner judicieusement des économies d'intrants lorsqu'elles s'avèrent possibles sans affecter la vigueur.

Si la diminution de produits phytosanitaires hors produits de biocontrôle est possible sur certains bioagresseurs sans une augmentation importante des risques, des verrous techniques demeurent pour la cloque, les pucerons et surtout les maladies de conservation occasionnées par le monilia. Les thrips sont aussi une problématique importante pour les nectarines tant que les critères de présentation visuelle des fruits imposés par les normes commerciales actuelles restent aussi élevés (pratiquement zéro défaut d'aspect). Pour ces cibles, il n'existe pas de solutions de biocontrôle et/ou leur efficacité est très faible par rapport aux solutions chimiques. Il faut donc essayer d'empiler différents leviers à effet partiel pour réduire les traitements. L'efficacité de ces combinaisons s'avèrent assez aléatoires selon les sites, sans doute en raison de l'intensité d'application des méthodes alternatives (point très difficile à apprécier car lié à la perception de chaque expérimentateur) et de la pression des bioagresseurs résultant d'interactions entre les conditions épidémiologiques régionales, la temporalité des événements climatiques locaux et les phases de sensibilité du matériel végétal. Ainsi, certaines méthodes culturales qui peuvent avoir un effet partiel intéressant en atténuant la sensibilité des arbres et permettre des impasses de traitements à certaines phases du cycle, peuvent s'avérer insuffisamment efficaces lorsque la pression parasitaire est très forte. Il est donc essentiel de développer rapidement une meilleure prédiction sur les conditions qui exacerbent des niveaux élevés de risque pour ces bioagresseurs afin de diminuer ces incertitudes. A noter aussi que de nouvelles solutions techniques (lait de chaux pour maîtriser la cloque, talc contre les thrips...) pourraient débloquent partiellement ces verrous techniques à condition que leur efficacité, même partielle, soit confirmée dans des situations variées et qu'elles soient considérées comme du biocontrôle.

Pour les maladies de conservation, les risques de pertes de récolte et de diminution de la tenue des fruits dans le circuit de commercialisation restent cependant une problématique majeure pour la filière pêche-nectarine. Les propositions techniques embarquées dans certains systèmes testés dans EcoPêche (combinaison entre conduite des arbres, prophylaxie, pilotage de l'irrigation avec des déficits maîtrisés au cours de certaines phases de croissance du fruit pour diminuer les risques de formation de microfissures dans l'épiderme, une des voies d'entrée des monilioses) permettent de réaliser quelques impasses (parfois totale) au sein des programmes phytosanitaires réalisés en pré-récolte. La réussite de cette combinaison de méthodes à effet partiel est cependant fortement dépendante de la pression liée aux conditions climatiques de l'année. De plus, elle nécessite un pilotage très précis de l'irrigation pour ne pas affecter le calibre des fruits et donc leur valeur marchande. Pour le moment, peu de producteurs s'approprient ce type de combinaison. Une des solutions serait d'associer la réduction des

fongicides de synthèse contre les monilioses en pré-récolte à la mise en place d'une technique utilisée en post-récolte comme le traitement à l'eau chaude des fruits (Luro et al, 2012) qui a montré une réelle efficacité pour réduire les pourritures. Cette association de méthodes utilisées en pré- et post-récolte serait aussi à privilégier si on veut tendre vers des fruits « zéro résidus » car les fongicides utilisés contre les monilioses sur fruits sont ceux qui tracent le plus du fait de leur positionnement juste avant la récolte.

En plus des aspects techniques, EcoPêche a mis en lumière l'importance de l'apprentissage à la gestion de vergers à faibles niveaux de pesticides, même pour des expérimentateurs. En effet, la perte de repères liée à une méconnaissance de la réponse du verger à des stress biotiques (et parfois abiotiques) est assez déstabilisante, d'autant plus dans les systèmes ECO où on se donne la possibilité d'un recours ultime aux produits phytopharmaceutiques dont l'efficacité peut éviter une dégradation majeure de l'état sanitaire et du fonctionnement des arbres. Mais comment choisir en l'absence de seuil entre (i) un déclenchement d'une intervention phytosanitaire curative pour stopper une attaque avant qu'elle ne dégénère et (ii) un temps de latence suffisant pour observer si les régulations biologiques naturelles s'installent avec une magnitude suffisante pour contrôler la situation ? Ces décisions tactiques ne reposant pas à l'heure actuelle sur des seuils bien objectivés rendent sans doute le pilotage des systèmes ECO plus compliqué et incertain que dans des modes de conduite BIO où on subit plus qu'on ne pilote au regard des méthodes alternatives actuellement mobilisables.

L'acceptation et la gestion de cette prise de risque par les producteurs est sans doute un déterminant majeur pour la transition vers des systèmes à faibles niveaux d'usage des produits phytopharmaceutiques. Des producteurs s'engagent volontairement dans ces démarches par conviction personnelle et/ou opportunités commerciales liées à la valorisation actuellement élevée des fruits issus du mode de production BIO qui permet de compenser la faible productivité de ces systèmes. L'absence d'une valorisation marchande des efforts de réduction des pesticides dans les systèmes ECO et d'une augmentation concomitante de risques aléatoires de pertes de récolte pouvant avoir des conséquences non négligeables économiquement pour ces espèces à coût de production élevé, est un véritable frein au développement de ces systèmes innovants. C'est d'autant plus regrettable que les résultats d'EcoPêche montrent la faisabilité technique d'une forte réduction des pesticides qui va s'accompagner d'une diminution des risques d'impacts sur l'environnement et la santé humaine. Ces systèmes répondent donc mieux aux attentes sociétales, des consommateurs et aux critères de durabilité. Une augmentation du prix payé aux producteurs (estimée à environ 0,15 €/kg fruits) dans les systèmes ECO semble nécessaire pour compenser la diminution moyenne des rendements. Ceci permettrait de faire converger les attentes sociétales et des consommateurs avec la nécessité d'assurer une rentabilité suffisante pour les exploitations qui ciblent les circuits longs de commercialisation soumis à une forte concurrence. Des actions de communication pour sensibiliser les acheteurs de la grande distribution ont d'ailleurs été réalisées conjointement par les acteurs des projets EcoPêche et CAP RED avec l'Association d'Organisation de Producteurs Pêches et Abricots de France (Coord. Millan, Plénet et Martinez, 2017).

Les vergers plantés dans le cadre du projet sont encore relativement jeunes. Il est donc nécessaire de poursuivre l'évaluation des systèmes pour conforter les résultats de 2013-2018 sur une période beaucoup plus large afin d'intégrer la carrière des vergers et d'analyser les trajectoires dans le temps des systèmes à faibles intrants. Des études statistiques plus approfondies devront être réalisées pour identifier les conditions de réussite des systèmes conciliant la double performance. Ceci sera réalisé dans le cadre du projet EcoPêche 2 supporté par le plan EXPE 2 Dephy Ecophyto. Outre cette consolidation des résultats pour intégrer plus de variabilité climatique et de pression parasitaire, l'objectif est aussi d'introduire de nouvelles méthodes (produits de biocontrôle) et/ou de concevoir de nouveaux systèmes innovants devant permettre une réduction encore plus drastique des produits phytosanitaires. Des actions d'échange et de partage d'expérience seront réalisées avec les producteurs pour les accompagner dans leur transition vers ces systèmes agro-écologiques.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement toutes les personnes qui ont participé à la réalisation des expérimentations et dont la forte implication a permis la bonne gestion des dispositifs expérimentaux dans l'ensemble des sites (Guillermin A., Merlin F., Galès M., Picq E., Reno S....). De nombreux échanges ont eu lieu avec des techniciens assurant le rôle de conseiller auprès de producteurs de pêche – nectarine, en particulier du réseau Dephy FERME (Mouiren C., Frantantuono M., Piffany-Durieu A.) et d'arboriculteurs (Ripolès, C....) ce qui a permis d'intégrer certains retours d'expérience et de faire évoluer les règles de gestion technique des différents systèmes. Le GIS Fruits a apporté son soutien par le financement de deux stages de fin d'études (Auvinet C., 2016 ; Ahmadi K., 2018). Le pôle de compétitivité TERRALIA a labellisé le projet et apporté son expertise via certaines recommandations scientifiques. L'AOP pêche et abricots de France a soutenu la réalisation de ce programme et a co-organisé des journées associant les projets DEPHY Ecophyto EcoPêche et CAP ReD pour une communication vers les différents acteurs de la filière, en particulier les acheteurs de la Grande et Moyenne Distribution. En 2013, le projet a bénéficié sur certains sites du soutien financier du CASDAR « Vergers bas intrants (2011-2013) qui a permis l'installation de certains des dispositifs « système ». **Pour la période 2013-2018, le programme EcoPêche a été 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.** EcoPêche a aussi bénéficié du soutien financier des différents organismes partenaires du projet.

Références bibliographiques

- Agreste, 2018 (Cretin L., Triquenot A.). Apports de produits phytopharmaceutiques en arboriculture : nombre de traitements et indicateur de fréquence de traitements. Agreste Les Dossiers, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, août 2018, n° 43, 27 p.
- Blanc Ph., Arregui M., Belluau E., Cuny L., 2003. Les formes de conduite du pêcher. 15 ans d'expérimentation à la SERFEL. Brochure éditée par la SEERFEL, 40 p.
- Bussi C., Plénet D., Merlin F., Guillermin A., Mercier V., 2015. Limiting brown rot incidence in peach with tree training and pruning. *Fruits* 70, 303-309.
- FranceAgriMer, 2018. Fruits et légumes : chiffres-clés 2017. Edition de FranceAgriMer, Montreuil, 91 p.
- Giauque P., Hilaire C., 2003. Conduite du verger de pêcher. Recherche de la performance. Editions du Ctifl, 174 p.
- Havard M., Alaphilippe A., Deytieux V., Estorgues V., Labeyrie B., Lafond D., Meynard J.-M., Petit M.-S., Plénet D., Picault S., Faloya V., 2017. Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation "système" pour les cultures assolées ou pérennes. GIS PIClég, GIS Fruits, Réseau Ecoviti, RMT Systèmes de culture innovants, GIS Relance Agronomique, 172 p.
- Hilaire C., 2016. Pêche, de nouveaux modes de conduite à l'étude. *Paysan du Midi*, 13 mai 2016, 12-13.
- Labeyrie B., Sagnes J.-L., Castel L., Dubreuil N., Kreiter P., Millan M., Plénet D., Simon S., Zavagli F., Rougier M., Emonet E., Longis S., Brun V., 2018. Réseau DEPHY EXPE : synthèse des résultats à l'échelle nationale – filière Arboriculture. Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto, 64 p.
- Luro S., Mandrin J-F., Weydert C., Landry P., Médina C., Lavogez O., 2012. Réduction des pourritures sur pêche après récolte. Intégration d'un trempage eau chaude dans la stratégie de protection. *Infos Ctifl*, 283, 41-43
- Mercier V., Bussi C., Plénet D., Lescourret F., 2008. Effects of limiting irrigation and manual pruning on brown rot incidence in peach. *Crop Protection* 27, 678-688.
- Mercier V., Berthoumieu J-F., Boyer I., Rames M-H., Rashidi S., Rodriguez L., Libourel G., Parveaud C-E., Albert L., Guérin A., Alaphilippe A., Bussi C., Monty D., Greil M-L., Plénet D., Charreyron M., Ricavy I., Borne S., Montrognon Y., Labeyrie B., Stevenin S., Blanc Ph., Gallia V., 2014. Verger bas-intrants. *Références Réussir Fruits & Légumes*, supplément n° 342, 15 p.
- Millan M., Plénet D., Martinez R., (Coord.) 2017. Projet EXPE EcoPêche et CAP ReD. A la recherche de systèmes très économes en produits phytosanitaires. Flyer de 4 p., réalisé dans le cadre de la journée 23 mars 2017 destinée aux acheteurs de la Grande et Moyenne Distribution.

Plénet D., Giauque P., Navarro E., Millan M., Hilaire C., Hostalnou E., Lyoussoufi A., Samie J-F., 2009. Using on-field data to develop the EFl© information system to characterise agronomic productivity and labour efficiency in peach (*Prunus persica* L. Batsch) orchards in France. *Agr. Syst.* 100, 1-10

Plénet D., Simon S., 2015. Une démarche de conception et évaluation de systèmes de culture pour des vergers plus durables. *Sciences Eaux & Territoires* 16, 58-63.

Ruesch J., Hilaire C., Montrognon Y., Courthieu N., Blanc Ph., 2016. Sensibilité des nouvelles variétés de pêche – nectarine aux bioagresseurs. Bilan d'évaluation de trois années. *Infos Ctifl*, n° 327, 39-51

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.

Simon S., Plénet D., Alaphilippe A., Guillermin P., 2014. Méthodologie de l'approche système en arboriculture fruitière : partage d'expériences. Séminaire du 6 Novembre 2013, Inra Gotheron, Saint Marcel-lès-Valence, Edition INRA, octobre 2014, 21 p.

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).