Système Pommiers en agroforesterie sur le rang des noyers (AFR) - Restinclières - ALTO

Conduite de la vigne et du verger | Fertilité et vie des sols | Gestion paysagère | IAE et lutte biologique par conservation | Mesures prophylactiques | Régulation biologique et biocontrôle | Valorisation des

PARTAGER

Année de publication 2019 (mis à jour le 11 juin 2025)

Carte d'identité du groupe

Structure de l'ingénieur réseau
Agriculture biologique

Nom de l'ingénieur réseau
ALTO

Date d'entrée dans le réseau
Restinclières

- 80 % d'IFT
Objectif de réduction visé

La modalité "pommiers en AgroForesterie sur le Rang des noyers" (AFR) comprend les pommiers plantés sur le rang des noyers à bois qui ont le rôle de noyers d'ombrage. Les pommiers sont ici en s
de production en 8ème année est de 56% par rapport aux pommiers témoins.

Présentation du système

Conception du système

Dans le cadre de l'essai de pommiers en agroforesterie, ce système a pour objectif d'analyser le comportement architectural et le fonctionnement (croissance, ramification, floraison, fructificati des rangs de noyers à bois plantés en 1995. Cette modalité d'agroforesterie constitue un cas probablement extrême de compétition entre pommiers et noyers.

À cet objectif de recherche s'est conjugué à partir de 2017, dans le cadre DEPHY EXPE, l'intérêt d'étudier également en quoi le contexte agroforestier modifie ou non les interactions pommiers- ainsi que de parasitoïdes.

Le choix du cultivar de pommier s'est porté sur 'Dalinette' C.O.V., résistant tavelure, préconisée en agriculture biologique, greffée sur le porte-greffe G202.

Dans le cadre général de cette expérimentation de recherche, cette modalité consiste à analyser les effets de faibles distances (1.3 m à 4 m en moyenne) entre noyers matures et jeun fonctionnement de ces pommiers. Dans cette configuration, la réduction du rayonnement incident a été en moyenne de 69% par rapport aux pommiers témoins.

Les variables analysées sur le pommier sont l'architecture de l'appareil végétatif et la floraison/fructification.

Les effets possibles de ce contexte agroforestier sur 3 ravageurs du pommier (pucerons verts et cendrés ; carpocapses) et différents prédateurs (coccinelles, syrphes, araignées...) sont égaleme réalisés et sont accessibles sur HAL (voir les "Productions associées" en bas de page). Nous ne présentons ici qu'une synthèse réalisée sur les infestations par le puceron cendré et le carpocapse 7 ans, en 2021 et 2022, respectivement.

Mots clés :
pommier - agroforesterie - noyer à bois - agriculture biologique

Caractéristiques du système

Espèce	Variété	Porte-greffe	Mode de conduite	Distance de plantation	Année d'implantation	Valorisation
Pommier	Dalinette	G202	Libre	6.5 X 1.3 (pommier-pommier ou pommier-noyer)	2016	Non

Système d'irrigation : Goutte à goutte

Gestion de la fertilisation : Organique

Infrastructures agro-écologiques : Bandes enherbées

Protection physique : Non

Objectifs ▲

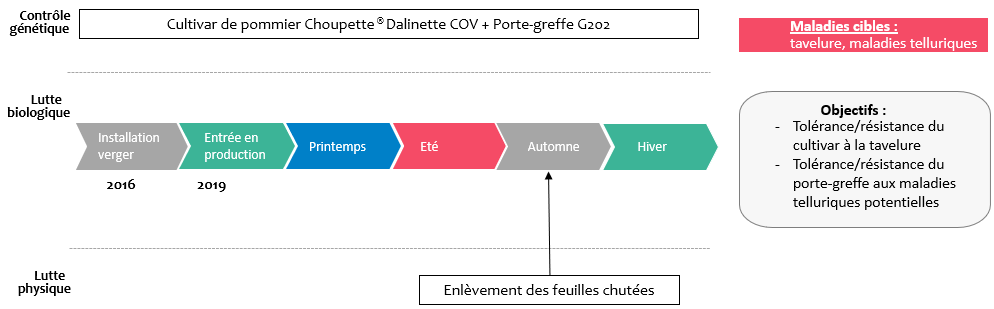
Agronomiques	• Rendement : comparaison par rapport aux 'Dalinettes' en agriculture biologique • Qualité : non travaillé
Environnementaux	• IFT : 1-3 des années 1 à 7 (couverture du puceron cendré uniquement) ; IFT 12 en année 8 avec couverture supplémentaire complète du carpocapse
Maîtrise des bioagresseurs	• Maîtrise des adventices : Oui • Maîtrise des maladies : Oui • Maîtrise ravageurs : Bio-contrôle
Socio-économiques	• Marge brute : Sans objet • Temps de travail : Sans objet

Le mot de l'expérimentateur

Cette expérimentation ALTO s'est inscrite dans le contexte plus large de l'acquisition de connaissances sur la croissance végétative et la floraison-nouaison du pommier en situation agrofor (pouvant limiter les températures excessives durant l'été) et avec un couvert de légumineuse herbacée en strate basse. Il s'agit ici de fournir de premiers éléments objectifs de l'intéré d'agroforesterie multistrate en conditions méditerranéennes en explorant ici un cas extrême de compétition entre pommier et noyer à bois (1.3m et 4m entre pommier et noyer).

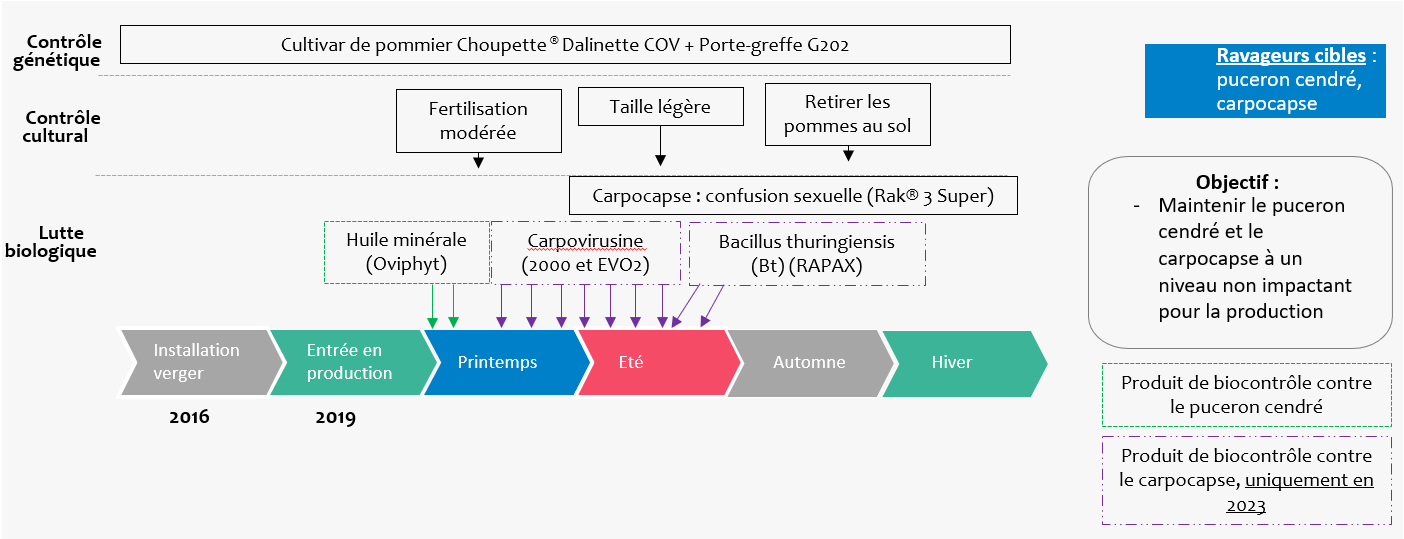
Stratégies mises en œuvre :

Gestion des maladies ▲



Leviers	Principes d'action	Enseignements
Prophylaxie	Enlèvement des feuilles à l'automne	Conjugué à la résistance du cultivar 'Dalinette' cette pratique est très effica pendant les 8 ans d'expérimentation
Cultivar de pommier Choupette ® Dalinette COV	Variété résistante à la tavelure, tolérante au feu bactérien et à faible sensibilité au puceron cendré	Efficace Il n'y a jamais eu de tavelure sur les pommiers. Aucun contournement n'a é cette expérimentation.
Porte-greffe G202	Tolérant aux maladies telluriques à Phytophotora (pourriture du collet) et Erwinia (feu bactérien).	Efficace Aucune infection durant les 8 années de l'expérimentation.

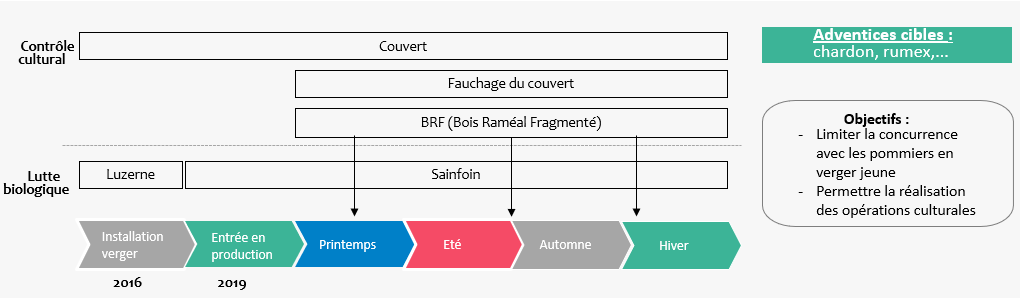
Gestion des ravageurs ▲



Leviers	Principes d'action	Enseignements
Cultivar de pommier Choupette ® Dalinette COV	Faible sensibilité au puceron cendré	Très efficace tant qu'il n'
Fertilisation modérée	Niveau de fertilisation organique modéré =>Puceron cendré	Efficacité partielle
Taille légère	Opérations de taille limitée à l'enlèvement en 5ème feuille* (2020) et 7ème feuille* (2022) de 1 à 2 branches très vigoureuses gênant l'arbre voisin => Puceron cendré	Efficacité partielle en lim appétence pour le puce
Retirer les pommes au sol	Enlèvement systématique et mise hors de la parcelle des pommes chutées au sol et enlevées à l'éclaircissage manuel => Carpocapse	Efficacité partielle si les p parcelle
Huile minérale: Oviphyt	L'huile minérale Oviphyt gène la dissémination du puceron sur l'arbre. Elle est appliquée par aspersion sur les rameaux en 2 fois à la sortie d'hiver, une fois avant et une fois après le débourrement => Puceron cendré	Sur toutes les années, u
Confusion sexuelle : Rak® 3 Super	Provoque une confusion sexuelle chez le carpocapse, les empêchant de s'accoupler, ce qui freine le développement de leur population. => Carpocapse	Efficacité partielle à conj carpocapse (voir ci-dess
Bio insecticide à large spectre à base de Bacillus thuringiensis (Bt): RAPAX	Le Bt une espèce de bactérie utilisée pour ses propriétés insecticides. Ce produit de biocontrôle est utilisé pour remplacer les traitements de carpovirusine en période de fortes chaleurs (juillet et août). Il a été appliqué en 8ème feuille uniquement (2023) après constat d'infestations massives les années précédentes (jusqu'à environ 80% de fruits avec carpocapse en sortie de 3ème génération). => Carpocapse	Le Rapax est un insectic fortes chaleurs
Carpovirusine : virus de la granulose	Les produits de biocontrôle Carpovirusine 2000 et Carpovirusine Evo2 provoquent une infection virale de la larve de carpocapse. 7 traitements de carpovirusine (alternance '2000' et 'EVO2') ont été utilisés de mi-mai à fin août, en 8ème feuille uniquement (2023), après constat d'infestations massives les années précédentes (jusqu'à environ 80% de fruits avec carpocapse en sortie de 3ème génération => Carpocapse	Les produits 2000 et Evo forte chaleur
Modalité agroforestière : AFR	L'hypothèse testée avec les pommiers en agroforesterie avec les noyers est celle d'un effet de dilution car le carpocapse de la pomme est semblable au carpocapse de la noix L'hypothèse testée avec le contexte agroforestier est qu'il agit sur 1) la vigueur de croissance du pommier le rendant moins appétent, ou appétent moins longtemps, et 2) directement sur les cortèges de ravageurs et prédateurs.	Si les systèmes avaient exemple d'une centaine grandes différences de

* l'expression « en xème feuille » signifie « à la xème année de l'arbre » à partir de sa plantation

Gestion des adventices ▲



Leviers	Principes d'action	Enseignements
Couvert de luzerne ou sainfoin entre les rangs	Etouffement des adventices. Enherbement sur l'inter-rang, fauchage quand nécessaire Luzerne au début de l'expérimentation, puis sainfoin.	Sainfoin : peu vigoureux et diffi
Paillage au BRF (bois raméal fragmenté) sur le rang	Le paillage permet de cacher la lumière aux adventices pour limiter leur développement. Renouvellement du paillage 3 fois par an. Fauchage sur le rang quand nécessaire	Ce paillage est moyennement de fauchage chaque année

-

Maîtrise des bioagresseurs

Rappel de définitions :

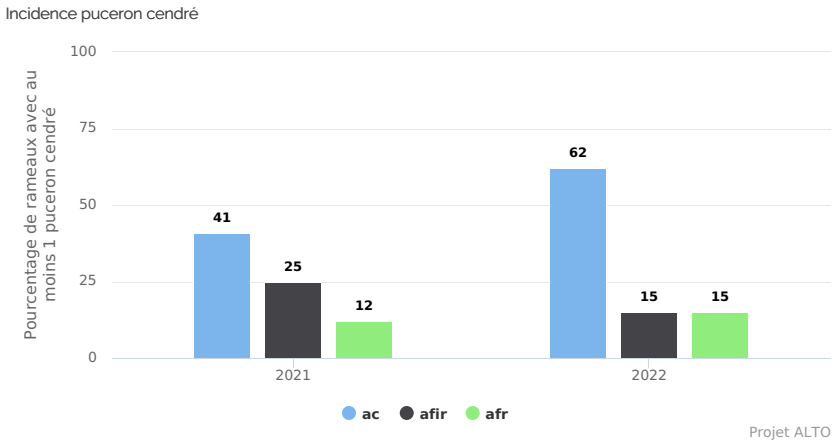
Incidence : nombre de pousses infestées

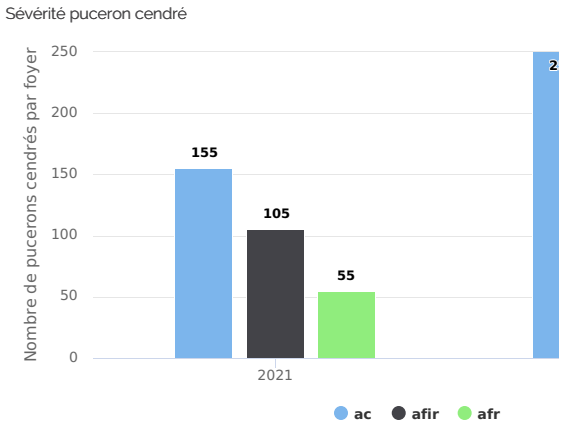
Sévérité : combien il y a de pucerons sur les pousses infestée

	Carpocapse		Puceron cendré		Puceron vert		Tavelure		Phytophora	
2019										
2020										
2021										
2022										
2023										
	Témoin (AC)	AFIR	Témoin (AC)	AFIR	Témoin (AC)	AFIR	Témoin (AC)	AFIR	Témoin (AC)	A

	Absence de bioagresseur
	Présence de bioagresseur, mais maîtrisé
	Bioagresseur non maîtrisé

Pour chaque année, le puceron vert était présent, mais avec de faibles incidence et sévérité.





Il y a deux principaux ravageurs du pommier : le puceron cendré et le carpocapse.

Puceron cendré :

A traitements phytosanitaires identiques, la modalité AFR diminue l'infestation par le puceron cendré. D'après les graphiques ci-dessus :

- incidence : -71% en 2021, -76% en 2022

- sévérité : -65% en 2021, -96% en 2022

Carpocapse (non illustré car sur des effectifs faibles de fruits) :

- incidence (% d'infrutescences avec au moins un fruit infesté) : - 44 % en 2021 (par rapport au témoin AC)

- sévérité (% de fruits infestés) : - 44 % en 2022 (par rapport au témoin AC)

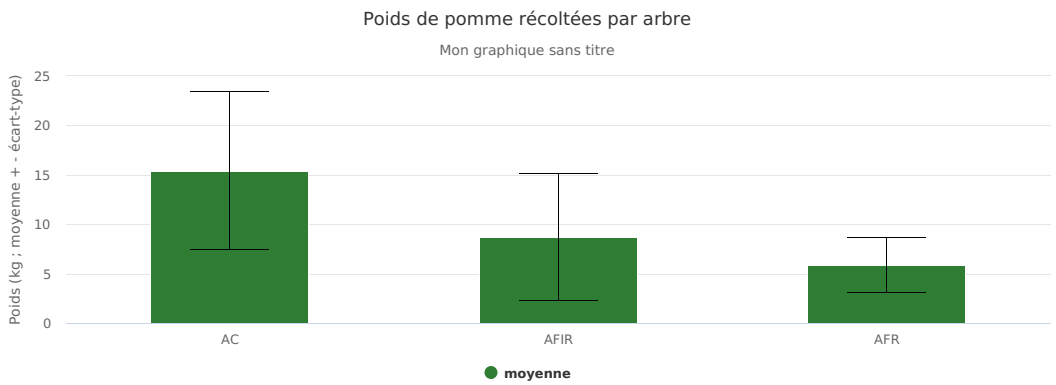
Ces différences sont uniquement visibles en fin de première génération (G1), mais la récolte étant "tardive" (octobre), d'autres générations ont eu le temps de se développer. Ainsi, arrivée à la réc modalités sans différence significative entre elles.

Performances du système

Performance agronomique à l'arbre

Rappel de définitions :

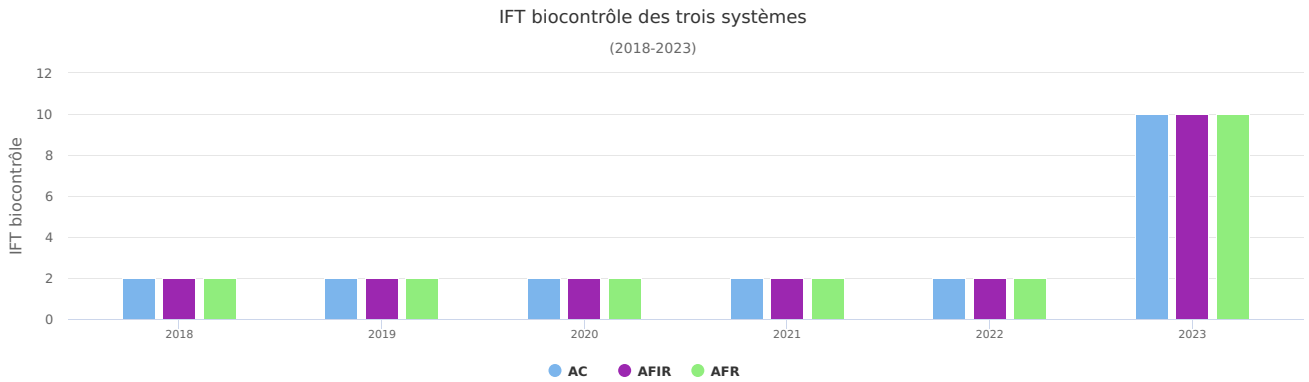
Charge en fruit : c'est le nombre de fruit par centimètre carré de surface de la section du tronc, qui est donc fonction de la vigueur de l'arbre. Cela sert à homogénéiser entre les arbres (ex : un a de fruits qu'un arbre plus petit). Cette charge en fruit un indicateur du potentiel fructifère de l'arbre.



Les infestations récurrentes de carpocapse, sans traitement par le virus de la granulose, n'ont pas permis une évaluation fiable de la récolte des années 2018 à 2022, sur pommiers âgés d carpocapse en 2023, sur les pommiers âgés de 8 ans, a permis une récolte représentative de la productivité des arbres. C'est pourquoi ce graphique ne concerne que la récolte 2023.

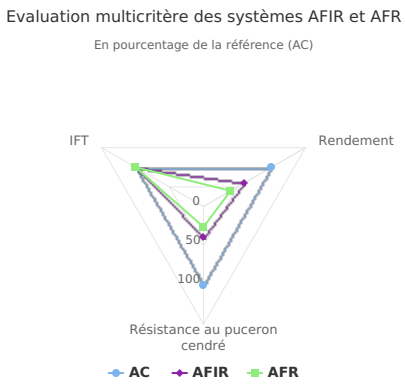
On lit sur le graphique, qu'à charge en fruit identique sur les 3 modalités (5 fruits/cm² de section de tronc), la réduction de poids de fruits sur les pommiers AFR par rapport aux pommiers témo AC.

Performance environnementale ;



Au cours de l'expérimentation, seuls des produits de biocontrôle ont été utilisés (voir les Stratégies de lutte contre les bioagresseurs plus haut). Dans le graphique ci-dessus, l'IFT biocontrôle a forte couverture contre le carpocapse.

Evaluation multicritère



Le graphique ci-dessus se lit en pourcentage de la référence. Par exemple, le rendement du système AFIR vaut 60 % de celui de la référence (autrement dit, 40 % de moins).

Pour rappel, le rendement ne concerne que les valeurs de l'année 2023.

Les IFT sont tous identiques car les systèmes ont été protégés de la même façon.

Entre les trois systèmes, il n'y a donc pas de différence, à part l'ombrage. En effet, les pommiers ont un peu moins poussé (rendement légèrement plus faible), mais l'ombre des systèmes AF travailler dans de meilleures conditions, puisque les arbres d'ombrage diminuent la température sous leur canopée (
Marie Gosme, 2016
).

Si les systèmes avaient été plus éloignés physiquement (par exemple d'une centaine de mètres), peut-être que de plus grandes différences de résultat seraient apparues entre eux.

Zoom sur l'intérêt potentiel de cultiver du pommier en agroforesterie ▲

On estime que, au-delà de 40°C, la physiologie du pommier est fortement et négativement impactée par la température, tant au niveau de son fonctionnement foliaire que de la qualité du fruit, ave phénomènes de coup de soleil ('sunburn' en anglais) qui rendent rapidement le fruit impropre à la consommation. On peut observer ces phénomènes dans diverses régions du monde, avec des pr Cela est particulièrement vrai dans la région méditerranéenne et tend à se répandre dans des régions de plus hautes latitudes en raison du changement climatique. La protection contre ces excès assurée par des filets d'ombrage présentant un coût important pour l'arboriculteur, tant pour l'installation initiale que pour leur remplacement tous les 5 à 10 ans. Dans ce contexte, l'agroforesterie, d'ombrage' dans les systèmes agricoles, offre une alternative intéressante. Elle combine en effet une contribution à l'atténuation du changement climatique par stockage de carbone dans le sol, ur verger et une protection efficace contre les excès de rayonnement solaire pour autant que la densité de plantation et la conduite des 'arbres d'ombrage' soit réfléchie en fonction de l'ombrage sou

Sur la base de ces premiers résultats, et en vue d'un transfert en exploitation agricole, il y aura lieu de développer une Recherche-Développement permettant de préciser les choix suivants :

- espèces d'arbre d'ombrage à feuilles caduques, tant pour la densité de feuillage que pour la phénologie en visant une réduction maximale de 40% du rayonnement solaire incident,
- cultivars de pommier les plus adaptés physiologiquement à des contextes d'ombrage,
- dispositifs de plantation, au niveau spatial (orientation des rangs est-ouest ou nord-sud ?) et temporel (complantation de l'arbre d'ombrage et du pommier ou plantation échelonnée ?).

Transfert en exploitations agricoles ▲

Les travaux d'expérimentation menés sur le dispositif GAFAM indiquent de premières pistes de transfert en exploitations agricoles aux 2 niveaux suivants :

- Dans un dispositif en rangs orientés Est-Ouest (le cas de cet essai), la modalité de plantation des pommiers dans l'inter-rang des noyers, à 6.5 m des rangs, est intéressante en protégeant des production proche de rendement à l'arbre obtenu sur un verger de référence 'Dalinette' cultivé en AB dans la région (SudExpé, Marsillargues).
- NB : la modalité de plantation des pommiers sur le rang des noyers entraine un ombrage excessif qui pénalise la croissance et la fructification des pommiers.
- L'intérêt d'arbres d'ombrage à feuillage caduque et à feuillaison tardive permet une mise à fleur et une nouaison optimale des pommiers au printemps.

Pistes d'amélioration, enseignements et perspectives

Cette modalité de pommier en agroforesterie, avec des pommiers implantés sur les rangs des noyers orientés E-O, constitue probablement un cas extrême de compétition entre pommier même si il a permis d'éviter les coups de soleil en situation de rayonnement excessif (juin 2019 ; 1% alors que les pommiers témoins ont eu un pourcentage médian de fruits brulés de l'ordre de ne permet toutefois pas une production suffisante de pommes. Ce n'est donc pas une modalité de pommier en agroforesterie à retenir.

Comme pour toute expérimentation, nos résultats sont toutefois contingents aux choix initiaux et aux modalités de gestion : couple cultivar/porte-greffe, plantation de pommiers sur des noyers déjà un ombrage relativement dense à partir de fin juin, production en agriculture biologique très bas intrants (IFT moyen de 1à 3 selon les années sauf en 2023 où nous avons assuré, avec un carpocapse permettant une récolte intéressante sur le plan agronomique).

Pour ce qui est des bioagresseurs, GAFAM a été mené en agriculture biologique. Les 2 points saillants sont

1) aucune maladie constatée sur toute la période.

2) ravageurs :

* le puceron cendré a été bien maitrisé avec 2 applications d'huile minérale en pré- et post-débourrement

* le carpocapse reste le ravageur critique sur la période d'étude. La seule bonne récolte n'a pu être réalisée qu'à la suite d'un programme complet de carpovirusine alternant, EVO2, 2000, et R 2018 et 2022 a systématiquement conduit à des pertes de récolte estimées à 70 - 80%.

Les perspectives de poursuite de ce premier travail, original sur le plan international, sont de 2 types :

- Exploration de la variabilité génétique du pommier. Il est possible que certains cultivars de pommier soient plus adaptés que d'autres à l'ombre. Des expérimentations futures devraient donc été cultivars. Nous préconisons des porte-greffes de vigueur égale ou supérieure au G202 expérimenté ici. Pour ce qui concerne le choix du cultivar, il serait nécessaire de poursuivre cette expérime peu demandeur de rayonnement lumineux tout au moins pour la bonne coloration et maturation du fruit (ex. 'Granny Smith' serait donc un bon candidat à tester dans cette optique), ou a c diminuer le temps d'ombrage sur le fruit (ex. cultivars à récolte estivale).

- Exploration de la diversité spécifique et de la variabilité génétique de l'arbre d'ombrage et de la conduite de ces arbres. Dans notre cas, si la question posée par le noyer à bois est celui de la croissance ces plantes associées sont souvent mentionnés mais sans résultats probants de façon générale (cf Zubay et al, 2021, par exemple) le décalage temporel entre la floraison du po conditions) et du noyer (environ un mois plus tard) permet une floraison et une nouaison de même qualité que celles des pommiers témoins. D'autres espèces à frondaison plus poreuse e expérimentées. Par ailleurs, dans le cadre de notre expérimentation, nous n'avons que peu taillé les noyers à bois. Une taille modérée maintenant un ombrage identique au cours des années c toute expérimentation future.

- Design temporel et spatial du dispositif de pommier en agroforesterie : une complantation de noyer et pommier serait à expérimenter, permettant au pommier de se développer au maximum premières années, avec un arrachage des pommiers dès que leur production décline de façon excessive. Si, comme attendu, la modalité de pommiers sur les rangs de noyers (AFR) réduit de montrons l'intérêt potentiel de la modalité AFIR (pommier dans l'inter-rang des noyers). Pour cette modalité, une distance plus importante des rangs de pommiers par rapport aux rangs de n l'ombrage nécessaire à la culture du pommier en contexte méditerranéen en limitant un excès d'ombrage préjudiciable à la croissance et à la fructification du pommier.

Références et mémoires d'étude ▲

Références citées :

- Lauri PÉ, Douard S, Chappot de la Chanonie J, Normand F. 2022. Biodiversified agrosystems: do we need more knowledge on plant architecture and functioning? The case of fruit trees. Acta H
- Lauri PÉ, Gautier A. 2024. Apple trees in agroforestry – Investigating the plasticity of vegetative and reproductive traits. Scientia Horticulturae (In press).
- Lauri PÉ, Pitchers B, Dufour L, Simon S. 2020. Apple farming systems – Current initiatives and some prospective views on how to improve sustainability. Acta Horticulturae 1281: 307-321.
- Lauri PÉ, Pitchers B, Simon S. 2022. Designing a sustainable orchard - Plant diversity as a key and ways to implement it. Acta Horticulturae 1346: 19-26.
- Marie Gosme, Lydie Dufour, Hector Daniel Inurreta Aguirre, Christian Dupraz. Microclimatic effect of agroforestry on diurnal temperature cycle. 3. European Agroforestry Conference (EURAF Agronomique (INRA). UMR Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (1230)., May 2016, Montpellier, France. 466 p. (hal-02744212)
- Pitchers B, Do F, Lauri PÉ. 2019. A neighbourhood analysis to characterise competition in a multi-strata agroforestry system of timber and fruit tree. In Dupraz, C., Gosme, M., Lawson, G. (Edit Congress on Agroforestry. Agroforestry: strengthening links between science, society and policy. Montpellier, France, 20-23 May 2019. CIRAD, INRA, World Agroforestry. 933 pages. P840.
- Pitchers B, Do FC, Pradal C, Dufour L, Lauri PÉ. 2021. Apple tree adaptation to shade in agroforestry - An architectural approach. American Journal of Botany 108(5): 732-743.
- Pitchers B, Dufour L, Lauri PÉ. 2020. Growing AgroForestry systems with Apple in Montpellier-Mediterranean - Preliminary results on the influence of adult walnut trees on growth and branc Horticulturae 1281: 323-330.
- Ricard JM, Lauri PÉ, Michaud M, Alaphilippe A, Borne S, Penvern S, Dufils A, Simon S. 2022. Co-design of agroecological temperate fruit tree systems in France: the ALTO project. Acta Horticu
- Zubay, P., Kunzelmann, J., Ittzés, A., Zámboriné, É.N., Szabó, K., 2021. Allelopathic effects of leachates of Juglans regia L., Populus tremula L. and juglone on germination of temperate zone cu Agroforestry Systems, 95, 431-442.

Mémoires d'étudiants (voir dans les "Production associées", en bas de page) :

- Anna Gautier. 2023. Le pommier en agroforesterie : analyse des composantes du rendement. Mémoire de fin d'étude. ISARA.
- Valentine Kuhn. 2022. LE POMMIER EN AGROFORESTERIE - Une évaluation agronomique par les composantes du rendement. Master 2 Agrosciences, Environnement, Territoires, Paysag l'Agroécologie », Université Paris-Saclay, AgroParisTech.
- Hermine Sarthou. 2022. Régulations biologiques en verger agroforestier - Suivi du potentiel de régulation et des dynamiques de bio-agresseurs et d'auxiliaires. Mémoire de fin d'étude, Inp Toulouse.
- Marie Dohen. 2021. Le pommier en agroforesterie - Bioagresseurs et auxilaires. Mémoire de fin d'étude, ESA, Angers.
- Paul Masquin. 2020. Le pommier en agroforesterie : Dynamique des ravageurs et de leurs ennemis naturels. Mémoire de fin d'étude, ESA, Angers.
- Pierre Dul. 2019. Le pommier en agroforesterie – analyse du climat lumineux à partir de scènes 3D acquises par LIDAR terrestre et relations avec le développement du pommier. M2-Ingénieur
- Camille Perseval. 2019. Le pommier en agroforesterie – analyse des bioagresseurs et de leurs ennemis naturels et propositions d'aménagements agroécologiques. M2-Ingénieur Agrocampus
- Martin Garaux. 2018. Le pommier en agroforesterie - Couplage entre flux xylémiens et établissement de l'architecture aérienne. M2-Ingénieur ISA, Lille-ISARA Lyon.
- Benjamin Pitchers. 2017. Apple tree growth and ramification in an agroforestry system. Stage de M2-ingénieur agronome, Montpellier SupAgro, spécialité Production Végétale Durable.

Productions associées à ce système de culture

Thèse_ARCHITECTURE AND FRUITING OF APPLE TREE IN AGROFORESTRY_by BENJAMIN PTICHERS.pdf

Mémoire_REGULATIONS BIOLOGIQUES EN VERGER AGROFORESTIER_by HERMINE SARTHOU.pdf

Mémoire_POMMIERS EN SYSTEME AGROFORESTIER. ARCHITECTURE, PHENOLOGIE ET FLUX DE SEVE_by MARTIN GARAUX.pdf

Mémoire_PEST INCIDENCE AND BIOLOGICAL REGULATIONS IN AN APPLE TREE-BASED AGROFORESTRY SYSTEM_by CAMILLE PERSEVAL.pdf

Mémoire_LE POMMIER EN AGROFORESTERIE, ANALYSE DU CLIMAT LUMINEUX A PARTIR DE SCENES LIDAR-T ET RELATION AVEC LE DEVELOPPEMENT DU POMMIER_by PIERRE DUL.pdf

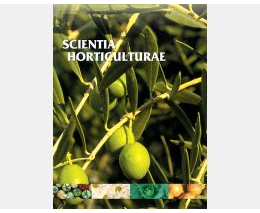
Mémoire_LE POMMIER EN AGROFORESTERIE - DYNAMIQUE DES RAVAGEURS ET DE LEURS ENNEMIS NATURELS_by PAUL MASQUIN.pdf

Mémoire_ETUDE DES DYNAMIQUES ANNUELLES DES BIOAGRESSEURS ET DE LEURS ENNEMIS NATURELS EN VERGER [...]_by MARION DOHEN.pdf

Mémoire_POMMIERS EN AGROFORESTERIE. ANALYSE DES COMPOSANTES DU RENDMENT_by ANNA GAUTIER.pdf

Mémoire_LE POMMIER EN AGROFORESTERIE, UNE EVALUATION AGRONOMIQUE PAR LES COMPOSANTES DU RENDEMENT_by VALENTINE KUHN.pdf

Mémoire_APPLE TREE GROWTH AND RAMIFICATION IN AN AGROFORESTRY SYSTEM_by BENJAMIN PTICHERS.pdf



Recherche_Apple trees in agroforestry – Investigating the plasticity of vegetative and reproductive traits_PE Lauri_A Gautier.pdf

Contact

Pierre-Eric LAURI

Pilote d'expérimentation - INRAE

pierre-eric.lauri@inrae.fr