



HAL
open science

Co-conception de systèmes agroécologiques diversifiés de production de fruits tempérés : retours sur trois expérimentations innovantes et de partage d'expériences dans le projet ALTO

Sylvaine Simon, Pierre-Éric Lauri, Jean-Michel Ricard, Aurélie Cardona, Aude Alaphilippe, Cindie Arlaud, Julie Borg, Solène Borne, Marion Bouilloux, Sophie Buleon, et al.

► To cite this version:

Sylvaine Simon, Pierre-Éric Lauri, Jean-Michel Ricard, Aurélie Cardona, Aude Alaphilippe, et al.. Co-conception de systèmes agroécologiques diversifiés de production de fruits tempérés : retours sur trois expérimentations innovantes et de partage d'expériences dans le projet ALTO. *Innovations Agronomiques*, 2024, 98, pp.49-68. 10.17180/ciag-2024-vol98-art05 . hal-04824308

HAL Id: hal-04824308

<https://hal.inrae.fr/hal-04824308v1>

Submitted on 6 Dec 2024

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



Co-conception de systèmes agroécologiques diversifiés de production de fruits tempérés : retours sur trois expérimentations innovantes et de partage d'expériences dans le projet ALTO

Sylvaine SIMON¹, Pierre-Éric LAURI², Jean-Michel RICARD³, Aurélie CARDONA⁴, Aude ALAPHILIPPE¹, Cindie ARLAUD⁵, Julie BORG⁶, Solène BORNE¹, Marion BOUILLOUX⁷, Sophie BULEON⁸, Pascal BORIOLI⁹, Yvan CAPOWIEZ¹⁰, Marianne CERF¹¹, Arnaud DUFILS⁴, Guillaume FICHEPOIL¹², Pierre FRANCK⁶, Mathilde GIBAUD¹³, Guillaume FREMONDIÈRE¹⁴, Laurent GALET¹, Thierry GIRARD¹, Olivier GUIBERT¹, Hélène GAUTIER⁶, Laurent GOMEZ⁶, Christian ICARD¹³, Michel JAY³, Lucie LECARPENTIER¹, Agathe LEGENDRE¹, Benjamin LEMAIRE¹⁴, Marion MICHAUD³, Muriel MILLAN³, Fleur MOIROT¹⁵, Karine MOREL¹, Mireille NAVARRETE⁴, Claude-Eric PARVEAUD¹⁶, Marine PELHATRE¹³, Servane PENVERN⁴, Benoit RICCI², Dominique RIOTORD¹, Blandine ROSIES¹, Pierre-Joël SALLEE¹, François WARLOP¹⁶

¹ Unité Expérimentale de Recherche Intégrée Gotheron, INRAE, 460 Chemin de Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence, France

² Unité Mixte de Recherche ABSys, Univ Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRAE, Institut Agro, 34060 Montpellier, France

³ Ctifl, Centre opérationnel de Balandran, 751 Chemin de Balandran, 30127 Bellegarde, France

⁴ Unité de Recherche Ecodéveloppement, INRAE, 228 route de l'Aérodrome, CS 40509, 84914 Avignon Cedex 9, France

⁵ Ligue de Protection des Oiseaux Auvergne Rhône-Alpes - Délégation territoriale Drôme-Ardèche, 18 place Génissieu, 26120 Chabeuil, France

⁶ Unité de Recherche PSH, INRAE, 228 route de l'Aérodrome, CS 40509, 84914 Avignon Cedex 9, France

⁷ Chambre d'Agriculture de la Drôme, 145 avenue Georges Brassens, CS 30418, 26504 Bourg-lès-Valence Cédex, France

⁸ Chambre d'Agriculture de l'Ardèche, 4 avenue de l'Europe Unie, BP 114, 07001 Privas Cedex, France

⁹ GRCETA de Basse Durance, Route de Mollégès, 13210 Saint Rémy de Provence, France

¹⁰ Unité Mixte de Recherche EMMAH, INRAE-Université d'Avignon, 228 av. de l'aérodrome, 84914 Avignon cedex 09, France

¹¹ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SAD-APT, 91120 Palaiseau Cedex, France

¹² EPLEFPA Le Valentin, Avenue de Lyon, 26500 Bourg-lès-Valence, France

¹³ Agribiodrôme, Ecosite du Val de Drôme – Pôle Bio, 150 avenue de Judée, 26400 Eurre, France

¹⁴ Iteipmai, quartier Vesc, 26740 Montboucher-sur-Jabron, France

¹⁵ AgribioArdèche, 15 bis Avenue du Petit Tournon, 07000 Privas, France

¹⁶ Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, BP 11283, 84911 Avignon Cedex 9 et 460 Chemin de Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence, France

Correspondance : sylvaine.simon@inrae.fr; jean-michel.ricard@ctifl.fr; pierre-eric.lauri@inrae.fr; aurelie.cardona@inrae.fr



Résumé

La diversité des cultures et des plantes associées est un moyen de renforcer les services écosystémiques de régulation des bio-agresseurs. Le projet ALTO (2018-2023), développé dans le cadre du programme national Ecophyto pour réduire l'utilisation des pesticides, est un projet transdisciplinaire visant à concevoir, expérimenter et évaluer des agroécosystèmes diversifiés pour produire des fruits dans des vergers '0 phyto' ou très bas-intrants. Trois vergers implantés dans trois sites du sud de la France ont été co-conçus et évalués dans cet objectif en considérant des dimensions agronomique, écologique, technico-économique et organisationnelle : un verger agroforestier, qui considère plus particulièrement le partage des ressources dans l'espace et le temps ; un verger reconçu pas à pas à partir de vergers de fruits à noyau et oliviers dans une zone riche en infrastructures agroécologiques ; un verger très diversifié conçu *de novo* et visant à maximiser le service de régulation. Trois principales questions ont été abordées par un ou plusieurs sites : (1) Quel est l'effet de la situation agroforestière sur l'architecture et le fonctionnement du pommier ? (2) Dans quelle mesure la diversité et l'agencement spatial de cette diversité limitent-elles les dégâts dus aux bio-agresseurs ? (3) En quoi la diversification affecte-t-elle le travail dans le verger ? Par ailleurs, dans un contexte de manque de connaissances agroécologiques, de connaissances non stabilisées ou portées par une diversité d'acteurs, des échanges entre chercheurs et professionnels des filières ont été organisés sous forme de 'Cafés Agro' thématiques pour partager expériences et questions autour de la diversification du verger.

La réduction de lumière due à la situation agroforestière a négativement affecté l'équilibre végétatif/productif du pommier avec moins d'inflorescences en situation ombragée alors que son volume global reste similaire à celle du témoin. Ceci demande de considérer d'autres assemblages spatio-temporels en agroforesterie, qui réalisent le compromis entre limiter les stress thermiques et les coups de soleil sur fruits, et maintenir la production. La présence d'habitats et de ressources alimentaires pour la biodiversité fonctionnelle, combinée à des pratiques de protection très peu impactantes, se traduit par une abondance et une diversité d'auxiliaires et des niveaux de prédation élevés. Les rendements des vergers multi-espèces sont faibles à moyens en fonction des espèces ; le gel a été la principale cause d'irrégularité de production. Les dégâts de ravageurs sont parfois élevés mais ne sont pas extrêmes en regard de l'absence ou de la très faible utilisation de pesticides. Les premières analyses technico-économiques soulignent l'importance de la valorisation des fruits, par exemple en circuit court. L'approche développée questionne également les méthodes usuelles d'évaluation, qui sont calibrées pour évaluer des monocultures et la production, avec peu de considération des autres services. Concernant le travail, une observation 'incorporée', c'est-à-dire réalisée implicitement lors des opérations dans le verger, a été une activité-clé pour suivre et comprendre de tels systèmes complexes. Ceci a permis une gestion adaptative et la construction de repères spatiaux et techniques. Enfin, les 'Cafés Agro', qui ont rassemblé des personnes de différents métiers et de différentes filières, ont permis aux participants de prendre du recul par rapport à leurs propres pratiques, d'explorer des pratiques innovantes et de développer ainsi de nouvelles communautés de pratiques. Même si ces travaux sont encore en cours et demandent d'être validés dans la durée, les premiers résultats de ce projet transdisciplinaire ouvrent des pistes pour développer des approches innovantes de conception agroécologique en cultures pérennes.

Mots-clés : agroforesterie tempérée, biodiversité, co-conception, partage d'expériences, réduction des intrants phytosanitaires, service écosystémique, transdisciplinarité, verger



Abstract: Co-design of agroecological diversified temperate fruit tree systems: feedback from three breakthrough experiments and experience sharing in the ALTO project

An increase in biodiversity, either cultivated or associated to crops, is a way to foster ecosystem services, especially pest regulation. The ALTO project (2018-2023) developed within the Ecophyto national program to reduce pesticide use is a transdisciplinary project aiming at the design of diversified agroecosystems to produce fruit in pesticide-free or very low-input orchards. Three diversified orchards in three sites of Southern France were co-designed according to this objective considering agronomic, ecological, technico-economic and organizational dimensions. The first system investigated resource sharing in an agroforestry system. The second one was redesigned 'step by step' from stone fruit and olive orchards with agroecological infrastructures into a diversified production area. The last one was a young highly diversified circular orchard with a pest suppressive design. Three main questions were shared by one, two or all sites: (1) What is the effect of agroforestry on apple tree architecture and functioning? (2) Can diversity and spatial arrangement limit fruit damage by pests? (3) How does diversification impact work in the orchard? To share the approach with farmers, and because knowledge was missing, scattered or just being built, exchanges among researchers and stakeholders in the food sector were organized as thematic 'Cafés Agro' to share experiences and questions about orchard diversification.

Agroforestry negatively affected the vegetative/productive balance of apple trees with fewer flower clusters in the shade, while the total tree volume was similar to the control, leading to the consideration of other spatial and temporal assemblages that achieve the trade-off between the need to maintain production and to provide shade during heat waves to reduce thermal stress and sunburn on the fruit. The provision of functional biodiversity with habitats and food resources together with very soft crop protection practices resulted in a high abundance and diversity of natural enemies and high levels of predation. Yields in the highly diversified orchards were low to intermediate depending on species; frost was the main cause of irregular yield. Pest damage was high but not extreme considering the absence or the very low use of pesticides. The first technico-economic analyses highlight the importance to maximize fruit valorization, e.g. through direct sales. Such diversified systems also question the current evaluation methodologies that are calibrated to assess monocultures and production regardless of other services. In the diversified orchards, incorporated observation, i.e. implicitly carried out during other activities, was a key activity to survey and understand such complex systems, to adjust practices, make decisions, and build spatial and technical benchmarks. Finally, the format of the 'Cafés Agro', which brought together people from different professions and different food sectors, allowed participants to step back from their own practices and explore innovative practices in order to create a community of practice. Although this research is in progress and requires further developments, the first results of this transdisciplinary project provide feedback on innovative approaches for agroecological design in perennial crops.

Keywords: biodiversity, co-design, ecosystem service, experience sharing, orchard, pesticide use reduction, temperate agroforestry, transdisciplinarity

1. Introduction

En Europe, depuis les années 1950, les systèmes arboricoles se sont progressivement intensifiés et spécialisés. La majorité des vergers sont devenus des agrosystèmes à faible diversité génétique (les arbres d'un verger monovariétal classique sont des clones), qui demandent une protection intensive contre un ensemble de ravageurs et maladies également favorisés, pour certains d'entre eux, par la pérennité de la culture (Simon et al., 2010). La rémunération des fruits sur des aspects esthétiques a également renforcé ce recours aux intrants phytosanitaires pour éviter tout défaut visuel (déformation, défaut d'épiderme ou de coloration). Cette utilisation de pesticides s'accompagne d'impacts environnementaux et sur la santé des agriculteurs comme des consommateurs (e.g., Carvalho, 2017), et



la réduction de leur usage est globalement nécessaire pour des vergers plus durables. Mais cette transition n'est pas aisée pour des cultures pérennes dont le 'design' (c'est-à-dire les composantes du verger et leur agencement dans le temps et dans l'espace) a été fondé depuis plusieurs décennies sur l'utilisation d'intrants, dont phytosanitaires, en vue d'augmenter fortement les niveaux de rendement. La diversification des cultures et l'introduction de biodiversité dans l'agroécosystème sont un moyen de renforcer les services écosystémiques, en particulier la régulation des bio-agresseurs, et de produire dans des systèmes très bas intrants (Duru et al., 2015; Vialatte et al., 2022). Cette diversification est également à même de contribuer à adapter les systèmes agricoles à d'autres enjeux tels que l'adaptation au changement climatique en limitant les risques économiques par la diversité, ou de limiter l'érosion de la biodiversité dans les espaces agricoles.

Peu d'approches ont considéré une forte intensification écologique du verger même si la Production Fruitière Intégrée (Dickler and Schafermeyer, 1993), l'Agriculture Biologique (AB) et plus récemment l'agroécologie considèrent les processus écologiques (dont la prédation) comme une source de services tels que la régulation des ravageurs par les auxiliaires prédateurs. Des exemples inspirés de systèmes naturels et tropicaux (Malézieux, 2012), des initiatives récentes en agroforesterie tempérée (Lovell et al., 2018) et en protection agroécologique des cultures (Deguine et al., 2017) reconsidèrent la place de la biodiversité dans l'agroécosystème. La démarche est complexe en verger du fait de l'imbrication de dimensions spatiales et temporelles, en particulier d'effets inter-annuels, et du manque de références pour concevoir des assemblages végétaux qui (i) remplissent diverses fonctions, (ii) partagent les ressources et (iii) sont agencés de manière opérationnelle dans l'espace de production (Simon et al., 2019 ; Lauri and Simon, 2019). La diversification du verger relève clairement du Redesign dans le modèle de transition des systèmes agricoles 'Efficiency - Substitution - Redesign' de Hill and MacRae (1995).

L'objectif du travail conduit dans le cadre du projet ALTO (2018-2023) du programme national de réduction de l'utilisation des pesticides EXPE Ecophyto Dephy¹ était d'explorer dans trois sites expérimentaux plusieurs façons de diversifier le verger, pour aller vers des systèmes plus autonomes et plus résilients. Un consortium multi-acteurs de 14 partenaires des filières, du territoire et de la recherche a été mobilisé pour relever ce défi de reconception complexe, incluant l'expérimentation et l'évaluation des prototypes co-conçus, dans une approche inter- et transdisciplinaire² (Simon et al., 2019). Cet article illustre les résultats marquants du projet, avec, pour la partie expérimentale, un focus sur le pommier qui est l'espèce commune aux trois sites. Il donne aussi à voir un travail interdisciplinaire entre agronomie et ergonomie pour analyser les effets de la diversification sur l'observation du verger et le travail. Il présente enfin un dispositif transdisciplinaire original de partage d'expériences sur la conception et le pilotage de systèmes agroécologiques diversifiés, associant chercheurs, expérimentateurs, conseillers, animateurs, agriculteurs, formateurs et porteurs de projets, développé dans le cadre du projet : les Cafés Agro.

¹ <https://ecophytopic.fr/dephy/le-dispositif-dephy-expe>

² Interdisciplinaire, qui relève de disciplines scientifiques différentes ; Transdisciplinaire, qui dépasse les disciplines (le monde académique) pour intégrer les acteurs concernés dans la démarche.

2. Matériels et méthodes

2.1 Sites d'expérimentation

Les trois sites d'expérimentation sont situés dans le Sud-Est de la France (Figure 1). Conduits en AB, ils visent à i) explorer l'agencement spatial et temporel des arbres pour optimiser le partage des ressources (en particulier de la lumière) dans des espaces multi-espèces et multi-strates (site Restinclières) ; ii) évaluer les performances de prototypes issus de conception pas à pas (site de Balandran) ou iii) *de novo* (Gotheron), agencés pour renforcer le service de régulation des ravageurs (matériel végétal, effets barrière-dilution, plantes répulsives, ressources pour les auxiliaires etc).

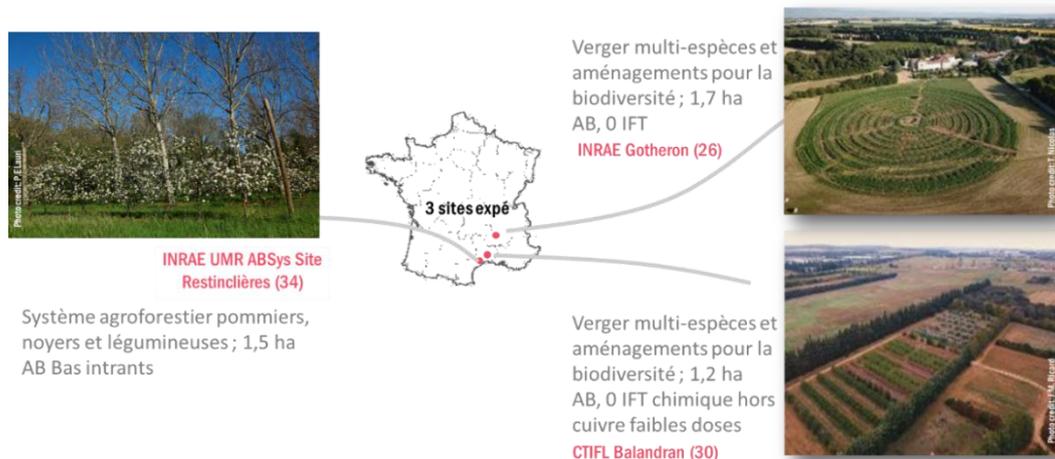


Figure 1 : Localisation des sites d'expérimentation et caractéristiques des vergers implantés. IFT : Indice de Fréquence de Traitement, qui mesure le nombre de doses homologuées de produits phytopharmaceutiques appliqués tout au long de la saison culturale.

- Restinclières (43°42'12.80"N ; 3°51'44.03"E) : Ce verger en agroforesterie fruitière³ associe des noyers à bois *Juglans nigra* × *Juglans regia* NG23 plantés en 1995 et des pommiers implantés en 2016 (cv. Dalinette greffé sur G202). La protection AB du verger se limite à des huiles minérales contre le puceron cendré *Dysaphis plantaginea* et du virus de la granulose contre le carpocapse *Cydia pomonella*. Trois modalités ont été implantées, avec 2 répétitions soit 6 parcelles : pommiers sur le rang de noyers ('agroforesterie sur le rang'), pommiers entre rangs de noyers ('agroforesterie en inter-rang') et témoin sans noyers (Pitchers et al., 2021). La principale ressource de l'environnement pouvant affecter la croissance des pommiers dans ce système étant la lumière, ces 3 modalités seront dénommées « Low light », « Moderate Light » et « Full Light », respectivement, dans la suite du texte.
- Ctifl Balandran (43.753555 ; 4.452652) : En février 2019, deux vergers AB historiques d'abricotiers et oliviers implantés dans une zone riche en infrastructures agroécologiques (mare, nichoirs, abris à faune, haies multi-espèces, jachère) ont été diversifiés en intercalant des pommiers (variétés Opal, Story, Mandy et Garance) en double rang après suppression de rangs de fruitiers (1 rang/4 dans les abricotiers ; 1 rang/2 ou 3 en oliviers). La zone d'étude inclut un verger de pêchers et de nouvelles espèces fruitières (figue, kaki, prune, kiwi), des plantes aromatiques et des engrais verts pour une surface totale d'1,2 ha (Ricard et al., 2022a). L'ensemble est conduit en AB avec utilisation de produits de biocontrôle⁴ à faible impact vis-à-vis de la faune auxiliaire (confusion sexuelle, argile, virus de la granulose, soufre) et de faibles doses de cuivre (0.5 kg de cuivre métal par application).

³ https://umr-absys.cirad.fr/content/download/4149/31272/version/1/file/Livret+ALTO+Restincli%C3%A8res_Fr+16.03.2020.pdf

⁴ Produits listés en 'biocontrôle' dans le cadre d'Ecophyto, plan national pour la réduction de l'utilisation des pesticides



- Gotheron (44.974908 ; 4. 929971) : Créé *de novo* à partir d'ateliers multi-acteurs, de l'expertise de personnes ressources et du groupe pilote (Penvern et al., 2018), ce verger co-conçu a été implanté en février 2018. Il est constitué de 9 cercles concentriques alternant les espèces fruitières entre cercles et les variétés sur chaque cercle, ainsi que des infrastructures agroécologiques (mare centrale, haies, plantes aromatiques, habitats) pour une surface totale de 1,7 ha⁵. Des fonctions particulières (production, brise-vent, barrière, ressource pour les auxiliaires, fertilisation, effets répulsifs, diversion etc.) sont visées par certains cercles, assemblages de plantes ou variétés (Simon et al., 2019). Aucun pesticide et aucun produit de biocontrôle n'est utilisé dans ce verger où seules des méthodes de prophylaxie, mécaniques ou manuelles, sont mises en œuvre.

2.2 Suivis expérimentaux

Certains suivis réalisés sont communs, d'autres ont été spécifiques aux sites, en fonction des objectifs, de l'âge des vergers et des tailles de parcelle. Les suivis de ravageurs et auxiliaires sur pommier ont été harmonisés entre sites.

-Variables architecturales et agrophysiologiques (Restinclières) : nombre de branches c'est-à-dire d'insertions directes sur le tronc, nombre d'inflorescences, taux de nouaison, surface de section de tronc et de branches (diamètre > 0,5 cm), retour à fleur et croissance des fruits en cours de saison.

-Variables agronomiques : rendement et qualité des fruits (Balandran, Gotheron).

-Variables technico-économiques (Balandran, Gotheron) : temps de travail, temps de machinisme, quantité d'intrants dont utilisation des pesticides mesurée par l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT, nombre annuel de doses homologuées appliquées). Le coût de production a été calculé en marge brute. Le chiffre d'affaires a été estimé à partir des prix de vente des fruits dans les structures locales ou régionales (MIN, vente directe) : l'information est précisée sur les figures présentées.

-Bio-agresseurs du pommier (3 sites) : L'abondance (nombre de pucerons par rameau) et/ou l'incidence (proportion de rameaux infestés) du **puceron cendré** ont été suivis au printemps, (i) sur fondatrices en tant que proxy de l'intensité du vol de retour de l'automne précédent (10 bourgeons/arbre, Gotheron) et (ii) tous les 10-12 jours lors du développement des colonies (notation par classe) jusqu'à la migration, sur 2 rameaux par arbre pris au hasard, avec au minimum 30 rameaux par modalité ou variété (en général 5 dates de relevé par an, 3 sites). Pour évaluer l'impact agronomique de l'infestation du puceron cendré, une notation de la sévérité des symptômes à l'échelle de l'arbre (% rameaux avec dégâts, estimation par classes) a également été réalisée. Les dégâts sur fruits de **carpocapse** ont été évalués par observation visuelle en fin de première génération et/ou à la récolte dès l'entrée en production des vergers. Les dégâts des autres ravageurs, maladies et dégâts physiologiques ou climatiques (piqûres de punaises, tavelure, coups de soleil...) ont été notés à la récolte.

-Biodiversité : La diversité de la ressource florale a été évaluée par identification visuelle bi-mensuelle des espèces spontanées ou implantées en fleur dans le verger (Balandran, Gotheron). Les suivis des groupes fonctionnels d'auxiliaires (araignées, forficules, punaises prédatrices, Cantharidae, chrysopes, coccinelles, syrphes, hyménoptères parasitoïdes etc.) ont été réalisés sur pommier par battage (Balandran) ou lors des observations visuelles de rameaux au printemps (suivis puceron cendré, 3 sites).

-Prédation et parasitisme : Des cartes de prédation avec des proies sentinelles d'œufs de carpocapse et des pucerons ont été exposées dans les 3 sites lors de 2 sessions au printemps (sauf exception, cf covid) selon le protocole de Thomas et al. (2018). Une petite taille des larves de carpocapse piégées dans des bandes-pièges en carton ondulé sur les troncs des pommiers est considérée comme un indicateur de parasitisme (Maalouly, 2013).

⁵ <https://ueri.paca.hub.inrae.fr/contrats-et-projets/expe-dephy-ecophyto-ii-alto>
<https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/systeme-module-1-inrae-ueri-gotheron-alto>



2.3 Analyse des suivis expérimentaux

Quel que soit le type de variables (agrophysiologiques et architecturales au niveau de l'arbre, ou entomologiques et relations arbres-arthropodes), les analyses ont été faites en tenant compte des distributions statistiques. Dans le cas où les hypothèses de normalité des distributions étaient satisfaites, les tests paramétriques usuels (test de Fisher, et si différence significative, test post-hoc de comparaisons multiples des moyennes) ou des modèles mixtes (GLMM) ont été utilisés. Dans les autres cas, des tests non-paramétriques ont été choisis (Kruskal-Wallis ou Mann-Whitney selon le nombre de modalités pour les variables d'abondance ; tests de χ^2 pour les distributions de rameaux en classes d'infestation). Le seuil de significativité a été fixé à $P < 0.01$ sauf pour les variables entomologiques ($P < 0.05$).

2.4 Analyse de l'activité d'observation dans des espaces diversifiés

L'activité d'observation est incontournable dans des systèmes complexes qui sont plus incertains du fait des très nombreuses interactions possibles. L'hypothèse de travail était que la diversité des cultures et des plantes associées, ainsi que leur agencement spatial, modifient la façon d'observer et donc d'agir et de travailler dans le verger. L'étude a été réalisée en 2020 avec les équipes de Gotheron et Balandran qui étaient familières de l'activité en vergers classiques monovariétaux : interviews, observation *in situ* lors d'interventions culturelles dans les vergers diversifiés expérimentés et de réunions collectives sur les tâches à réaliser. L'analyse s'est focalisée sur les observations réalisées (lesquelles ? sur quoi ? comment ? où ?) lors des opérations conduites par les équipes dans les vergers ALTO et sur le travail collectif d'échange d'informations et d'observations.

2.5 Partage de connaissances et d'expériences : Les Cafés Agro

Depuis 2019, deux à trois Cafés Agro thématiques ont été organisés chaque hiver, à l'initiative des unités INRAE UERI Gotheron et Ecodéveloppement, et de partenaires du projet ALTO. Ces temps d'échange sur une demi-journée visent un partage d'expérience autour d'une thématique agroécologique pour la diversification du verger (ex. les plantes aromatiques pour le verger, faire pâturer des animaux en verger etc.⁶). Ils associent des invités⁷ du jour (chercheurs, agriculteurs, transformateurs etc. selon la thématique) qui témoignent en 'live' de leur expérience, 30 à 40 participants qui viennent (se) questionner et apporter également leur expérience, et deux personnes en charge de l'animation qui orchestrent les échanges autour d'un café. Onze Cafés Agro ont été organisés à Gotheron ou sur d'autres sites, dont des exploitations agricoles, afin de proposer une visite de terrain en lien avec la thématique du jour. Les invitations aux Cafés Agro sont diffusées en direction des agriculteurs via des réseaux et bulletins agricoles et des participants aux précédents Cafés Agro. La participation est gratuite et ouverte à tous les acteurs du monde agricole. Une synthèse du Café Agro du jour est ensuite mise à disposition sur le site web de l'UERI de Gotheron⁶. Les thématiques ont été déterminées sur proposition des participants ou des animateurs en fonction des compétences et ressources disponibles.

Pour comprendre ce qui se jouait dans ces échanges, une observation participante⁸ des réunions d'organisation et de plusieurs Cafés Agro a été réalisée tout au long du projet, ainsi que des entretiens auprès de deux personnes organisatrices des Cafés Agro et de 15 agriculteurs et agricultrices ayant participé à un ou plusieurs Cafés Agro (Szklarek, 2021). L'objectif était de porter un regard réflexif sur un dispositif original en cours de construction et de comprendre en quoi il pouvait contribuer à la production et l'appropriation de savoirs sur les systèmes agroécologiques diversifiés.

⁶ <https://ueri.paca.hub.inrae.fr/actualites>

⁷ Le texte est écrit au masculin générique pour faciliter la lecture, mais les personnes dénommées par leur métier et/ou leur rôle appartiennent à une diversité de genres.

⁸ L'observation participante est une observation directe par le chercheur qui s'implique dans la situation étudiée en y contribuant et en posant des questions pour mieux la comprendre.



3. Résultats et discussion

3.1. Partage des ressources en agroforesterie : effet de la réduction de lumière sur la croissance et la fructification du pommier (site de Restinclières)

La présence d'arbres forestiers modifie le microclimat, en limitant l'amplitude de température : les températures sont plus élevées la nuit et plus basses en journée par rapport à une situation sans frondaison haute (données non présentées). Le Photosynthetic Active Radiation (PAR) (Pitchers et al., 2021) mesuré pour évaluer la réduction de lumière montre des différences marquées entre modalités : pommiers entre rangs, « Moderate Light » ($n=69$; 1124 ± 182 MJ PAR.m²), pommiers sur le rang de noyers, « Low Light » ($n=23$; 600 ± 138 MJ PAR.m²), et pommiers témoins sans noyers, « Full Light » ($n=20$; 1671 ± 120 MJ of PAR.m²). Dans toute cette étude, la charge en fruit des pommiers a été ajustée chaque année à 5 fruits/cm² de section de tronc permettant ainsi une comparaison fiable entre modalités. Le nombre de branches principales par pommier ne diffère pas entre modalités étudiées (20 à 25 branches par arbre) mais elles sont plus fines et moins ramifiées en agroforesterie (Pitchers et al., 2021). En revanche, sur la période 2018-2023, le nombre d'inflorescences par arbre est significativement plus faible en agroforesterie, à l'exception de 2022 (pas de différence), avec une moyenne de 150 et 210 inflorescences, respectivement, dans les modalités agroforesterie sur le rang et agroforesterie en inter-rang, par rapport au témoin qui présente en moyenne 360 inflorescences par pommier (Figure 2). Ceci peut s'expliquer par un moindre retour à fleur en agroforesterie, probablement en lien avec un effet dépressif de la réduction de lumière et, dans la modalité agroforesterie sur le rang, par un ratio nombre d'inflorescences/croissance végétative (mesurée en cm² de section de branche) plus faible. En revanche, la croissance des fruits au cours de la saison est identique quelle que soit la modalité. Par ailleurs, un effet hautement significatif de l'agroforesterie sur la réduction des coups de soleil a été montré en juin 2019, sur les pommiers âgés de 4 ans, lors d'un pic de température de 44°C sur cette même parcelle. Il y avait environ 25%, 18% et 1% de fruits brûlés par le soleil sur les arbres des modalités témoin (Full Light), agroforesterie inter-rang (Moderate Light) et agroforesterie sur le rang (Low Light), respectivement (Lauri et al., 2022).

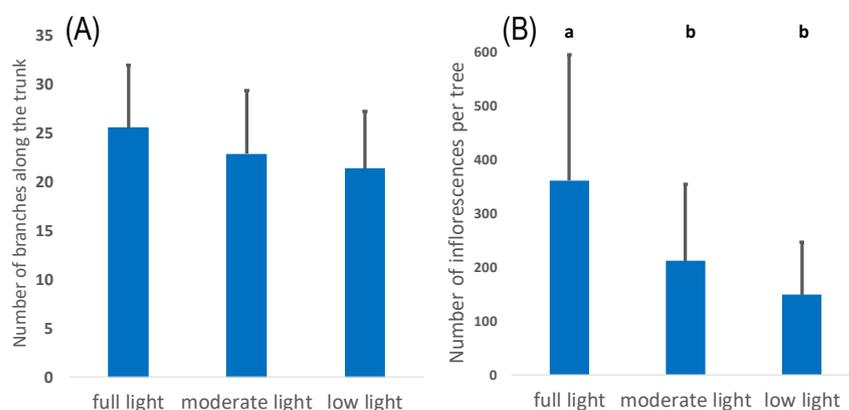


Figure 2 : Croissance végétative et reproductive de pommiers 'Dalinette' durant leur 6^{ème} année de croissance (2021), selon différentes situations d'agroforesterie : (A) Nombre de branches et (B) Nombre d'inflorescences par arbre, Moyenne + SD ($n=20$, 69, 23 pour les modalités témoin (Full Light), agroforesterie inter-rang (Moderate Light) et agroforesterie sur le rang (Low Light), respectivement). En cas de différence significative entre modalités, les moyennes avec la même lettre ne se différencient pas significativement au seuil de $P=0.01$ (d'après Ricard et al., 2022b).

En résumé de cette étude agrophysiologique de fruitiers sous frondaison en contexte tempéré, le volume global du pommier (hauteur de l'arbre, nombre de branches principales) n'est pas ou peu modifié par la réduction de lumière sous frondaison mais la géométrie des axes (variable d'élançement) et la reproduction ainsi que l'équilibre végétatif/reproductif sont négativement affectés par l'ombre. Ces premiers résultats indiquent d'ores et déjà des pistes d'expérimentation sur les modalités de l'association



-Diversité des auxiliaires : Un cortège d'auxiliaires diversifié est présent sur les 3 sites : Chiroptères, oiseaux (données non présentées) et arthropodes. Un focus sur les aphidiphages atteste de la présence des groupes usuels (syrphes, coccinelles, cécidomyies, forficules) et de leur arrivée séquentielle déjà décrite dans les vergers du Sud de la France (Miñarro et al., 2005 ; cf § 3.2.2). Les araignées sont un groupe abondant et diversifié, en particulier à l'automne (e.g., Gotheron 2019, Figure 4).

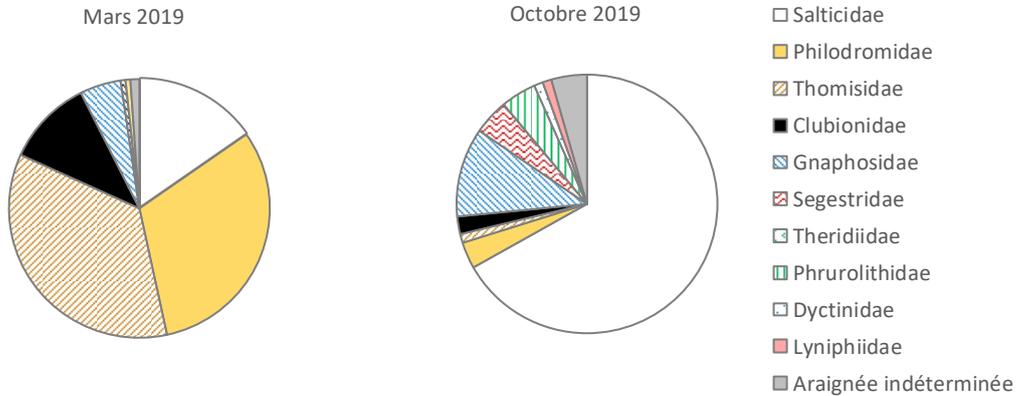


Figure 4 : Diversité des araignées dans les bandes-pièges, Gotheron, 2019. Le nombre moyen d'araignées est 3,8 and 1,9 araignées par bande-piège en mars et en octobre, respectivement.

3.2.2. Régulation des ravageurs

- Effet de la situation agroforestière

A Restinclières, l'incidence et l'abondance du puceron cendré est moindre au pic d'infestation en 2021 et 2022 dans les modalités agroforestières (sur le rang ou entre rangs) par rapport au témoin sans noyers, sans différenciation des modalités en tout début d'infestation ce qui traduit un effet barrière limité des arbres forestiers lors du vol de retour de ce puceron sur pommier (Sarhou et al., 2022). De même, aucune différence entre modalités n'est observée pour le carpocapse en fin de 1^{ère} génération. Les différences observées peuvent s'expliquer par un microclimat différent (lumière, température), par la présence accrue d'auxiliaires et/ou des conditions d'environnement moins favorables : par exemple, pommiers hôtes moins favorables en situation agroforestière, ou effet disruptif des Composés Organiques Volatiles émis par les noyers. Les suivis réalisés ne permettent pas de privilégier l'une ou l'autre de ces hypothèses.

- Régulation du puceron cendré

Un effet spatial est noté à Balandran avec une infestation moindre dans la parcelle interplantée d'oliviers, proche d'une zone de biodiversité, par rapport à la parcelle d'abricotiers ($P < 0.001$), que ce soit à l'échelle du rameau (Fig. 5A) ou de l'arbre (données non présentées). Les principaux auxiliaires au pic d'infestation du puceron sont les coccinelles et les punaises prédatrices (Figure 5B), et la dynamique temporelle atteste d'une relation proie-dépendante. Une présence accrue de fourmis est notée dans la parcelle pommiers-abricotiers qui est la plus infestée par le puceron cendré (Mann-Whitney test, $P < 0.01$; données non présentées).

A Gotheron, l'infestation par le puceron cendré est moyenne à élevée (2019 à 2021), en phase juvénile du verger. Dès 2022 (5^e feuille), l'infestation est faible (Figure 6) ; la variété la plus infestée est Akane. Sur Florina, variété résistante installée en bordure de verger, le nombre de bourgeons infestés au débourrement est équivalent à celui d'Akane (47.0 vs. 42.4% de bourgeons infestés en 2021), mais il n'y a ensuite aucun développement des colonies, attestant que Florina est hôte du puceron cendré à son vol de retour mais aussi une variété 'cul de sac' pour ce ravageur. L'effet barrière de l'alternance de rangs de pommiers avec d'autres espèces fruitières est faible dans cette phase juvénile du verger même si en



2021 les pommiers en situation périphérique tendent à être plus infestés que ceux à l'intérieur de la parcelle. La faible infestation en 2022 et 2023 ne permet pas d'approfondir la question.

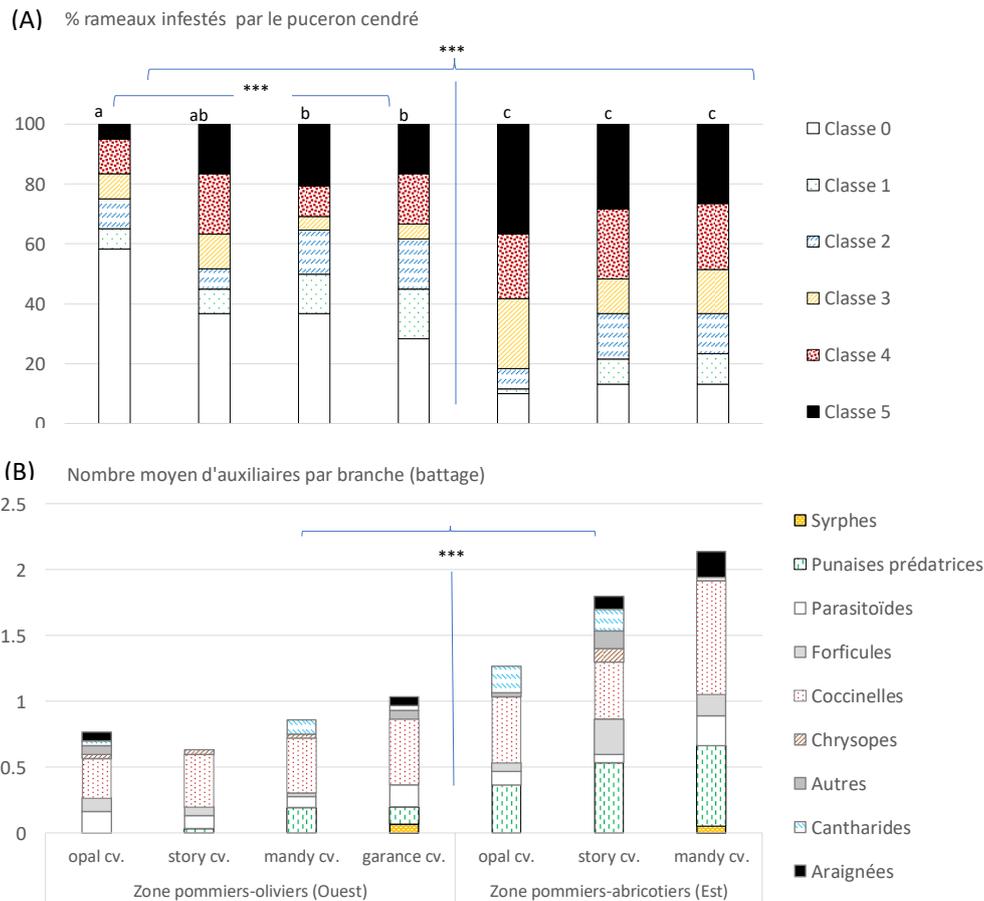
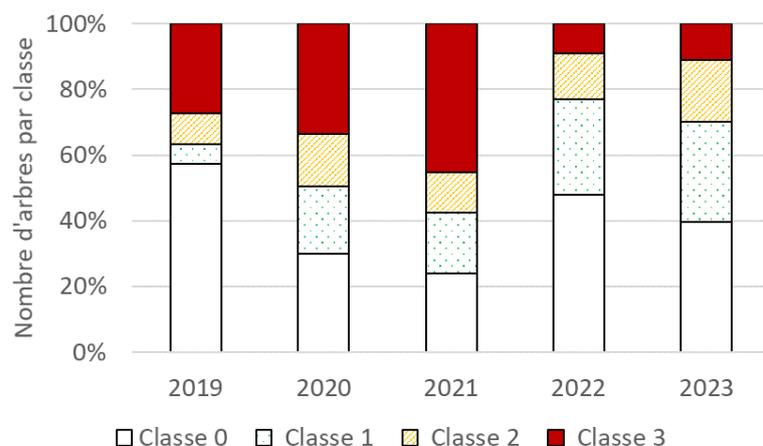


Figure 5 : Abondance du puceron cendré et des auxiliaires recensés à Balandran respectivement par observation visuelle (17 mai 2021) et battage (20 mai 2021) : (A) Proportion (%) de rameaux dans les différentes classes d'infestation (classe 0 : 0 puceron; classe 1 : 1-5; classe 2 : 6-25; classe 3 : 26-50; classe 4 : 51-125; classe 5 : >125 pucerons) ; (B) Nombre moyen d'auxiliaires par branche. *** Différence significative ($P < 0.001$).

Figure 6 : Sévérité de l'infestation de puceron cendré du pommier à l'échelle de l'arbre, Gotheron 2019-2023, pic d'infestation ($n = 212$ pommiers). Classe 0 : pas de rameau avec symptômes ; Classe 1 : 1-10% ; Classe 2 : 11-50% et Classe 3 : > 50% de rameaux avec symptômes d'infestation.



L'exposition de proies sentinelles (cartes de prédation puceron et carpocapse) est commune aux 3 sites. La prédation est généralement plus élevée en juin par rapport à mai, et sur pucerons que sur œufs de carpocapse. Les taux de prédation sont globalement élevés (Gotheron, Figure 7 ; taux de prédation



similaires à Balandran et Restinclières) par rapport à des valeurs de la littérature en verger (Ricci et al, 2019). Le taux de parasitisme des larves de carpocapse à Gotheron est également élevé avec 27% à l'échelle de la saison en 2022 et 2023, et 53% de larves parasitées dans les bandes-pièges à l'automne 2022, ce qui est élevé par rapport aux valeurs généralement observées en verger (Maalouly, 2013).

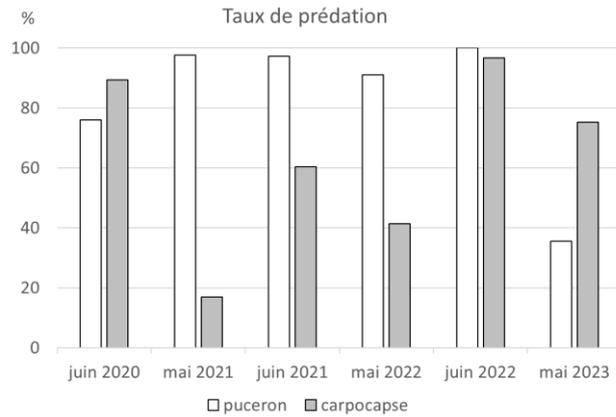


Figure 7 : Taux de prédation de proies sentinelles, Gotheron (2020-2023).

En synthèse, les travaux réalisés indiquent que la combinaison de ressources florales, d'aménagements pour la biodiversité et des pratiques à très faibles IFT s'accompagnent d'une présence abondante d'auxiliaires, et de taux de prédation élevés. La régulation du puceron cendré est plus ou moins importante selon les sites et les années ; elle dépend également d'autres facteurs tels que la présence d'arbres forestiers (Restinclières), de la proximité d'une zone à forte biodiversité, de l'espèce fruitière associée et/ou des fourmis (Balandran), de la variété de pommiers et potentiellement de la situation au sein du verger (Gotheron). Le temps nécessaire à la mise en place de processus de biorégulation est long, de l'ordre de plusieurs années (Bostanian et al., 2004), mais les premiers relevés attestent du potentiel d'espaces diversifiés et riches en ressources pour les auxiliaires dans le contrôle de ravageurs tels que les pucerons fruitiers, à confirmer dans la durée.

3.1 Installation et performance des vergers

Les événements marquants ayant affecté le verger sont tout d'abord climatiques : neige et grêle en 2019 (Gotheron), fort gel des fruits à noyau en 2021 (Gotheron et Balandran), et moindre en 2020 (Balandran) et 2022 (Gotheron), stress thermique en fin d'été 2023 (Gotheron). Ces événements ont fortement affecté la production, avec des entrées en production décalées sur ces deux sites, voire un effet favorisant l'entrée en alternance des pommiers.

3.2.1. Implantation et croissance des arbres

Les arbres en interculture (Balandran) ou dans le verger circulaire (Gotheron) se sont bien implantés. A Gotheron, l'Enroulement Chlorotique de l'Abricotier est à l'origine de mortalité des abricotiers avec un total cumulé de 28% d'arbres morts en 2023 (soit environ 5% de mortalité par an, dans une région où la pression de ce bioagresseur est élevée) : cette pression sanitaire remet en question la culture de cette espèce.

3.2.2. Utilisation des pesticides

L'IFT total et de biocontrôle est égal à 0 à Gotheron, verger '0 phyto'. A Balandran, un IFT biocontrôle moyen de 12,7 (0 IFT hors biocontrôle) a été appliqué sur pommiers en production (2020-2023), essentiellement dû au virus de la granulose (aucun aphicide). Les IFT de biocontrôle abricotiers, pêcheurs et oliviers varient de 2 à 10, avec une tendance à la baisse (moyenne 2019-2023 entre 6 et 7 IFT biocontrôle), et le cuivre rajoute en moyenne un IFT hors biocontrôle de 1,2 (olivier), 0,4 (abricotier) et 0,6 (pêcher).



3.2.3. Rendements et qualité des fruits

A Gotheron, l'entrée en production est échelonnée depuis les petits fruits, les amandiers et les figuiers (2^e ou 3^e année) jusqu'aux pommiers et fruits à noyau (4^e à 6^e année selon gel). Les rendements 2023 sont faibles (Figure 8A) et les proportions de déchets sont élevées (ex. 25% de déchets, principalement dus au carpocapse et aux punaises sur pommiers, espèce la plus impactée) mais restent relativement modérées et stables en l'absence de toute protection chimique ou de biocontrôle (le niveau d'infestation sans protection peut atteindre 80 à 100%, obs. pers.). Les punaises ont occasionné des dégâts élevés sur pomme tardive en 2023.

A Balandran, les pommiers sont entrés en production rapidement bien que l'année 2023 marque une diminution du rendement du fait d'un mauvais retour à fleurs et d'un problème de campagnols (Figure 8B). Oliviers, pêchers et abricotiers, déjà en production, montrent une certaine irrégularité due à l'alternance (olivier) et des dégâts de gel en 2020 et 2021 (fruits à noyau), combinés en pêcher à un impact important des pucerons farineux et du monilia sur fruit (<https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/systeme-module-1-ctifl-balandran-alto>). Pour les autres espèces telles que figuiers et plaqueminiers, la production monte en puissance. Toutes espèces confondues, le taux de déchets (verger et station) est de l'ordre de 25% de la production brute des arbres. En termes de qualité commerciale, la part d'industrie est de 19% en 2022.

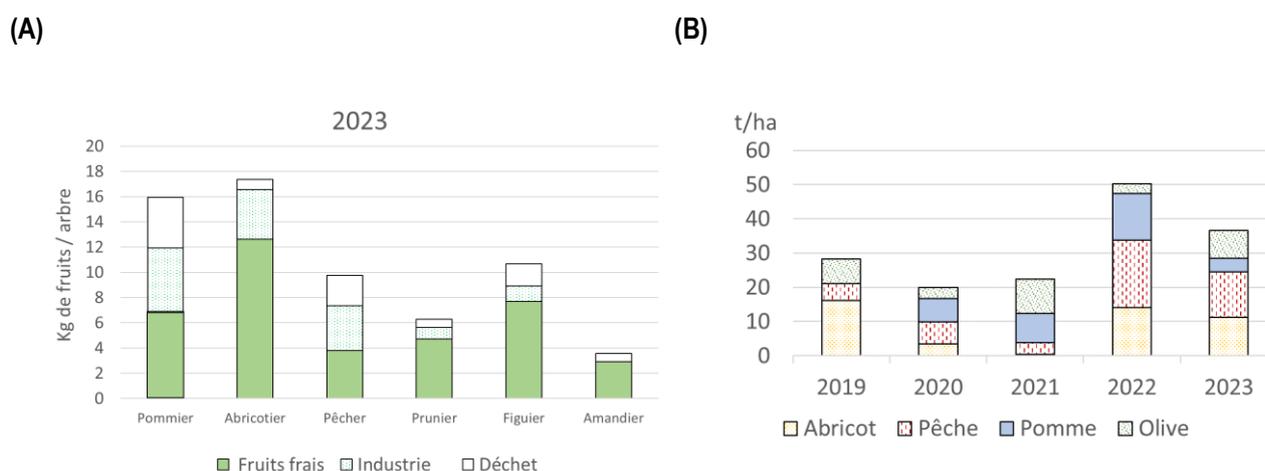


Figure 8 : Rendement des principales espèces (A) Verger de Gotheron, 2023, dont catégories commerciales (la configuration du verger ne permet pas de rendre compte des productions par ha) ; (B) Verger de Balandran, rendement commercialisable des 4 espèces principales 2019-2023.

Les niveaux de production des vergers sont parfois faibles et irréguliers, en lien avec des événements climatiques et certains bio-agresseurs. La diversité des espèces permet toutefois d'assurer une production agricole quelle que soit l'année, avec une contribution variable des différentes espèces au chiffre d'affaires en fonction des aléas (gel, alternance de production, dégât de bioagresseurs). Par ailleurs, les niveaux de dégâts restent 'raisonnables' en regard de la protection réalisée (IFT nul à Gotheron ou très faible à Balandran) même s'ils sont élevés par rapport à un objectif commercial. Une valorisation forte des productions (ex. vente directe) est un des moyens d'assurer une marge brute positive à Balandran -hors année de gel (simulation économique, données non présentées, cf <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/systeme-module-1-ctifl-balandran-alto>).

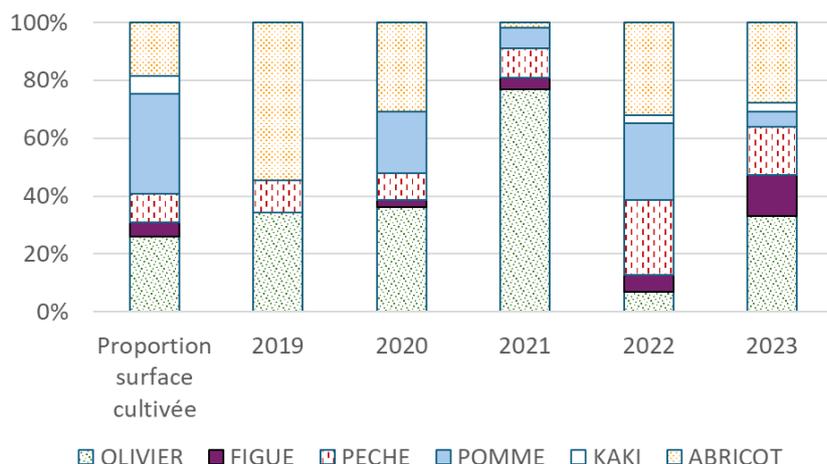


Figure 9 : Contribution des espèces cultivées au chiffre d'affaires du système selon les années pour le dispositif de Balandran : chiffre d'affaires estimé par simulation en utilisant les cours AB par période du Réseau des Nouvelles du Marché (RNM), expédition sud-est (<https://rnm.franceagrimer.fr/>).

3.2.4. Evaluation multicritère

S'il est relativement 'simple' de rendre compte d'un niveau de rendement en monoculture, l'évaluation des performances de vergers multi-productions de manière multicritère est complexe et sans références.

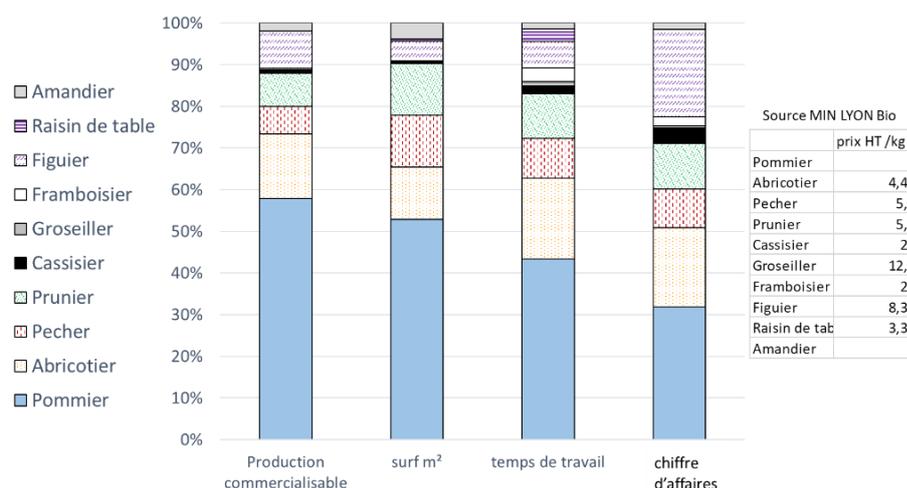


Figure 10 : Format de représentation des performances 2023 du verger de Gotheron pour les critères production, occupation du sol, temps de travail et chiffre d'affaires estimé par simulation en utilisant les prix par période sur le MIN de Lyon pour les fruits AB (formalisme et données en cours de travail).

Une des propositions issue d'ateliers dans le cadre du projet (Figure 10) est de mettre en regard production, surface mobilisée, temps de travail et chiffre d'affaires (Alaphilippe et al., 2023). Ce schéma pointe les faibles rendements des pruniers (entrée en production) et des pêcheurs en proportion du volume de production globale et de surface occupée que ces espèces représentent. Il permet également de considérer l'investissement en temps de travail en regard du chiffre d'affaires et souligne des profils d'espèces fruitières très différents, par exemple les pommes (production de volumes, rémunération peu élevée) et les figues (peu de surface, forte rémunération car marché de niche mais temps de travail élevé).

Il reste encore à rendre compte des autres aménités positives de tels espaces de production pour la biodiversité ordinaire (ex. contribution aux trames vertes, création d'habitats) voire patrimoniale : cette dernière dimension, travaillée dans le cadre d'ateliers est encore à développer (formalisme non présenté).

3.2 Analyse de l'activité d'observation en verger diversifié

Certaines des observations réalisées dans le verger sont nécessaires pour réaliser une tâche (ex. observer un arbre pour tailler) ou sont dédiées à un suivi expérimental (ex. comptage de rameaux infestés). Mais une observation 'vigilante' non ciblée est également conduite implicitement durant diverses



autres activités en verger diversifié (Figure 11 ; Penvern et al., 2022). Il s'agit d'une observation en continu et incorporée, c'est-à-dire réalisée sans conscience de sa pratique : elle n'est par exemple jamais mentionnée par les opérateurs qui décrivent leur travail dans le verger.

Cette observation vigilante est mobilisée pour détecter des situations inattendues mais également pour faire un diagnostic de la situation et prendre des décisions concernant l'opération en cours, celles à venir ou pour optimiser la conduite du verger. L'analyse montre que dans un verger multi-espèces, elle tient un rôle crucial pour suivre en continu l'ensemble du verger et permettre une gestion adaptative en réponse à d'inévitables imprévus. Un partage plus large de ces observations vigilantes permettrait de construire des repères spatiaux et techniques, en vue d'optimiser, dans le collectif, le pilotage de ces vergers diversifiés et complexes.

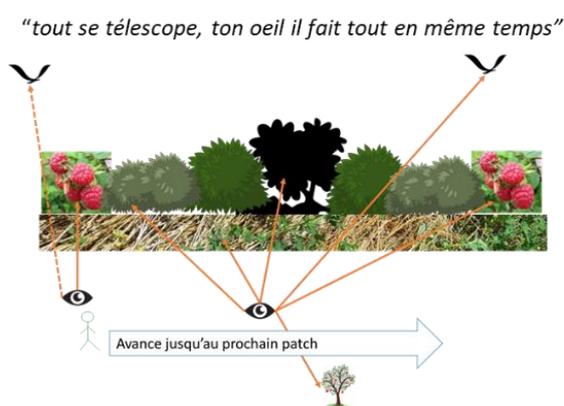
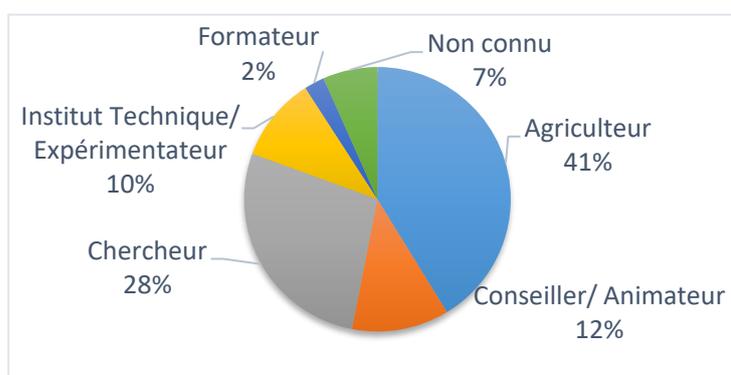


Figure 11 : Illustration d'observation vigilante lors de la récolte des framboises à Gotheron (2020). Si l'opérateur reste focalisé sur l'identification des framboises mûres à récolter, il observe également d'autres strates dans le verger et reste réceptif à des événements de l'environnement qui lui semblent notables (d'après Penvern, Legendre et al., 2022).

3.3 Les Cafés Agro : un dispositif de partage d'expériences sur des innovations de diversification du verger

Le projet ALTO s'est accompagné d'un ensemble d'animations et d'interactions au sein du groupe de partenaires et avec un public diversifié, dans et hors filière, incluant les apprenants : ateliers de co-conception des aménagements des vergers expérimentaux, des futurs prototypes à expérimenter ou des méthodologies d'évaluation de systèmes multi-productions ; visites thématiques (300-700 personnes/an pour les 3 sites) ; communications et interviews dans la presse et les médias spécialisés ou généralistes, etc. Le focus de ce paragraphe considère un dispositif innovant de partage d'expériences : les Cafés Agro. Développés dans le cadre du projet, ils visent à proposer des temps d'échange qui renouvellent les formats d'échange entre scientifiques et acteurs du monde agricole autour de pratiques innovantes et complexes pour concevoir ou piloter des vergers agroécologiques. Les participants ont principalement été des agriculteurs ou futurs agriculteurs, chercheurs, expérimentateurs, conseillers ou animateurs de collectif agricole et formateurs (Figure 12).

Figure 12 : Répartition des participants aux Cafés Agro dans les différentes professions, d'après information à l'inscription (2019-2023).



L'analyse du dispositif montre comment s'y articulent plusieurs ingrédients et processus qui peuvent contribuer à la production et l'appropriation de savoirs sur les systèmes agroécologiques diversifiés (Cardona et al, soumis). Le nombre de participants (entre 30 et 40) et le format facilitent l'expression de chacun et donc l'échange au sein d'un groupe de taille moyenne. Parce qu'ils permettent le partage



d'expérience entre des participants aux métiers et expériences variés, les Cafés Agro favorisent la prise de recul de chacun par rapport à ses propres pratiques et expériences en regard de celles des autres, et réciproquement.

« C'est toujours très intéressant d'avoir la vision de la personne qui a cette pratique et pourquoi il l'a fait. Ça permet des fois d'avoir une idée sur autre chose » (Entretien agriculteur, 2021) ; « Cet élargissement je pense des intervenants [...] c'est une prise de conscience qu'il faut des éclairages différents, des contre poids, des choses comme ça, pour la richesse de la discussion » (Entretien animatrice Café Agro, 2021).

Ils permettent également l'exploration de pratiques innovantes car le dispositif et l'animation des Cafés Agros ont été pensés en vue de faciliter la compréhension des différentes dimensions des pratiques mises en discussion. La préparation en amont permet ainsi d'identifier les différents enjeux à traiter et les animateurs effectuent des relances pour les aborder successivement. La visite de terrain en fin de Café Agro permet une approche concrète de la pratique abordée précédemment en salle. Par ailleurs, l'animation du temps d'échange en salle permet de mettre en relation des séries de témoignages qui peuvent corroborer l'intérêt d'une pratique (Goulet, 2017) entre personnes de métiers différents, et/ou de différentes filières (ex. complémentarité pâturage-cultures), ou d'y apporter des nuances : les animateurs font expliciter autant que possible à chaque témoin les conditions (agronomiques, écologiques, économiques, etc.) de son expérience. Il s'agit de permettre à chacun de créer son propre système ou sa propre pratique en s'inspirant de ces séries de témoignages. Dans un contexte d'absence de connaissances stabilisées et de références sur des systèmes innovants et complexes, ils ont pu contribuer, en complémentarité avec d'autres formats et sources d'information (formations, internet...) à la création d'une communauté de pratiques (Wenger, 2005). En effet, les participants des Cafés Agro s'engagent dans un rapport d'entraide en partageant leurs expériences, ils partagent une pratique commune (la conduite et l'expérimentation de pratiques contribuant à la diversification de systèmes agroécologiques) et ils produisent ensemble un répertoire de ressources communes (témoignages partagés, synthèse des Cafés Agros).

Ces Cafés Agro seront prolongés dans leur format actuel au-delà du projet par les porteurs de l'action. Leur démultiplication serait également une façon de toucher un public plus large ou plus éloigné : les conditions de cette démultiplication restent à explorer.

4. Conclusion

Le projet ALTO est un projet prospectif qui a exploré les mérites et les limites de systèmes multi-productions et multi-fonctions très bas intrants dans une approche 'preuve de concept'. Ces systèmes sont basés sur le renforcement des services écosystémiques, permis par une diversification des espèces et variétés fruitières, et des plantes associées. Les vergers agroécologiques co-conçus puis mis en expérimentation sont encore jeunes et leurs performances restent à évaluer dans le temps, d'autant que les processus de régulation biologique sont longs à se mettre en place dans les agroécosystèmes (Bostanian et al., 2004). Les premiers résultats ont toutefois permis d'établir que : i) la conception de systèmes agroforestiers fruitiers nécessite d'ajuster la réduction de lumière due à la frondaison forestière pour trouver un compromis entre réduction de la floraison de l'arbre fruitier (ici, le pommier) et diminution des coups de soleil sur fruit en période de canicule ; ii) La diversité des ressources et des habitats s'accompagne d'une abondance et d'une diversité d'auxiliaires, et de taux de prédation élevés. La régulation de ravageurs tels que les pucerons semble s'installer après la phase juvénile du verger, plus sensible ; iii) La diversification des espèces fruitières est également un moyen de limiter l'impact économique d'événements climatiques tels que le gel (toutes les espèces ne sont pas affectées) ; iv) Dans des vergers très diversifiés où des stratégies adaptatives sont nécessaires, une observation de type 'oeil vigilant' est une activité-clé de la conduite et de l'amélioration du système ; v) Le partage d'expériences entre agriculteurs, acteurs de l'amont et de l'aval et scientifiques, et entre filières, est important pour concevoir et piloter des vergers diversifiés innovants, dans un contexte de manque de



connaissances ou de connaissances dispersées et portées par un ensemble d'acteurs ; 6) La démarche questionne les références techniques établies en monoculture, et les méthodologies d'évaluation multicritère et multi-productions, pour différents pas de temps de la vie du verger.

Repenser l'espace de production et son 'design' spatio-temporel questionne les pratiques, le travail et son organisation, ainsi que la valorisation commerciale de productions de fruits diverses, en plus petites quantités et parfois irrégulières. Ces prototypes expérimentaux ne sont pas à transposer en l'état : ce qui est appropriable est la démarche et les principes de conception (fonctions attendues, caractéristiques de plantes pouvant les remplir, critères d'assemblage) pour que les professionnels puissent construire d'autres systèmes 'sur mesure' en fonction de leurs objectifs et contexte.

Une telle démarche est donc intense en connaissances en rapport avec l'ensemble des dimensions à considérer et la complexité des processus en jeu. Si des développements sont encore nécessaires, elle a permis ; i) de rassembler dans un objectif commun des chercheurs de différentes disciplines et des acteurs du territoire et de la filière dans une approche transdisciplinaire et ii) d'ouvrir les sites expérimentaux et de partager expériences, connaissances et questions avec un public professionnel diversifié, pour l'élaboration de pratiques et de systèmes diversifiés innovants dans un cadre de transition agroécologique et un contexte de changement climatique.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès des auteurs de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCIDs des auteurs

Cardona A : <https://orcid.org/0000-0001-6663-4485>

Dufils A : <https://orcid.org/0000-0001-7495-6003>

Franck P : <https://orcid.org/0000-0002-1904-8325>

Gautier H : <https://orcid.org/0000-0002-0708-6906>

Lauri PE : <https://orcid.org/0000-0002-7549-0484>

Ricci B : <https://orcid.org/0000-0002-8661-4200>

Parveaud CE : <https://orcid.org/0000-0003-2489-5657>

Penvern S : <https://orcid.org/0000-0001-7717-2626>

Simon S : <https://orcid.org/0000-0003-4409-8604>

Warlop F : <https://orcid.org/0000-0002-3574-4339>

Contributions des auteurs

L'ensemble des partenaires a participé à des ateliers de co-conception, groupes de travail, Comité de pilotage de projet et temps d'échanges multi-acteurs (dont Cafés Agro) au fil des 6 ans du projet : ces activités ne sont pas reprises ci-dessous.

Ctifl Balandran : Ricard JM : pilote de site expérimental, suivis expérimentaux, analyse des données, accueil visites, écriture article - Michaud M, Millan M et Jay M : suivis expérimentaux, analyse des données

INRAE Ecodéveloppement : Cardona A : suivi et analyse sociologique des Cafés Agro, facilitation d'ateliers, écriture article - Dufils A : organisation et animation Café Agro, organisation et facilitation d'ateliers - Legendre A : travail en ergonomie (stage 2020) - Navarrete M : organisation et facilitation d'ateliers, expertise valorisation productions diversifiées - Penvern S : co-encadrement travail en ergonomie (stage)



INRAE Gotheron : Ensemble de l'équipe : pilotage verger, conception, organisation d'animations multi-acteurs - Alaphilippe A : évaluation multicritère, formats de représentation, ateliers d'évaluation multicritère- Borne S : co-pilote de site expérimental ; concept, organisation et animation Cafés Agro ; traçabilité et gestion des données ; accueil visites et communication ; suivis expérimentaux ; analyse des données ; organisation et facilitation d'ateliers- Galet L, Girard T, Guibert O, Riotord D : conduite du dispositif, suivis expérimentaux ; accueil visites - Morel K, Lecarpentier L : suivis expérimentaux ; analyse des données - Sallée PJ : conduite du dispositif, suivis expérimentaux ; analyse des données ; base de données - Simon S : coordination projet, co-pilote de site expérimental, suivis expérimentaux, analyse des données, démarche co-conception, organisation et facilitation d'ateliers, concept Cafés Agro, accueil visites et communication, écriture article - Rosiès B : gestion des données, préparation livrables, animations multi-acteurs

INRAE UMR ABSys – Restinclières : Lauri PE : pilote de site expérimental, suivis expérimentaux, analyse des données, écriture article - Ricci B : synthèse des relevés entomologiques

INRAE PSH : Franck P (expérimentation cartes prédation), Gomez L, Gautier H (plantes de service), Borg J

INRAE EMMAH : Capowiez Y (suivis lombrics)

EPLFPA Le Valentin : Fichepoil G (participation à l'organisation des Cafés Agro)

INRAE SADAPT : Cerf M (co-encadrement travail en ergonomie)

GRAB : Warlop F (expertise Cafés Agro), Parveaud C-E (intervention Café Agro)

AgribioArdèche : Moirot F (organisation et animation de Cafés Agro)

ITEIPMAI : Fremondière G, Lemaire B (expertise et production plantes aromatiques en plantes de service)

LPO AURA-Drôme : Arlaud C (expertise naturaliste, suivis chauve-souris et oiseaux)

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs remercient l'OFB pour son financement.

Un ensemble de personnes, que nous remercions sincèrement, a également contribué à ces travaux :

- Lydie Dufour, Alain Sellier et Jean-François Bourdoncle (UMR ABSys) pour le suivi technique de la parcelle de Restinclières ;

- les stagiaires et les personnes en CDD et post-doc à Gotheron : Eloïce Moisset (2020), Emilie Perronne (2021), Paul Reymondon (2023) pour les suivis expérimentaux et l'analyse des données ; Jean-Baptiste Février (2019) et Garance Regimbeau (2022) pour l'analyse de la démarche de co-conception ; Caroline Goutines et Roxane Schott (2021) pour la gestion des données ; Tarek Dardouri (2019-2020) pour l'expertise plantes aromatiques.

- les stagiaires et les personnes en CDD à Restinclières : Camille Perseval (2019), Paul Masquin (2020), Marie Dohen (2021) et Hermine Sarthou (2022) sur les régulations biologiques en agroforesterie ; Leslie Fruleux (2016-2017), Anaïs Hubert (2017), Martin Garaux et Lise Valet (2018), Pierre Dul et Pauline Depoortere (2019), Gaël Ledoux (2019-2020), Samuel Roissé (2020), Anne Hervouet, Valérie-Anne Berlo, Lucie Marchand, Elie Mangon, Simon Douard et Jérôme Chappot de la Chanonie (2021), Benjamin Pitchers (2018-2021), Karim Mike Rahhal, Aurora Corti et Valentine Kuhn (2022), Anna Gautier (2023) sur le fonctionnement du pommier en agroforesterie.

- les stagiaires et les personnes en CDD à Balandran : Mélissandre Gabet (2019), Maureen Masson (2020), Florian Angevin (2021), Lola Mottet (2022), Hélène Deguet, Timmy Defert, ainsi que l'équipe « exploitation ».

Merci également à nos collègues en charge de la partie administrative du projet, et à nos interlocuteurs et interlocutrices Dephy qui nous ont accompagné dans ce projet.

Nous sommes enfin largement redevables à toutes les personnes ayant contribué au projet et à sa dynamique : merci aux participantes et participants aux ateliers de co-conception et aux réunions thématiques, aux



intervenantes et intervenants, agriculteurs et agricultrices ayant accueilli des Cafés Agro ou ayant partagé leur expérience dans ce cadre, et à nos visiteurs et visiteuses, pour la richesse des contributions et des échanges.

Déclaration de soutien financier

Le projet ALTO est un projet EXPE DEPHY Ecophyto, action pilotée par le ministère chargé de l'agriculture et le ministère chargé de l'environnement, avec l'appui financier de l'Office Français pour la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto.

Références bibliographiques

- Alaphilippe A., Lefevre A., Borne S., Delaunay J., Graindorge R., Judith R.C., Lauri P.É., Ricard J.M., Simon S., Vanhuffel L., Hua, J. (2023). Rendre compte des performances de systèmes horticoles diversifiés agro-écologiques : construction d'un cadre générique de restitution des résultats avec et pour les agriculteurs. *Revue AE&S* 13(2), 10.
- Bostanian N.J., Goule H., O'Hara J., Masner L., Racette G. (2004). Towards insecticide free apple orchards: Flowering plants to attract beneficial arthropods. *Biocontrol Sci. Technol.* 14(1), 25-37.
- Cardona A., Navarrete M., Chrétien F. Faire dialoguer les expériences pour accompagner l'appropriation de savoirs agroécologiques. Le cas des Cafés Agro. Soumis à Développement durable et Territoires
- Carvalho F.P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security* 6(2), 48–60.
- Deguine J.P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadass A., Aubertot J.-N. (2017). *Agroecological Crop Protection*. 1st ed., 249 p. Springer, Dordrecht. DOI 10.1007/978-94-024-1185-0_1
- Dickler E., Schafermeyer S. (1993). Guidelines for integrated production of pome fruits in Europe. *Acta Hortic.* 347, 83-96.
- Duru M., Therond O., Martin G., Martin-Clouaire R., Magne M.A., Justes É., Journet E.P., Aubertot J.N., Savary S., Bergez J.E., Sarthou J.P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Developm.* 35, 1259-1281.
- Goulet F. (2017). Explorer et partager. Les expériences de réduction des pesticides dans une revue professionnelle agricole. *Economie Rurale* 359, 103-120. <https://doi.org/10.4000/economierurale.5213>
- Hill S.B., MacRae R.J. (1995). Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *J. Sustain. Agric.* 7, 81-87.
- Lauri P.É., Simon S. (2019). Advances and challenges in sustainable apple cultivation. In: *Achieving sustainable cultivation of temperate zone tree fruits and berries*. Volume 2: Case studies, Lang G.A., ed., Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK, p. 261-288.
- Lauri P.É., Pitchers B., Simon S. (2022). Designing a sustainable orchard - Plant diversity as a key and ways to implement it. *Acta Hortic.* 1346, 19-26.
- Lovell S.T., Dupraz C., Gold M., Jose S., Revord R., Stanek E. and Wolz K. (2018). Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforest. Syst.* 92, 1397–1415.
- Maalouly M. (2013). Déterminants du parasitisme larvaire du carpocapse du pommier au Sud Est de la France. Thèse en Sciences agricoles, Université d'Avignon, Français. ffNNT : 2013AVIG0657ff. fftel-01124267
- Malézieux É. (2012). Designing cropping systems from nature. *Agron. Sustain. Developm.* 32 (1), 15–29.
- Miñarro M., Hemptinne J.L., Dapena E. (2005). Colonization of apple orchards by predators of *Dysaphis plantaginea*: sequential arrival, response to prey abundance and consequences for biological control. *BioControl* 50, 403–414.
- Penvern S., Chieze B., Simon S. (2018). Trade-offs between dreams and reality: Agroecological orchard co-design. Proceedings 13th European IFSA Symposium, 1-5 July 2018, Chania (Greece). http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2018/2_Penvern.pdf
- Penvern S., Legendre A., Cerf M., Ricard J.M., Rosies B. and Simon S. (2022). How multi-species and free pesticide orchards affect the observation practice? *Acta Hortic.* 1355, 269-276.



- Pitchers B., Do F.C., Pradal C., Dufour L., Lauri P.É. (2021). Apple tree adaptation to shade in agroforestry: An architectural approach. *Am. J. Bot.* 108(5), 732-743.
- Ricard J.M., Michaud M., Bourdette C. (2022a). Verger multi-espèces ALTO : régulation naturelle du puceron cendré du pommier. *Infos-Ctifl* 378, 28-34.
- Ricard J.M., Lauri P.É., Michaud M., Alaphilippe A., Borne S., Penvern S., Dufils A., Simon S. (2022b). Co-design of agroecological temperate fruit tree systems in France: the ALTO project. *Acta Hort.* 1355, 99-108.
- Ricci B., Lavigne C., Alignier A., Aviron S., Biju-Duval L., Bouvier J.C., Choisis J.P., Franck P., Joannon A., Ladet S., Mezerette F., Plantegenest M., Roger J.L., Savary G., Thomas C., Vialatte A., Petit S. (2019). Local pesticide use intensity conditions landscape effects on biological pest control. *Proceed. Royal Soc. Series B* 286: 20182898. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.2898>
- Sarthou H., Lauri P.-E., Ricci B. (2022). Régulations biologiques en verger agroforestier - Suivi du potentiel de régulation et des dynamiques de bioagresseurs et d'auxiliaires. Mémoire d'ingénieur agronome INP ENSAT - Agro Toulouse. ABSys, Univ Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRAE, Institut Agro Montpellier, <https://hal.inrae.fr/hal-04050760v1>
- Simon S., Bouvier J.-C., Debras J.-F., Sauphanor B. (2010). Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy Sust. Developm.* 30, 139–152.
- Simon S., Alaphilippe A., Borne S., Penvern S., Dufils A., Ricard J.M., Lauri P.É. (2019). Methodology to co-design temperate fruit tree-based agroforestry systems: three case studies in Southern France. Book of abstracts 4th World Congress on Agroforestry, 20-22 May 2019, Montpellier, FRA, 601. <https://agroforestry2019.cirad.fr/replay/book-of-abstracts>
- Szklarek A. (2021). Mise en partage de savoirs et contribution à la transition agroécologique. L'exemple des cafés agro, un dispositif innovant au sein d'une unité expérimentale INRAE. Mémoire de Master, AgroParisTech. hal-03613883
- Thomas C., Cortello J., Lavigne C. (2018). Évaluation du potentiel de régulation biologique en vergers à l'aide de "cartes de prédation", *Le cahier des techniques de l'INRA*, 8 p.
- Vialatte A., Martinet V., Tibi A., Alignier A., Angeon V., Bedoussac L., Bohan D., Bougherara D., Carpentier A., Castagneyrol B., [...] Navarrete M. et al. (2022). Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Rapport scientifique de l'Expertise scientifique collective. (INRAE), 954 p., <https://dx.doi.org/10.17180/q7wm-q442>, <https://hal.inrae.fr/hal-04127709>
- Wenger E. (2005). *La théorie des communautés de pratique*. Presses Université Laval.



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

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* et son DOI, la date de publication.