



HAL
open science

De la conception à l'évaluation de systèmes de culture économes en intrants et produits phytosanitaires en vergers pêche-nectarine - Focus sur la maladie Monilia

Margaux Kerdraon

► To cite this version:

Margaux Kerdraon. De la conception à l'évaluation de systèmes de culture économes en intrants et produits phytosanitaires en vergers pêche-nectarine - Focus sur la maladie Monilia. Agronomie. 2019. hal-03601750

HAL Id: hal-03601750

<https://hal.inrae.fr/hal-03601750>

Submitted on 8 Mar 2022

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.

De la conception à l'évaluation de systèmes de culture
économiques en intrants et produits phytosanitaires en
vergers pêche-nectarine
- Focus sur la maladie *Monilia* -



De la conception à l'évaluation de systèmes de culture
économiques en intrants et produits phytosanitaires en
vergers pêche-nectarine
- Focus sur la maladie *Monilia* -



Résumé

Le contexte économique de la production de pêche-nectarine est fortement impacté par la concurrence européenne. La volonté des producteurs est alors de privilégier l'aspect visuel et le calibre au détriment de la qualité gustative, ce qui engendre l'utilisation de nombreux pesticides. Ce contexte combiné à la mise en place du plan Ecophyto, conduit à la mise en place de projets comme Ecopêche et Ecoverger, qui s'inscrivent dans une démarche d'expérimentation système. Ils visent la conception et l'évaluation de vergers de pêche-nectarine innovants, caractérisés par un faible usage des produits phytosanitaires et une réduction des intrants.

Le projet Ecopêche a pour objectif d'évaluer la capacité de systèmes de culture conciliant une réduction de 50% de l'indice de fréquence de traitement et de 30% des intrants à atteindre les performances agronomiques (comprenant la qualité gustative) et technico-économiques d'un système de culture de référence. Ce projet multisite, mis en place en 2013, a montré la capacité des systèmes économes à presque égaler les performances du système de référence. Aujourd'hui ce projet a pour but d'évaluer les performances de ces systèmes sur la durée de vie d'un verger en production. Cette étude se focalise sur le site INRA d'Avignon, avec 3 systèmes testés : le système de référence et 2 systèmes économes se différenciant par la densité de plantation et la forme de conduite des arbres. La campagne 2019 de ce site, marquée par une sévère attaque de pucerons, est la première pour laquelle on observe des performances agronomiques similaires, du moins pour le rendement commercialisable, mais des performances économiques légèrement inférieures au système de référence. Ce résultat pose alors la question du maintien de la production de ces systèmes économes sur le long terme.

Le projet Ecoverger, qui a débuté en 2012, vise à la conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers avec l'appui de la modélisation. Le projet se focalise sur un bio-agresseur, la moniliose, champignon contre lequel la lutte est essentiellement basée sur la protection chimique. L'étude menée dans ce rapport se concentre sur les contraintes et les objectifs de production des agriculteurs. Après la réalisation d'enquêtes auprès de 13 experts de la production de pêche nectarine, les données ont été analysées par une analyse factorielle multiple (AFM) qui nous a permis d'identifier 4 groupes de production : (i) le groupe "Production fruitière Intégrée (PFI)" (rendements et charge en fruits élevés, lutte chimique mobilisée et dommages moniliose faibles) ; (ii) le groupe "Production raisonnée" (rendement et charge en fruits plus faibles que PFI, lutte chimique et leviers contrôle cultural mobilisés et dommages moniliose variables) ; (iii) le groupe "Production raisonnée 2", (proche du groupe précédent mais mobilisant plus de leviers alternatifs) ; et (iv) le groupe "Agriculture biologique" (rendement faible et peu de leviers mobilisés et mobilisables). Par la suite, ces groupes seront utilisés pour créer des scénarios de production économes en pesticides adaptés à leurs objectifs et leurs contraintes.

Mots clés : *Prunus persica*, Ecophyto, système de culture, expérimentation système, analyse multicritère, résilience, moniliose, enquêtes, profils de production, agroécologie

Summary

The economic context of peach production is strongly impacted by European competition. The farmers' objectives focus on the visual aspect and size instead of gustatory quality, which cause a high use of pesticides. This context, combined with the creation of Ecophyto project, encouraged research projects such as Ecopêche and Ecoverger, which are part of system experimentation approach.

Ecopêche project aims to evaluate the capacity of cultural systems to conciliate 50% pesticides and 30% inputs reduction to reach the same agronomic, technical and economic performances of a reference cultural system. This multisite project, implemented in 2013, showed the capacity of low-input system to maintain or even exceed the performances of reference cultural system. The goal of Ecopêche project is now to evaluate the performances on economic systems over the lifetime of an orchard. This study focus on the site of INRA Avignon, with 3 systems tested: the reference system and 2 low inputs systems differentiate by density production and tree form. The 2019 season is the first campaign for which we observe similar agronomic performances in terms of marketable yield but lower economic performances for the two low inputs systems in comparison to the reference system. This result can be explained by the strong attack of plum mealy aphid on low input level systems. These results questioned the production durability of this type of systems.

Ecoverger project started in 2012 and aimed to help the conception of technical itineraries low pesticides level on orchards, by modelling approach. The project focus on the monilia, a fungus hard to control without any chemical protection. In this study, we focused on farmers goals and constraints to build representative production profiles. After the realisation of survey on experts in peach production, data was analysed by a multiple factor analysis which give 4 groups: (i) Integrated fruit production (IFP (high yield and fruit charge, uses chemical control and low monilial damages); (ii) Sustainable production profile (lower yield and fruit charge than IFP profile, the use of chemical control and other levers as cultural control and variable monilial damages) ; (iii) Sustainable production 2, (close to the previous profile but uses more alternative levers); and (iv) Organic farming, (low yield and few levers used and usable like chemical control). These groups will be used to create low inputs level production scenario adapted to their objectives and constraints.

Key-word: *Prunus persica*, Ecophyto, cultural system, system experimentation, multi-objective evaluation, resilience, monilial, surveys, production profiles, agroecology

Remerciements

Je tiens, dans un premier temps, à remercier Hélène Gautier de m'avoir permis de réaliser mon stage au sein de l'unité PSH et Daniele Bevacqua d'en avoir financé une partie.

Un grand merci à Julie Borg qui m'a fait confiance et a su m'accompagner me guider tout au long de ce stage. Je la remercie pour tout le temps qu'elle a accordé pour relire et corriger ce rapport. Je tiens aussi à remercier Daniel Plénet pour sa bienveillance et pour m'avoir partagé ses connaissances. Merci à lui pour son appui sur le terrain et au laboratoire, ainsi que pour la relecture de mon rapport.

Je souhaite aussi remercier Mathieu Galès et Yannick Bizot pour leur patience, leur enthousiasme et leur humour qui ont rendu le travail au terrain plus joyeux et parfois très drôle. Je les remercie également pour les connaissances qu'ils m'ont transmis tout au long du stage.

Merci à Guénaëlle Hellou pour avoir répondu à mes questions, relu et corrigé mon rapport en y apportant des commentaires constructifs. Merci à elle pour sa sympathie et ses encouragements.

Un grand merci à Mélanie, Dorine, Amira, Fanny et Nathalie pour leur amitié et leur bonne humeur. Je les remercie pour ses joyeuses journées au bureau, mais aussi pour tous les moments passés ensemble en dehors. Merci notamment à Constance qui m'a aidé sur toute la partie analyses statistiques. Je remercie également Mohammed et Pierre pour leur humour et leur soutien.

Mes remerciements s'adressent aussi tout le personnel de PSH pour leur gentillesse, leur accueil et leur aide.

Enfin, un grand merci à mes parents qui me soutiennent depuis toujours. Merci pour leur soutien, leur patience et leur aide dans la relecture de ce mémoire.

Sommaire

Liste des annexes, tableaux et figures

Introduction	1
I. Problématique : Etat de l'art et questions de recherche	3
I.1. Caractéristiques générales du Prunus persica (L.) Batcsh	3
I.1.a. Origine et caractéristiques de l'arbre	3
I.1.a.i Histoire culturelle et contexte de production	3
I.1.a.ii Présentation de l'arbre	3
I.2. Croissance et développement de l'arbre	4
I.2.a. Croissance des rameaux	4
I.2.a.i Période de dormance	4
I.2.a.ii De l'induction florale à la formation du fruit	4
I.3. La conduite technique du verger pêche-nectarine	5
I.3.a. Choix variétal et plantation des vergers	5
I.3.a.i Le choix du porte-greffe.....	5
I.3.a.ii Choix variétal, plusieurs objectifs	5
I.3.b Densité de plantation et mode de conduite des arbres.	6
I.3.c. Conduite du verger : fertilisation et irrigation.	7
I.3.c.i Fertilisation d'un verger pêche nectarine	7
I.3.c.ii Irrigation	8
I.3.d. Techniques culturales sur pêcher : tailles et éclaircissage.....	8
I.3.d.i Taille d'hiver, taille en vert et autres tailles.....	8
I.3.d.ii Eclaircissage.....	9
I.4. Les principaux bioagresseurs du pêcher et leur gestion	9
I.4.a. Les ravageurs du pêcher	9
I.4.b. Les maladies du pêcher	10
I.4.b.i Focus sur un bio-agresseur particulièrement nuisible : La moniliose	11
I.4.c. La gestion des bioagresseurs en verger pêche-nectarine	12
I.4.c.i Le contexte pré-PFI (production fruitière intégrée)	12
I.4.c.ii Le concept de PFI	12
I.5. L'intérêt des vergers à bas niveau d'intrants (BNI)	14
I.5.a Le programme Ecophyto en arboriculture.....	14
I.5.b. Le verger BNI: une nouvelle conception du système de culture.....	15
I.5.c. La conception d'un verger BNI via l'expérimentation système	15
I.5.c.i Partie 1 : Diagnostic et cadrage de l'expérimentationS-TPZDK-QD17.....	16
I.5.c.ii Partie 2 : Conception des Systèmes de cultures potentiels.....	16
I.5.c.iii Partie 3 : Construction de l'expérimentation	17
I.5.c.iv Partie 4 : Mise en œuvre des Systèmes de culture et de l'expérimentation	17
I.5.c.v Partie 5 : Evaluation et analyse des essais système	17
I.5.c.vi Partie 6 : Valorisation des résultats.....	18

I.5.c.vii Comparaison essai factoriel et essai système	18
I.6. Le projet Ecopêche : Conception et évaluation multi-site de vergers de pêche-nectarines économes en produits phytosanitaires et en intrants.....	19
I.6.a. Mise en place et objectifs	19
I.6.b. Résultats observés de 2012 à 2015 et Ecopêche II	19
I.6.c. Le problème de la gestion de la moniliose	20
I.7. Le projet Ecoverger : Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguier.	21
I.7.a. La modélisation en agriculture et en production fruitière	21
I.7.b. Le modèle Qualitree	21
I.7.c. Le projet Ecoverger	22
I.8. Formulation de la question posée	23
II. Matériel et méthode puis analyses des résultats	26
II.1. Evaluation de systèmes de culture innovants dans le projet Ecopêche	26
II.1.a. Présentation du dispositif	26
II.1.a.i Eléments structurels du dispositif	27
II.1.a.ii ITK des trois Systèmes de culture du dispositif	27
II.1.b. Protocoles : Mesures et observations réalisées	28
II.1.c. Méthode d'analyse des résultats	30
II.2. Co-conception d'ITK innovants dans le projet Ecoverger	31
II.2.a Les enquêtes	31
II.2.b Guide d'entretien	32
II.2.c. Traitement des résultats	32
III Présentation et discussion des résultats.....	35
III.1 Présentation des résultats du projet Ecopêche	35
III.1.a. Bilan de la campagne 2019	35
III.1.a.i Climat de la campagne 2019	35
III.1.b. Bilan des pratiques	36
III.1.b.i Objectifs de réduction de l'IFT et des intrants	36
III.1.b.ii Etat sanitaire des vergers.....	37
III.1.b.iii Etat physiologique du verger	37
Croissance des pousses	37
Nombre de feuilles par pousses	37
Etat nutritionnel : teneur en chlorophylle	39
Croissance des fruits	39
III.1.b.iv Résultats de récolte	41
Rendement (brut, commercialisable et % de pertes)	41
Indice réfractométrique	43
Calibres (comparaison des calibres par système et % calibre par système)	43

III.1.b.v Maladies de conservation	44
III.1.c. Performances socio-économiques	45
III.1.c.i Calcul marge semi nette	45
III.1.d. Performances multicritères	46
III.1.e Evaluation résilience des vergers.....	47
III.1.e.i Impact des leviers et de leur variabilité sur les performances agronomiques des systèmes.....	47
III.1.e.ii Leviers mis en place et variabilité	48
III.2. Discussion synthétisée des résultats observés pour le projet Ecopêche	49
III.2.a. Impact de la réduction de l'IFT sur le rendement	49
III.2.b. Impact de la réduction des intrants sur les calibres	49
III.2.c. Impact du climat sur les calibres et l'indice Brix	50
III.2.d. Impact de la diminution de l'IFT et des intrants sur le contrôle de la moniliose	50
III.2.e. Impact de la diminution de l'IFT et des intrants sur les performances économiques des vergers.....	50
III.2.f. Impact de la diminution de l'IFT et des intrants sur la résilience des vergers	51
III.3 Présentation des travaux réalisés sur Ecoverger.	52
III.3.a Etape 1 : visualisation préliminaire des résultats.....	52
III.3.b. Analyse statistique des données d'enquête	54
IV. Critique de la méthode.....	58
IV.1. Critique de la méthode sur l'analyse des résultats du projet Ecopêche	58
IV.2. Critique de la méthode sur l'analyse des résultats du projet Ecoverger	59
Conclusion	60
Bibliographie.....	I
Annexe 1 : Rétro-planning du stage	
Annexe 2 : Protocole de l'expérimentation Ecopêche pour la campagne 2019	
Annexe 3 : Tableau de la protection chimique et biocontrôle pour les 3 systèmes de culture	
Annexe 4 : Résumé des valeurs IFT des 3 systèmes de culture	
Annexe 5 : Performances multicritères en 2016 et 2018	
Annexe 6 : Indicateurs de performances sociotechniques et environnementaux complémentaires	
Annexe 7 : Ensemble des leviers mobilisés à l'INRA d'Avignon de 2015 à 2019	
Annexe 8 : Questionnaire d'entretien complet	
Annexe 9 : Evolution de l'indice Brix en fonction des cueilles pour chaque système	

Liste des annexes

Annexe 1 : Rétro-planning du stage

Annexe 2 : Protocole de l'expérimentation Ecopêche pour la campagne 2019

Annexe 3 : Protection chimique et biocontrôle pour les 3 systèmes de culture

Annexe 4 : Résumé des valeurs IFT des 3 systèmes de culture

Annexe 5 : Performances multicritères en 2016 et 2018

Annexe 6 : Indicateurs de performances sociotechniques et environnementaux complémentaires

Annexe 7 : Ensemble des leviers mobilisés à l'INRA d'Avignon de 2015 à 2019

Annexe 8 : Guide d'entretien complet

Annexe 9 : Evolution de l'indice Brix en fonction des cueilles pour chaque système

Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau des caractéristiques de chaque cultivar	4
Tableau 2: Tableau de l'adaptation des différentes formes de conduite suivant la précocité de la variété plantée.....	6
Tableau 3: Tableau du fractionnement de la fertilisation en fonction de la précocité de la variété cultivée.....	7
Tableau 4: Période et caractéristiques des différentes tailles pratiquées en verger de pêche-nectarine	9
Tableau 5 : Principaux ravageurs du pêcher	9
Tableau 6 : Principales maladies du pêcher	11
Tableau 7: Différences entre un essai factoriel et une expérimentation système.....	188
Tableau 8:Tableau des leviers mobilisés par système de culture.....	19
Tableau 9 : Tableau résumant les éléments structurels pour chaque Systèmes de culture testé.....	277
Tableau 10 : Itinéraire technique des 3 Systèmes de culture testés	277
Tableau 11: Tableau des indicateurs de performance évalués selon les objectifs fixés	28
Tableau 12: Tableau des mesures et des observations réalisées pour calculer les indicateurs de performance.....	29
Tableau 13 : Calcul de la marge partielle pour les 3 systèmes à partir du rendement commercialisable, des prix de vente et des coûts de production (intrants et main d'œuvre) 45	
Tableau 14 : Ensemble des leviers mobilisés pour chaque système organisé par type de leviers	488
Tableau 15: Profils de production créés et ensemble des caractéristiques de chaque groupe	533
Tableau 16 : Répartition des enquêtés dans les groupes de production créés	53
Tableau 17: Catégories de variables et variables prises en compte dans l'AFM. Erreur ! Signet non défini. 5	
Tableau 18 : Profils de production finaux	537

Liste des figures

Figure 1: Période et dégâts de principaux ravageurs du pêcher	10
Figure 2 : Période d'infection et dégâts des maladies du pêcher	11
Figure 3: Diagramme des différents leviers d'action pour lutter contre les bio-agresseurs ...	13
Figure 4 : Schéma de mise en place et déroulement d'une expérimentation système	16
Figure 5 : Schéma de fonctionnement du modèle Qualitree.....	22
Figure 6: Schéma conceptuel de l'expérimentation Ecopêche de l'INRA d'Avignon	24
Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental mis en place sur Avignon	26
Figure 8 : Présentation et situation des différents enquêtés	31
Figure 9 : Noms et localisation géographique des différents enquêtés du projet Ecoverger.	31
Figure 10 : Format et organisation du guide d'entretien.....	32
Figure 11 : Schéma de fonctionnement du modèle d'optimisation multicritère mis en place par Grechi et al, 2012	33
Figure 12 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la campagne 2018-2019	35
Figure 13: IFT chimique et IFT total pour les 3 systèmes.....	36
Figure 14: Irrigation pour les 3 systèmes (en m ³ /ha).....	36
Figure 15 : Apport en azote, phosphore et potassium pour les 3 systèmes.....	36
Figure 16 Evolution de l'infestation de pucerons pour chaque système.....	37
Figure 17: Evolution de la longueur des pousses pour chaque système	38
Figure 18: Comparaison de la longueur des pousses en dernière mesure pour chaque système	38
Figure 19 : Evolution du nombre de feuilles par pousse pour chaque système.....	38
Figure 20 : Comparaison du nombre de feuilles par pousse en dernière mesure pour chaque système	38
Figure 21 : Evolution du diamètre de fruit pour chaque système	40
Figure 22 : Comparaison du diamètre de fruit en dernière mesure pour chaque système	40
Figure 23 : Evolution de l'indice SPAD pour chaque système.....	40
Figure 25 : Comparaison des rendements bruts pour chaque système	42
Figure 27 : Comparaison des rendements commercialisables pour chaque système.....	42
Figure 26 : Comparaison du pourcentage de perte pour chaque système	42
Figure 28 :Comparaison des indices réfractométriques pour chaque système	43
Figure 29 : Pourcentage de chaque calibre pour chaque système	43
Figure 30 : Evolution du nombre de fruits pourris sur 20 jours pour chaque système	44
Figure 31 : Représentation graphique des performances multicritères de chaque système..	46
Figure 32: Evolution de l'Indice Brix de 2015 à 2019 pour chaque système	47
Figure 33 : Evolution du pourcentage de calibre a et plus de 2015 à 2019 pour chaque système	47
Figure 34 : Evolution des rendements commercialisables de 2015 à 2019 pour chaque système	47
Figure 35 : Contribution des catégories de variables au axes de l'AFM Tableau 15: catégorisation des variables pour l'AFM.....	55

Figure 35 : Contribution des catégories de variables au axes de l'AFM	55
Figure 36 : Représentation graphique des individus ainsi que leur contribution aux dimensions	56
Figure 37: Regroupement des individus par classification ascendante hiérarchique.	56

Introduction

La pêche nectarine est l'un des fruits les plus appréciés des français. Elle le 5^{ème} fruit le plus consommé en France avec une consommation de près de 7 kg par an et par ménage (FranceAgriMer, 2016). En 2018, la production nationale de pêche était de 182 000 tonnes, en diminution en raison d'une surface de production réduite et de nombreuses intempéries sur l'ensemble de la campagne (FranceAgriMer, 2019). La pêche est un fruit pour lequel les consommateurs sont exigeants. Or ces derniers sont de plus en plus déçus par la qualité gustative de ce fruit. Les objectifs des producteurs ne se tournent pas vers le goût sucré de ce fruit, mais vers un aspect visuel et un calibre parfait pour concurrencer suffisamment les marchés espagnols et italiens qui sont à l'origine de la diminution importante de la surface de production depuis ces 20 dernières années (Hochart, 2014).

La production de pêche nectarine est aussi impactée par un durcissement continu des contraintes réglementaires et par un arrachage conséquent de nombreux vergers dû à des problèmes sanitaire engendrés notamment par la Sharka. Cela a considérablement diminué les surfaces de production depuis 2000. En 2016, la surface de production française s'élevait à 9500 hectares contre 22 000 en 2000, soit une diminution de plus de la moitié (Hochart, 2014). Cette production est située principalement dans le sud de la France : en Occitanie et en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

En parallèle l'agriculture française est influencée par la mise en place du plan Ecophyto qui prévoit une réduction de 50% de l'utilisation de pesticides d'ici 2025 (Ministère de l'agriculture, 2015). Ce projet n'exclut pas l'arboriculture qui reste l'une des productions ayant le plus recours aux produits phytosanitaires. Avec un indice de fréquence de traitement (IFT) moyen de 20, la pêche est le deuxième fruit à l'IFT le plus élevé après la pomme (Crétin et al, 2018).

L'enjeu est alors de créer des systèmes de culture économes en intrants, capables d'atteindre les performances économiques similaires au système de culture de référence en France avec un fruit de qualité à la fois visuelle et gustative. Dans ce cadre, deux projet sont menés à l'INRA d'Avignon : le projet Ecopêche et le projet Ecoverger.

Le projet Ecopêche vise à concevoir et évaluer des systèmes de culture en pêche nectarine innovants conciliant une réduction de 50% des produits phytosanitaires et 30% des intrants, mais aussi l'obtention de fruits de qualité gustative et des performances technicoéconomique permettant la durabilité de l'exploitation agricole. Mis en place en 2013, ce projet multisite compte aujourd'hui 6 années d'expérimentation et a montré la capacité de ces systèmes innovants à égaler voire surpasser les performances des vergers de référence. Le projet est reconduit en 2019 pour une durée de 5 ans, afin d'évaluer la capacité de ces systèmes à atteindre leurs objectif sur la durée de vie d'un verger en France. Ce rapport présente l'évaluation multicritère de ces vergers pour la campagne 2019. Le projet Ecopêche se base une approche d'expérimentation système, une approche encore rare dans le monde de la recherche et qui pose question sur les facteurs à analyser et les méthodes d'analyse. Les

vergers étant en pleine capacité de production depuis plusieurs campagnes, il est possible d'étudier la capacité de résilience des systèmes de culture innovants.

Le projet Ecoverger a pour but d'aider à la conception d'itinéraires techniques économes en pesticides et s'appuyant sur les contraintes et les objectifs des producteurs, par une approche de modélisation. Ce projet mis en place en 2012 se concentre sur la moniliose. C'est une maladie de conservation qui est très difficile à contrôler sans lutte chimique. Ce rapport présente une partie des résultats de la dernière étape du projet, à savoir la caractérisation des contraintes de production et des objectifs de producteurs. Afin de construire des profils de producteurs représentatifs. Quatre profils de production ont été créés à partir d'enquêtes de terrain auprès d'experts de la filière pêche-nectarine. Ces profils serviront à créer des scénarii de production via de l'optimisation multicritère basé sur un modèle appelé Qualitree.

Ces deux projets reprennent différentes étapes du processus de conception et d'évaluation de systèmes de culture économes en intrants (Havard et al, 2018). Pour introduire le sujet, je ferai un état des connaissances sur le fonctionnement d'un verger et sa gestion, l'intérêt des vergers économes en intrants et les techniques alternatives existantes. Ensuite j'exposerai les bases de la conception d'une expérimentation système dont découlent les deux projets. Enfin, je terminerai par présenter les analyses des performances des vergers de l'INRA d'Avignon pour le projet Ecopêche, et les profils de production obtenus dans le cadre du projet Ecoverger.

I. Problématique : Etat de l'art et questions de recherche

I.1. Caractéristiques générales du *Prunus persica* (L.) Batsch

Le pêcher, ou *Prunus Persica* (L.) Batsch, est un arbre issu de la famille des Rosacées et du genre *Prunus* à l'instar de la prune, de l'amande, de l'abricot ou encore de la cerise (Le Crenn, 2014). Il existe différentes formes et variétés de pêches, le terme variété n'est pas exact, il serait plus approprié de parler de cultivar mais pour des raisons de simplicité, le terme « variété » est resté. La nectarine est une variété de pêche par exemple, alors que la pavie ou la pêche plate sont considérées comme des formes de pêches (Hilaire et Giaucque, 2003).

I.1.a. Origine et caractéristiques de l'arbre

I.1.a.i Histoire culturelle et contexte de production

La pêche est un fruit originaire de Chine, où elle est cultivée depuis 1 000 ans avant J-C. Il était admis que la pêche venait de Perse, d'où son nom vernaculaire « *Prunus persica* (L.) Batsch ». Les pêchers sauvages et la diversité variétale importants découverts en Chine ont remis en question ses origines culturelles (Lurie et al, 2005). La pêche a probablement été transportée du continent asiatique au continent européen par la route de la soie. Elle est apparue au Moyen Age en France. Aujourd'hui on dénombre 300 variétés différentes de pêches-nectarine en France. En 2014, la France représentait 8% de la production européenne, derrière l'Espagne et l'Italie. Cette production est en baisse du fait de la forte concurrence espagnole dont les coûts de production et le prix de vente sont moins élevés. Cela, combiné à la problématique virus de la Sharka, oblige les arboriculteurs à arracher les arbres contaminés. A cela s'ajoute le fait que les systèmes de culture pêche-nectarine sont dépendants des produits phytosanitaires. En effet, cette production a de fortes exigences sur l'aspect visuel et sur le calibre de la production. Or la réglementation sur l'utilisation de pesticides devient de plus en plus stricte (Hochart, 2014). La volonté de consommer local et français permet de maintenir la production et de vendre à bon prix, en particulier lorsque les producteurs sont engagés dans une démarche de production plus écologique. C'est dans ce contexte que s'est développée la production fruitière intégrée, système de production qui sera abordé dans les chapitres suivants.

I.1.a.ii Présentation de l'arbre

Le pêcher est un arbre naturellement buissonnant que le greffage atténue. Les rameaux, de couleur rouge sombre, portent les bourgeons à bois et les bourgeons floraux (d'où l'appellation rameau mixte). Les nouveaux rameaux, formés à partir des bourgeons à bois supportent les feuilles. Elles sont de forme lancéolée et légèrement dentée, d'un vert clair très pigmenté. Ses fleurs, à cinq pétales, se distinguent sous deux types de fleurs : la fleur campanulée et la fleur rosacée. La première forme est la plus petite avec des pétales rose foncé. Ces pétales ne s'étalent pas et restent serrés au centre même en pleine floraison. L'autre forme, plus grande a des pétales larges et rose clair qui s'étalent en pleine floraison. Son fruit est une drupe à la peau rouge (anthocyane) légèrement velue pour les pêches, pêches plates et pavies et glabre pour les nectarines et les brugnons et à la chair claire allant

du blanc au jaune. Son noyau est brun, de forme ovale et creusé de sillons. Il adhère plus ou moins à la chair selon les formes et les variétés de pêche. Le tableau 1 résume les caractéristiques de formes et variétés les plus courantes de la pêche (Hilaire et Giaque, 2003).

Tableau 1: Tableau des caractéristiques de chaque cultivar

Peau	Velue		Glabre	
Formes et variétés	Pêche	Pavie	Nectarine	Brugnon
Noyau	Libre (semi-libre)	Adhérent	Libre	Adhérent

I.2. Croissance et développement de l'arbre

I.2.a. Croissance des rameaux

Vers fin mars-début avril, les bourgeons à bois s'ouvrent et les jeunes pousses apparaissent. Ces jeunes pousses vont croître, lentement jusqu'à début mai puis vont atteindre un pic de vitesse de croissance aux alentours de mai-juin pour ralentir en juillet et s'arrêter en août. Suivant les différentes courbes de croissance, on distingue plusieurs types de rameaux

- Bouquets de mai : rameau court avec 4 à 6 bourgeons à fleurs qui entourent 1 bourgeon à bois.
- Chiffonne : rameau de moins de 15 cm avec des bourgeons floraux et 1 bourgeon à bois à son extrémité.
- Rameau mixte : rameau d'une longueur allant de 20 à 80 cm comportant des bourgeons à bois et des bourgeons floraux.
- Gourmand : rameau très long et vigoureux portant principalement des bourgeons à bois, avec quelques bourgeons à fleurs à l'extrémité.

La fin de croissance en août signe le début de la période de dormance (CTIFL, 1987).

I.2.a.i Période de dormance

Le phénomène de dormance chez le pêcher est un phénomène adaptatif. Si les pousses continuaient à croître en hiver, le feuillage obtenu gèlerait en hiver si la dormance ne se mettait pas en place. La dormance s'installe au mois d'octobre et continue jusqu'à décembre. La dormance est indispensable pour que l'arbre puisse fournir des ébauches florales viables et une répartition cohérente des bourgeons à bois. Elle permet aussi aux rameaux de finir leur lignification. Toutes les formes et variétés de pêcher ont besoin de froid, avec un besoin de 350 à 900 heures à une température inférieure à 7°C.

I.2.a.ii De l'induction florale à la formation du fruit

A la période d'arrêt de croissance des rameaux en octobre, une partie des bourgeons à bois nouvellement formés subissent l'induction florale. Ce phénomène à l'origine encore incertaine permet de former les ébauches florales de l'arbre. Ensuite les parties florales vont

se former petit à petit jusqu'à la mi-octobre : sépales, pétales, étamines puis pistil. Même pendant la période de dormance, les bourgeons restent légèrement actifs et croissent très lentement jusqu'à la fin décembre. En janvier, la croissance reprend avec la formation des grains de pollen. Les ovules et le sac embryonnaire se différencient. Dès le mois de mars, la formation de la fleur est terminée et la floraison a lieu. Elle se produit du 10 au 30 mars environ. Les pêcheurs ont la particularité d'être autogames. Mises à part quelques variétés qui sont des mâles stériles et où la pollinisation requiert le travail d'insectes pollinisateurs, les fleurs peuvent être fécondées grâce à leur propre pollen. Par la suite, le fruit se forme à partir de l'ovule qui donne la graine et de la paroi ovarienne qui donne la chair. La vitesse de formation varie en fonction de la précocité de la variété. Pour les variétés précoces la courbe de croissance est presque linéaire. Plus la période entre la floraison et la récolte est longue, plus on aperçoit la formation d'un palier où la vitesse de croissance diminue. Ce palier correspond à la lignification du noyau, souvent fendu chez les variétés précoces. La période de maturité de fruits s'étend de mi-juillet à septembre suivant les variétés (Hilaire et Giauque, 2003).

I.3. La conduite technique du verger pêche-nectarine

I.3.a. Choix variétal et plantation des vergers

I.3.a.i Le choix du porte-greffe

Le choix de la variété et du porte greffe dépend fortement de leur compatibilité. De plus le porte-greffe est choisi en fonction d'autres critères :

- Son aptitude à la reproduction
- Son aptitude au greffage
- Son aptitude à la reprise après transplantation en verger
- Sa vigueur (qui dépend aussi de la forme de conduite choisie et de la variété)
- Un bon ancrage racinaire
- Une bonne résistance aux nématodes et à la chlorose ferrique

(CTIFL, 1983)

Les choix de porte greffe et de variétés sont d'autant plus importants qu'ils impactent la durée de vie du verger, pouvant aller jusqu'à une quinzaine d'années. Ces deux leviers sont donc les plus importants pour la réussite d'un verger.

I.3.a.ii Choix variétal, plusieurs objectifs

Le choix variétal est un critère de contrôle important sur :

- La résistance aux maladies et ravageurs
- La précocité, directement liée à la résistance aux maladies
- Le rendement et le calibre
- La forme de conduite des arbres, directement liée au rendement et au calibre visés.

Le choix variétal permet de contrôler partiellement les maladies du pêcher. Dans le cadre des maladies polygéniques telles que la moniliose (description prochaine dans le chapitre I.4.b.i), - la résistance variétale est difficile à atteindre car tous les gènes concernés doivent être

résistants à la maladie (Laget et al, 2014). Aussi, le choix variétal doit être couplé avec d'autres moyens de lutte pour un meilleur contrôle.

La précocité est un critère de choix très important, car il permet de jouer sur le contrôle des maladies par évitement des stades les plus sensibles à la maladie. Les différences de précocités sont très importantes pour la production française car elles permettent une vente de pêche nectarine étalée sur toute l'année, malgré des temps de conservation post-récolte très courts. La précocité, comme dans toute culture, doit être adaptée à la région et au climat concernés. Chaque précocité variétale se comporte mieux suivant une conduite spécifique. Le calibre et le rendement souhaité à la récolte dépendent fortement de ces deux critères. Un article paru dans la revue « L'arboriculture fruitière » en 2003 compile les résultats en termes de rendement, de calibre et de temps de travail selon les précocités variétales et les variétés. En général, plus les variétés sont précoces, plus les rendements sont faibles. Cela s'explique en partie par des calibres plus petits à la récolte, qui jouent sur le tonnage. Cette différence de calibre peut avoir ensuite un impact sur le prix de vente (Plenet et al, 2003).

Le choix variétal demande un compromis entre le rendement et le calibre souhaités (aussi impactés par le mode de conduite des arbres) et la résistance aux maladies et ravageurs. Ce compromis est d'autant plus difficile qu'il existe un très grand panel de variétés. Le critère qualité gustative aujourd'hui n'est plus réellement présent, les variétés mises sur le marché étant toutes excellentes (C. Bussi, INRA Gotheron, commentaire personnel). Aujourd'hui, les différences de qualité gustative ressenties par les consommateurs proviennent essentiellement de la date de récolte. Une pêche récoltée avant maturité pour diverses raisons peut être moins sucrée qu'une pêche récoltée à maturité.

I.3.b. Densité de plantation et mode de conduite des arbres

La densité de plantation dépend du rendement et du calibre visés, ainsi que de la vigueur de la variété et de la forme de conduite de l'arbre souhaitée. Le tableau 2 présente les principales formes de conduites pour chaque type de variété (précoce – saison – tardive).

Tableau 2: Tableau de l'adaptation des différentes formes de conduite suivant la précocité de la variété plantée

	Palmette	Axe central	Upsilon	Fuseau	Gobelet dense	Gobelet classique	Double Y
Précoce	+	-	-	-	-	-	+
Saison	-	+	+	-	-	-	+
Tardive	-	+	+	-	-	-	+

(Blanc et al, 2003)

Ce tableau est issu d'un document datant des années 1980, et ne rend pas compte des pratiques actuelles. Néanmoins il permet de visualiser les différentes formes de conduites préconisées pour chaque type de variété. La forme en double Y, forme innovante à l'époque de publication de ce livret technique, est aujourd'hui la forme de conduite la plus répandue en vergers de pêcher dans la région sud-est. Les formes de conduites les plus adaptées aux

variétés précoces et tardives ont la particularité de permettre une mise à fruit très tôt (sauf la forme en double Y, mais qui compense par d'autres avantages tels que des performances technico-économiques élevées). Les formes en double Y et la palmette sont les plus favorables pour les variétés précoces car elles présentent une bonne exposition au soleil, importante pour ces variétés qui présentent la période d'exposition la plus courte (Blanc et al, 2003). Toute forme confondue, les densités de plantation s'étalent de 400 à 1500 arbres à l'hectare (Hilaire et Giaque, 2003). La densité impacte fortement la gestion du verger car elle influence notamment la pression des ravageurs. De fortes densités favorisent la mise à fruits, mais aussi le développement de la moniliose ce qui complique sa gestion (Blanc et al., 2003).

I.3.c. Conduite du verger : fertilisation et irrigation.

I.3.c.i Fertilisation d'un verger pêche nectarine

La fertilisation azotée d'un verger pêche-nectarine débute dès la première feuille (c'est-à-dire première année après plantation), sans que les arbres ne soient en production. Dans un document gouvernemental de 2014, les préconisations sont les suivantes :

- 1^{ère} feuille : 40 kg N/ha
 - 2^{ème} feuille : 60 kg N/ha
 - 3^{ème} feuille : 90 kg N/ha
 - 4^{ème} feuille : 100 kg N/ha
 - 5^{ème} feuille et plus : 110 kg N/ha
- (GREN, 2014)

Un verger de pêche nectarine entre en production entre la 3^{ème} et la 5^{ème} feuille selon la variété et la forme de conduite des arbres. Les besoins en fruits sont d'environ 1.3 kg N/tonne de fruits produits. Ainsi, pour un objectif de production de 25 t/ha, la quantité d'azote à apporter serait d'environ $110 + 1.3 \times 25 = 142$ kg N/ha (GREN, 2014).

En pratique, l'apport d'azote s'étale de février à début septembre. Le fractionnement de la dose totale dépend de la précocité de la variété cultivée, de l'enherbement du verger et du système d'irrigation mis en place. Premièrement, plus une variété est tardive, plus son besoin en azote est important, tout comme pour les autres éléments minéraux (phosphore, potassium, magnésium). Les apports vont en moyenne de 120 kg N/ha pour une variété précoce à 160 kg N/ha pour une variété tardive. Le fractionnement classique se divise en 4 apport, +/- 1 apport. Deuxièmement, une parcelle en partie enherbée nécessitera un apport supplémentaire afin d'éviter la concurrence entre la partie enherbée et l'arbre (Vidaud et al, 1987). Enfin, si le système d'irrigation mis en place permet de réaliser une fertirrigation, le fractionnement se réalise suivant les périodes d'irrigation qui seront décrites dans le point suivant. Le tableau 3 résume les périodes d'apport d'engrais azoté.

Tableau 3: Tableau du fractionnement de la fertilisation en fonction de la précocité de la variété cultivée

	Floraison	Entre floraison et récolte	Début septembre
Précoce	30%*	40%	30%
Saison	20%	2*30% à 2*40%	0 à 20%
Tardive	20%	2*30%	20%
Ferti-irrigation	20%	80% pdt irrigations	/

*part de l'apport total

Les besoins en potassium sont équivalents à ceux en azote, soit un apport d'environ 180 kg/ha. La stratégie de fertilisation se base sur les mêmes principes que pour l'azote. Les besoins en phosphore sont de 40 à 70 kg/ha pour un verger en production. Ces doses sont apportées souvent en même temps que la fertilisation azotée via du phosphate d'ammoniaque (Hilaire et Giaucque, 2003).

I.3.c.ii Irrigation

Les besoins en eau du verger pêche nectarine sont d'environ 6000 m³/ha/an. Dans les régions au climat estival sec, ces besoins peuvent s'élever jusqu'à 7000 m³/ha/an. Les besoins en eau sont fournis par les réserves du sol, les pluies et par le système d'irrigation. L'irrigation est lancée à partir d'avril-mai, soit au moment où les pluies se raréfient. De même, au moment où les pluies s'accroissent l'irrigation est arrêtée, c'est-à-dire généralement au mois de septembre. Il existe aujourd'hui 2 systèmes d'irrigation principaux : la micro-aspersion et le goutte à goutte.

Les besoins en irrigation de la culture sont déterminés par la formule du bilan hydrique :

$$\text{Quantité d'eau à apporter} = K.\text{opt} * \text{ETP} + \text{drainage} - (\text{pluie} + \text{RU})$$

Légende :

K.opt : coefficient cultural optimisé, calculé à partir de l'évapotranspiration maximale (ETM).

ETP : évapotranspiration potentielle

Cette clé de détermination étant très théorique puisqu'elle se base sur des hypothèses, il existe aujourd'hui des tensiomètres, outils capables de déterminer à quel moment l'arbre est sous irrigué. Ils permettent de mesurer l'humidité située à une profondeur donnée et de déclencher le début de l'irrigation.

I.3.d. Techniques culturales sur pêcher : tailles et éclaircissage

I.3.d.i Taille d'hiver, taille en vert et autres tailles

Le pêcher étant un arbre naturellement buissonnant, il est essentiel de réaliser des tailles tout au long de la vie du verger afin de maîtriser la vigueur et d'atteindre les objectifs de productions souhaités. Il existe de nombreuses pratiques de tailles avec des objectifs spécifiques, comme la taille de formation qui permet de former l'arbre de sa plantation jusqu'à la mise en production. D'autres pratiques de tailles existent mais ne sont pas systématiques : taille d'éclaircissage, taille après récolte, pré-taille ou encore taille de restructuration. Le tableau 4 présente les tailles pratiquées tous les ans (pour la plupart des vergers) et leurs caractéristiques (Hilaire et Giaucque, 2003).

Tableau 4: Période et caractéristiques des différentes tailles pratiquées en verger de pêche-nectarine

	Période	Caractéristiques
Taille d'hiver	De novembre à mars-avril	Permet de choisir les organes qui vont produire. Il faut déterminer le nombre de rameaux que l'on souhaite conserver et leur position.
Taille en vert	De mai à fin août	Elle permet d'éliminer les rameaux ne participant pas à la production, notamment les « gourmands (cf. I. b. ii). Pour rééquilibrer la partie végétative et la partie productive de l'arbre.

I.3.d.ii Eclaircissage

L'éclaircissage est une étape essentielle pour déterminer la charge en fruit finale de l'arbre. Elle permet de déterminer les calibres de fruits et le rendement souhaités. Aujourd'hui, il existe peu de solutions pour éclaircir chimiquement. L'éclaircissage mécanique présente un risque important d'abîmer le fruit. L'éclaircissage manuel est la pratique la plus courante car elle permet de répartir équitablement les fruits sur l'arbre, de supprimer les fruits déformés, trop à l'ombre ou portés par des branches faibles. Il peut se faire à la main, à l'aide d'une baguette ou d'autres outils comme la pince à olive. Suivant la longueur du rameau, il est conseillé de conserver 4 à 6 fruits par rameau, le nombre de rameaux ayant déjà été fixé lors de la taille d'hiver. L'éclaircissage dépend de la charge en fruits souhaitée, qui dépend de la capacité de la variété à produire, et de sa capacité à obtenir les calibres commercialisables.

I.4. Les principaux bioagresseurs du pêcher et leur gestion

Il existe de nombreux bioagresseurs du pêcher, bien qu'ils ne soient pas tous responsables de dommages au sein du verger. La diversité des moyens de lutte permet de maîtriser les infestations de nombreux organismes phytoparasites. Cette partie présentera les principaux ravageurs et maladies de la pêche nectarine, les adventices n'étant pas une problématiques (Vidaud et al, 1987), puis les moyens de lutte principalement utilisés aujourd'hui.

I.4.a. Les ravageurs du pêcher

Le tableau 5 résume les principaux insectes ravageurs du pêcher, fréquents, occasionnels et rares.

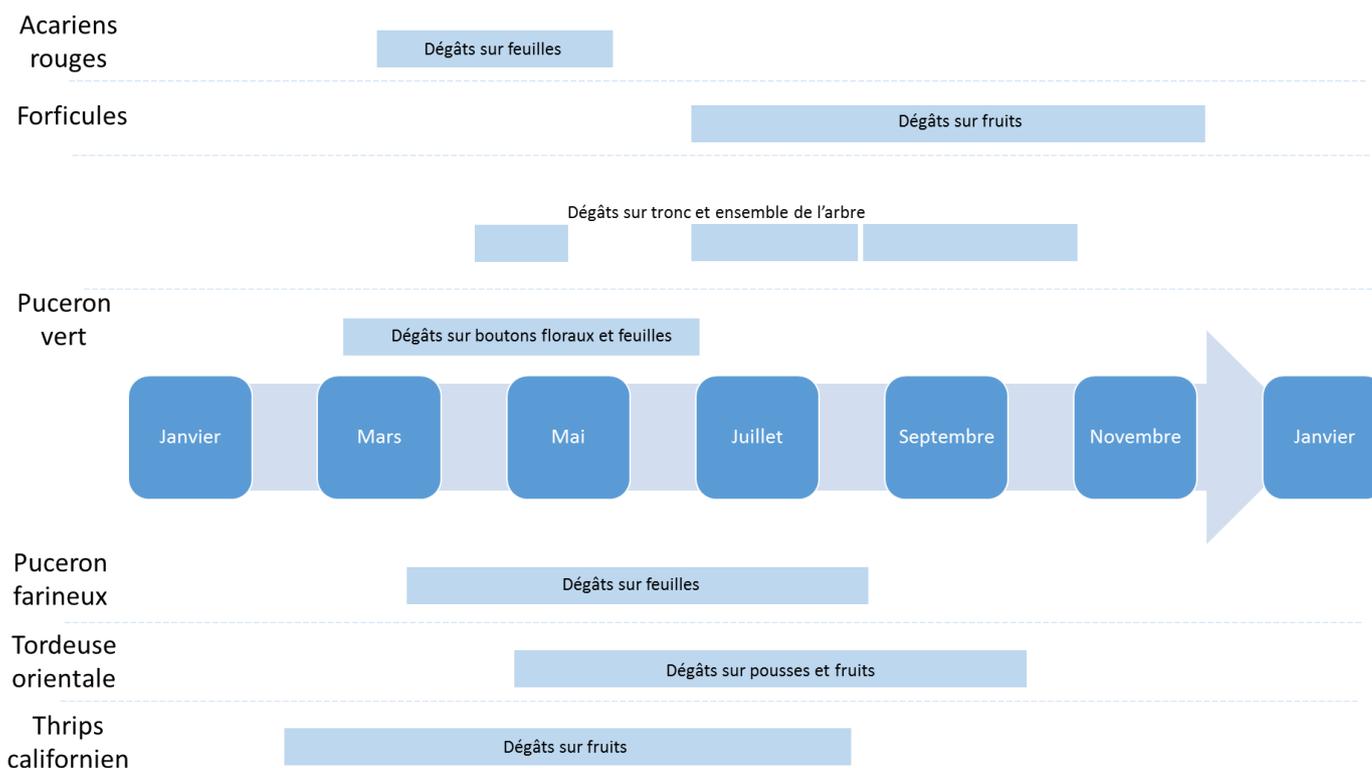
Tableau 5 : Principaux ravageurs du pêcher

Fréquents/Importants	Occasionnels	Rares
Acarie rouges	Phytopte Charançon phyllophage	Coléoptères xylophage et Rynchites frugivores
Cochenille blanche du mûrier	Mouche méditerranéenne des fruits Pou de San José / Lécane du pêcher	
Puceron vert du pêcher	Puceron noir / brun / farineux / cigarier Flatide pruineux	Autres cicadelles Lyda du pêcher
Tordeuse orientale du pêcher	Forficule Petite mineuse du pêcher et Lépidoptère xylophage	Cerostome de pêcher Cheimatobie brumeuse

		Petite mineuse des arbres fruitiers Tordeuse de la pelure et autre tordeuses
Thrips californien	Thrips méridionalis	Autres thrips
	Escargot / Limace	
	Campagnol et lapin	

Hilaire et Giaque, 2003.

Pour les ravageurs les plus fréquents, les périodes d'infestation et les dégâts occasionnés en verger sont résumés dans la Figure 1. Bien qu'ils soient plus rares sur l'ensemble des vergers de pêchers français, le puceron farineux et les forficules sont également problématiques dans les vergers de pêchers de l'INRA d'Avignon.



I.4.b. Les maladies du pêcher

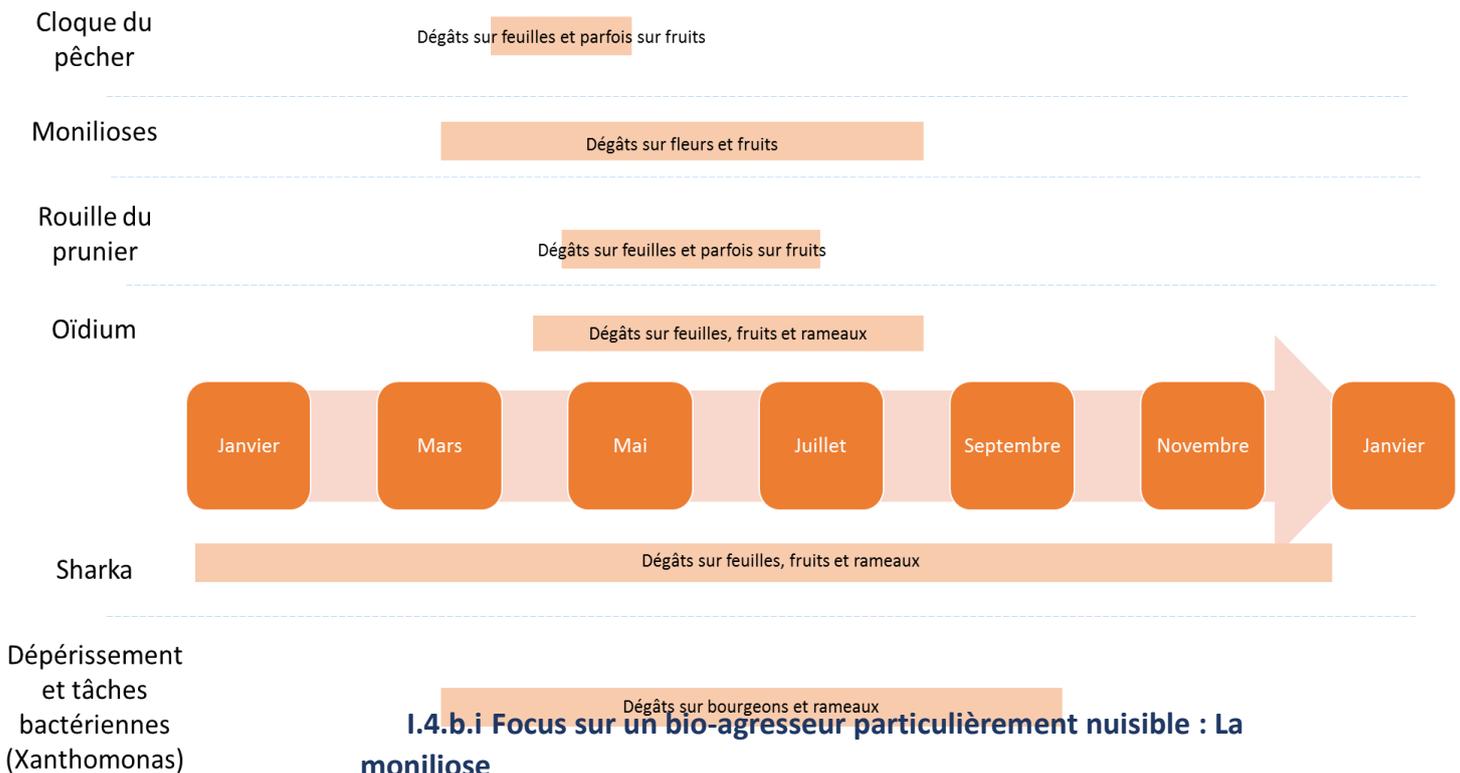
Figure 1: Période et dégâts de principaux ravageurs du pêcher

Le pêcher peut également être la cible de plus d'une quinzaine de maladies diverses, mais quelques-unes sont vraiment dommageables pour l'arbre. C'est le cas notamment de la Sharka, le dépérissement bactérien et des viroses. Ces infections sont préoccupantes car elles peuvent non seulement anéantir une récolte mais aussi les arbres contaminés. La Sharka, par exemple, induit automatiquement l'arrachage des arbres contaminés. Ces maladies ne peuvent être contrôlées via des mesures préventives et prophylactiques, et leur gestion est d'autant plus difficile que la réglementation limite voire interdit l'utilisation de produits phytosanitaires. Ci-dessous sont présentées les maladies pouvant infecter les vergers de pêchers (Tableau 6) et les dégâts qu'elles occasionnent (Figure 2).

Tableau 6 : Principales maladies du pêcher

Fréquents/Importants	Occasionnels	Rares
Cloque du pêcher	Maladie criblée Rouille du Prunier Plomb parasitaire	
Oïdium Monilioses	Pourritures	Tavelure noire du pêcher
	Cytospora Chancre à Fusicocum	
	Verticilliose Pourridiés	Phytophthora
Sharka Dépérissement bactérien Tâches bactériennes	PNRSV: Prunus necrotic ringspot viroid PIMVd: Peach latent mosaic virus Enroulement chlorotique de l'abricotier	PDV: Prune Dwarf virus PAS: Peach asteroid spot PSRS: Peach sooty ringspot

Figure 2 : Période d'infection et dégâts des maladies du pêcher



La moniliose est une maladie particulièrement problématique dans certains bassins de production (région PACA) car elle est favorisée par un climat humide et pluvieux en fin de campagne (1 mois avant récolte) ne peut être détectable à l'œil nu. Le champignon cause des dégâts sur fruits après récolte et il est responsable de nombreux litiges avec les stations de collecte qui refuse toute production comportant au minimum 1 fruit infecté. Il existe 3 souches de champignons pathogènes :

- *Monilia laxa* (fleurs et fruits)
- *Monilia fructicola* (fleurs et fruits)
- *Monilia fructigena* (fruits)

Sur fruits, la moniliose se développe avec des taches brunes et le fruit pourrit (boursouflures brunes/grises/blanches suivant le type de champignon). La maladie se propage par contact entre fruits, ce qui explique les problèmes de litiges à la vente (un fruit monilié contamine toute la palette de fruits). Auparavant, les conidies sont propagées par le vent, les insectes et la pluie. Les chancres et ou rameaux infectés restés accrochés à l'arbre sont aussi des sources potentielles d'infection (CTIFL, 2001).

I.4.c. La gestion des bioagresseurs en verger pêche-nectarine

I.4.c.i Le contexte pré-PFI (production fruitière intégrée)

La production fruitière reste une production à part en agriculture. La pérennité des vergers amène les bioagresseurs à persister sur la parcelle, et les contrôler induit une application répétée de produits phytosanitaires. A cela s'ajoute une exigence de production « 0 défauts » et des objectifs de calibres à atteindre, qui fait que la production fruitière est l'une des productions agricoles les plus traitées. En 2001 les vergers représentaient 21% du marché français des insecticides pour 1% de la SAU en France. La sélection génétique étant orientée sur l'aspect gustatif et visuel du fruit, elle s'est moins intéressée au contrôle des bioagresseurs. L'utilisation de pesticides à même tendance à augmenter, notamment à cause de l'apparition de résistances chez certains bioagresseurs (Le Roux et al, 2008), et de l'évolution des exigences pour rester compétitif face aux marchés étrangers (l'Espagne notamment pour ce qui est de la pêche) (Hochart, 2014). En conséquence, les vergers se densifient pour produire plus et plus rapidement, mais ce modèle de production est favorable à l'installation des bioagresseurs du verger (Le Roux et al, 2008).

I.4.c.ii Le concept de PFI

C'est dans ce contexte qu'est née la Production Fruitière Intégrée (PFI). Ce concept, défini par l'organisation internationale de lutte biologique (OILB), est définie comme « un système de production économique de fruits de haute qualité donnant la priorité aux méthodes écologiquement plus sûres minimisant les effets secondaires indésirables et l'utilisation de produits agrochimiques, afin d'améliorer la protection de l'environnement et de la santé humaine ». La PFI est souvent associée à la production dite raisonnée, avec un aspect qualitatif de la production important, ce qui n'est pas le cas en production raisonnée (Bellon et al, 2006). La PFI s'appuie sur la lutte chimique et sur des leviers alternatifs pour contrôler les bioagresseurs de la culture, mais surtout pour éviter leur installation et encourager les mécanismes de lutte naturels. Ces leviers alternatifs se classent en plusieurs catégories :

- **Contrôle génétique** : c'est l'un des principaux leviers, voire le principal levier de lutte existant bien avant l'apparition de la PFI. Le choix de la variété et du porte-greffe est déterminé en partie par leurs résistances ou sensibilité à certaines maladies. En vergers de pêcher, on note une importante offre variétale sur la variabilité de la sensibilité à la cloque, l'oïdium ou encore les thrips.
- **Contrôle cultural** : C'est un levier indirect qui mobilise les méthodes culturales pour contribuer à la réduction des bioagresseurs au sein du verger. La gestion de l'irrigation

et/ou de la fertilisation sont des moyens de l'imiter certains bioagresseurs du pêcher tels que les pucerons (la fertilisation excessive favorise leur développement).

- **Lutte physique** : Ce levier est notamment utilisé pour supprimer l'utilisation des herbicides. Elle permet de diminuer les IFT sans impacter les moyens de lutte chimique contre les maladies et les ravageurs du pêcher. Le désherbage mécanique ou le paillage sur le rang sont des méthodes très efficaces.
- **Lutte biologique** : L'exemple le plus connu est le lâcher d'auxiliaires pour contrôler les ravageurs (cochenilles, pucerons, acariens). Il existe aussi comme moyen de lutte biologique la pulvérisation de micro-organismes contre des ravageurs (tordeuse orientale du pêcher).
- **Lutte biologique par conservation** : Contrairement à la lutte biologique classique, le but de ce levier est de favoriser les auxiliaires et leurs habitats au sein du verger. Les pratiques culturales sont alors adaptées pour permettre de mettre en place des structures paysagères proches (bandes enherbées, haie, enherbement de l'inter-rang favorable à l'installation des prédateurs naturels des bioagresseurs du verger.
- **Lutte biotechnique** : La lutte biotechnique se base sur les connaissances de la physiologie des bioagresseurs. La confusion sexuelle contre la tordeuse orientale et le piégeage massif à phéromone contre la mouche méditerranéenne en sont de bons exemples.
- **Produits divers** : On y trouve les produits peu préoccupants pour la santé humaine (urée, stimulateurs de défense des plantes, glu) et les produits de biocontrôle (macro et micro – organismes, médiateurs chimiques ...). Certains produits de biocontrôle entrent dans d'autres catégories de lutte alternatives comme la lutte biologique (pulvérisation de micro-organismes).

(Laget et al, 2014)

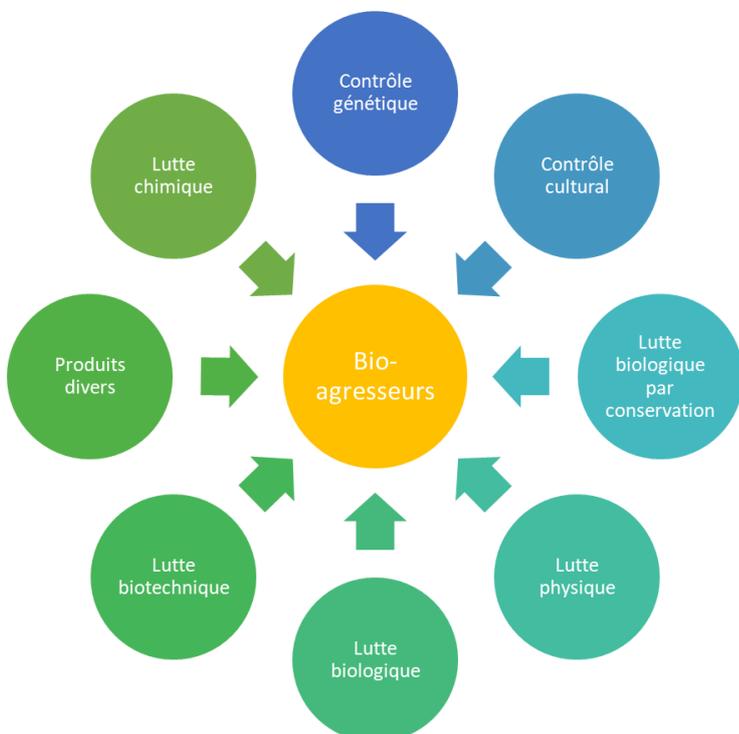


Figure 3: Diagramme des différents leviers d'action pour lutter contre les bio-agresseurs

La PFI est aujourd'hui l'orientation de production la plus courante en France. Malheureusement, la filière pêche vit un déclin fort depuis une dizaine d'années malgré le soutien de la grande distribution pour la production française de pêche (voir paragraphe précédent). C'est dans ce contexte qu'il est important de continuer à diminuer l'utilisation de pesticide par la mise en place de pratiques agro-écologiques, tout en conservant les critères de production souhaités (rendement, calibre, aspect visuel).

I.5. L'intérêt des vergers à bas niveau d'intrants (BNI)

I.5.a. Le programme Ecophyto en arboriculture

L'arboriculture est l'une des filières utilisant le plus de traitements phytosanitaires. Alors que les cultures annuelles mobilisent environ 4-5 IFT (en excluant la pomme de terre) (Agreste, 2019), l'arboriculture comptabilise jusqu'à 30 IFT en pomme. La pêche arrive en deuxième position des cultures arboricoles les plus traitées, avec un IFT moyen de 20 (Cretin et al, 2018). La moitié de l'IFT pêche concerne les fongicides pour contrôler 3 maladies : la cloque, la moniliose et l'oïdium. Ce sont les 3 maladies principales du pêcher et pour lesquelles il existe peu ou pas de moyens de lutte alternatifs (Lichou et al, 2001).

Dans le contexte d'augmentation de la population (9 milliards d'ici 2050) (Leridon et al. 2011) et le développement de l'utilisation des produits phytosanitaires (Baldi et al, 2013 ; Le Roux et al, 2008), l'agriculture doit donc continuer à produire suffisamment pour couvrir les besoins alimentaires de l'humanité, tout en préservant sa santé et l'environnement. C'est dans ce contexte qu'est né le plan Ecophyto en 2008 à la suite du Grenelle de l'environnement. Après 10 ans de mise en place et plusieurs remaniements, Ecophyto a toujours le même objectif : diminuer de 50% le recours aux produits phytosanitaire d'ici à 2025 (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015). Afin d'atteindre cet objectif, l'IFT est utilisé comme métrique. L'indice de fréquence de traitement (IFT) est un indicateur de suivi de l'utilisation des pesticides. Il permet d'estimer le nombre de doses par hectares sur une campagne complète. Il se calcule de la manière suivante :

$$\text{IFT} = \frac{\text{dose de produit appliquée}}{\text{dose homologuée du produit}} * \frac{\text{surface traitée}}{\text{surface totale considérée}} \text{ (Alim'agri, 2019).}$$

Le premier plan Ecophyto mis en place en 2008 n'a pas permis la diminution de l'IFT en arboriculture. En 2006, l'IFT moyen en arboriculture était de 17.3, avec un pic à 36.5 pour la pomme (ANSES, 2016). En 2015, cette moyenne tourne autour de 15.1 avec un pic d'IFT à 33.4 pour la pomme. On constate donc une légère baisse, mais les 50% de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires préconisée par le plan Ecophyto sont loin d'être atteints. La PFI ne semble en effet pas suffisante pour atteindre les objectifs d'Ecophyto. Le cahier des charges de la PFI n'interdit pas le traitement phytosanitaire mais le préconise en dernier recours. Or comme expliqué précédemment, les moyens de lutte alternatifs contre les maladies du pêcher sont rares, l'utilisation de produits phytosanitaires est alors quasi-systématique (Normand, 2013). Afin de rendre possible la diminution des IFT en verger de pêcher, il semble indispensable de penser au-delà de l'itinéraire technique, à l'échelle du système de culture et de l'organisation du verger.

I.5.b. Le verger BNI: une nouvelle conception du système de culture

Dans le rapport d'étude Ecophyto R&D, il a été montré que la diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires allait bien au-delà de la modification de l'itinéraire technique avec notamment la prise en compte des densités de plantation et des formes de conduite d'arbre pour gérer la pression des bioagresseurs (Butault et al, 2010). Pour obtenir ces résultats, le rapport compare différents niveaux d'utilisation de pesticides via le modèle d'analyse de durabilité des systèmes agricoles. Ce modèle conceptuel appelé ESR (Efficience-Substitution-Reconception) inventé par Hill en 1985 (Estevez et al, 2000) a été adapté dans le cadre du rapport d'étude Ecophyto R&D à la stratégie phytosanitaire et permet de mettre en avant 3 niveaux de durabilité en comparaison à une stratégie plus conventionnelle (aucune restriction du poste phytosanitaire).

- **Efficience** : Raisonnement de la stratégie phytosanitaire en fonction des périodes à risque et des observations.
- **Substitution** : Combinaison de moyens de lutte alternatifs en substitution du moyen de lutte chimique pour lutter contre les insectes et/ou les maladies.
- **Reconception** : Restructuration du verger et mobilisation d'autres postes pour rendre le verger moins dépendant aux produits phytosanitaires (densité de plantation, forme de conduite des arbres, irrigation, fertilisation ...)

(Ricci et al, 2010)

I.5.c. La conception d'un verger BNI via l'expérimentation système

Dans l'objectif de diminuer de 50% l'utilisation des produits phytosanitaires, les vergers BNI doivent atteindre le niveau 3 du modèle ESR pour réduire le plus efficacement l'IFT tout en diminuant faiblement le rendement par rapport à un système de culture en AB (Butault et al, 2010) (les chiffres concernent la pomme et non la pêche). En expérimentation, plusieurs moyens de lutte ont été expérimentés individuellement par analyse factorielle comme la lutte contre la tordeuse orientale du pêcher (Audemard et al, 1989), ou l'utilisation d'argile pour lutter contre le puceron du pêcher (Garcin, 2009). La mise en place d'essais factoriels ne semble pas optimale pour étudier les vergers BNI, puisqu'ils ne permettent que l'analyse isolée d'une ou plusieurs variables, alors que nous cherchons à analyser l'ensemble complexe d'un système de culture mettant en place plusieurs moyens de lutte alternatifs simultanément. L'expérimentation système semble plus pertinente pour évaluer la durabilité d'un système de culture à bas niveau d'intrants, une démarche qui était quasi-inexistante avant le lancement du plan Ecophyto en 2008 (Deytieux et al, 2012). L'expérimentation système fonctionne de la manière suivante :

PARTIE 1
Diagnostic et cadrage
de l'expérimentation

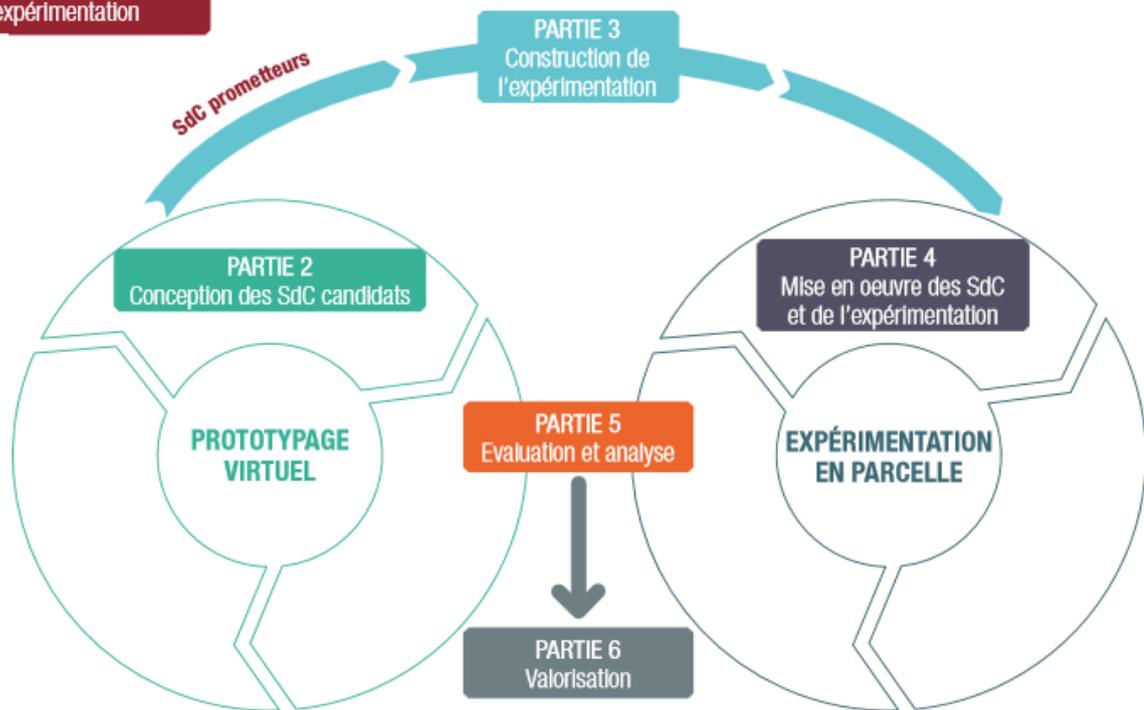


Figure 4 : Schéma de mise en place et déroulement d'une expérimentation système

1.5.c.i Partie 1 : Diagnostic et cadrage de l'expérimentation

Cette première étape permet de définir le contexte de l'expérimentation système en posant ses enjeux, sa problématique et ses objectifs vis-à-vis de la production souhaitée et des contraintes/opportunités qui lui sont liées. La pose du contexte demande d'identifier 3 critères fondamentaux de la production : les critères socio-économiques (commercialisation, main d'œuvre ...) et socio-culturel (réglementation, voisinage), mais aussi les caractéristiques physiques de la production (climat, pédologie ...). Une expérimentation système peut répondre à plusieurs enjeux et plusieurs problématiques.

1.5.c.ii Partie 2 : Conception des Systèmes de cultures potentiels

La conception passe par 4 étapes. Dans un premier temps, il faut identifier les résultats attendus du système de culture définis grâce aux objectifs de l'essai.

Il faut ensuite constituer les prototypes des Systèmes de culture candidats, via l'expertise de professionnels et/ou par modélisation. Différents types de conception existent et permettent de s'adapter au contexte de l'étude. Les expérimentateurs ont le choix entre la conception de novo, conception en rupture avec l'existant (type de conception plus créatif et exhaustif sur les techniques potentielles à tester) ou pas à pas, transition progressive vers des systèmes innovants (conception s'adaptant plus facilement à un contexte précis).

Ces prototypes sont par la suite évalués a priori sur leurs performances par rapport aux objectifs fixés, via différents outils d'évaluation comme le calculateur Stephy (comparaison simple de systèmes de cultures basés sur les performances environnementales) ou Dexi (programme d'aide à la décision sur des systèmes complexes mobilisant plusieurs critères de performance comme les systèmes de culture). Au préalable, les Systèmes de culture conçu sont définis par un modèle prévisionnel informant sur les interventions culturales et les rendements prévus sur plusieurs années. Des systèmes de culture

« prometteurs » sont sélectionnés suivant leur capacité à répondre aux critères retenus, les moyens de mise en place et les contraintes de l'expérimentation et du dispositif expérimental.

Enfin, il faut décrire le système décisionnel de chaque prototype « prometteur », correspondant à un ensemble de fonctions (rôle) et des solutions. Les fonctions des systèmes de cultures sont soit de production (ex : alimentation azotée), soit de service (ex : pesticides). Les solutions pour répondre aux fonctions sont les règles de décision (RdD). Stratégiques ou opérationnelles, la RdD est « *le lien logique entre les objectifs de les actions à mettre en œuvre dans chacune des situations que l'on peut rencontrer dans un contexte donné* » (extrait du guide de l'expérimentateur système, Havard et al, 2018).

I.5.c.iii Partie 3 : Construction de l'expérimentation

La mise en œuvre de prototype nécessite d'abord de décrire le dispositif expérimental (choix multi-site ou non, choix de parcelles, temps de travail nécessaire ...). Ensuite le système décisionnel de chaque système de culture expérimenté est décrit précisément. Il faut réaliser le corpus des RdD qui régissent les systèmes de culture et les formaliser pour qu'elles soient bien appliquées sur le terrain.

Enfin, il reste à mettre en place les protocoles sur les observations et les mesures à réaliser. Les données collectées au champ permettent de piloter le système de culture, de vérifier la réalisation des interventions et l'application des RdD, d'évaluer sa capacité à répondre aux objectifs et comprendre les résultats obtenus. Un planning est réalisé en fonction du personnel disponible, des intervalles de temps optimaux, et suivant la dépendance des mesures / observations les unes aux autres.

I.5.c.iv Partie 4 : Mise en œuvre des Systèmes de culture et de l'expérimentation

Cette étape assure la coordination de toutes les actions (interventions, mesures, observation) nécessaires à l'essai système. Le travail de terrain étant très différent de la conception théorique des systèmes de culture et des protocoles, cette étape a aussi pour fonction de réajuster les RdD. Elles peuvent être modifiées à la fin d'une campagne culturale ou pendant la campagne dans l'absolu, même si ce genre de changement impacte plus le bon déroulement d'un essai système. Enfin, la gestion des données reste un point essentiel de cette étape. Quelques ajustements et/ou précisions peuvent être apportés sur la forme de saisie des données et sur les outils informatiques à utiliser.

I.5.c.v Partie 5 : Evaluation et analyse des essais système

L'essai système est évalué sur le système réalisé (ensembles des actions et résultats pour chaque parcelle chaque année) et sur le système pratiqué (synthèse de l'ensemble des parcelles de l'essai sur plusieurs années), sur points suivants :

- La faisabilité technique : vérifier si les RdD et les interventions ont pu être mise en place et si non quelle en est la cause.
- Les résultats techniques et agronomiques : déterminés si les objectifs auxquels devait répondre le systèmes de culture ont été atteints, d'un point de vue agronomique (état du sol, carences, bioagresseurs ...) et/ou technique (rendement, calibre, qualité visuelle ...).

- Le diagnostic agronomique : comparer l'état de la parcelle à un état attendu.
- La durabilité du système de culture : évaluer plus globalement et avec plusieurs critères le fonctionnement du systèmes de culture.

Cette évaluation peut entrainer de la modification et l'ajustement des RdD jusqu'à une révision des objectifs à atteindre dans certains cas.

I.5.c.vi Partie 6 : Valorisation des résultats

L'expérimentation système fait intervenir de nombreux acteurs : des experts, des agriculteurs et des chercheurs travaillent en collaboration pour concevoir un essai. Les travaux sont valorisés de la conception à la présentation des résultats. Cette approche encore très récente permet aussi de développer ses compétences et de considérer l'information d'une autre manière, plus systémique, plus globale.

I.5.c.vii Comparaison essai factoriel et essai système

Le tableau 7 permet de comparer les essais factoriels et les essais système sous plusieurs aspects.

Tableau 7: Différences entre un essai factoriel et une expérimentation système.

	Essai factoriel	Expérimentation système
Objectif	Comparer des modalités techniques et leur effet sur des variables	Evaluer la capacité d'un Systèmes de culture à atteindre les objectifs. Systèmes de culture piloté par des règles de décisions.
Protocole	Micro-parcelles, modalités croisées, mesures	Grandes parcelles, description du système prévisionnel (stratégies et gestion d'itinéraires techniques), mesures
Analyse et interprétation	Comparaison ou écarts entre modalités, parfois avec témoin	Faisabilité technique, réponse aux objectifs, performances (environnementales, sociales, économiques). Comparaison selon les expérimentations, parfois avec témoin.
Critères de qualité expérimentale	Puissance, précision, maîtrise de l'hétérogénéité.	Cohérence et logique du Systèmes de culture, traçabilité, évolution Systèmes de culture/règles de décisions/objectifs, explicitation des décisions et résultats obtenus, significativité des résultats
Regroupement des essais	Protocole et méthodes communes, adaptés localement si nécessaire.	Objectifs, stratégies communes, observations communes, Systèmes de culture définis localement, règles de décisions locales mais parfois communes.

Les avantages d'une expérimentation système sont la capacité d'évaluation, plus globale et donc plus proche de la réalité, la pluridisciplinarité et la longévité qui renforce les réseaux producteurs-conseillers-chercheurs, et la production de références qui diffèrent et peuvent apporter des informations complémentaires. Cependant elle comporte aussi quelques défauts. Etant disposées très localement, les expérimentations systèmes ont une faible représentativité. Elles demandent aussi de très grandes surfaces dont l'homogénéité n'est pas certaine, ce qui peut se répercuter sur les résultats. Enfin, l'échelle d'évaluation reste limitée et ne prend pas en compte la structure du paysage ou encore l'organisation du travail (Havard et al, 2018).

Dans le cadre de mon stage, j'ai participé à différentes étapes du processus de conception dans le cadre de deux projets : les étapes 4 (expérimentation) et 5 (évaluation) du projet Ecopêche, et l'étape 2 (conception) du projet Ecoverger. Dans ce dernier cas, il est difficile de se fixer sur une étape car la conception n'aboutira pas forcément sur un essai

expérimental car ce n'est pas dans l'objectif du projet. Le prochain chapitre présentera plus en détails ces projets.

I.6. Le projet Ecopêche : Conception et évaluation multi-site de vergers de pêche-nectarines économes en produits phytosanitaires et en intrants

I.6.a. Mise en place et objectifs

Le projet Ecopêche a été mis en place en 2012 à la suite du projet ANR GéDuPIC en 2011 et de la synthèse d'étude de 2010 Ecophyto R&D (Butault et al. 2011). Ces deux projets mettent en évidence la nécessité de diminuer l'utilisation de pesticides et comment cette diminution peut s'opérer, quels moyens peuvent être mobilisés. Le projet Ecopêche, d'une durée de 5 ans (2012 – 2018) rassemble plusieurs sites d'expérimentation : l'INRA d'Avignon (84), l'INRA de Gothenon (26), le CTIFL de Balandran (30), la SEFRA à Etoile-sur-Rhône (26), la SICA CENTREX à Torreilles (66) et la station Sud Expé de Saint Gilles (30). Il vise la production de références sur des systèmes de culture capables de réduire fortement l'utilisation de produits phytosanitaires tout en produisant des fruits de qualité pour assurer la rentabilité économique de la culture. L'objectif d'Ecopêche est de concevoir et évaluer ces nouveaux systèmes de culture conciliant performances agronomiques, économiques et environnementales (Dephy Ecophyto, 2012), par rapport à un système de culture de référence représentatif d'une situation de production en PFI. Pour cela, le projet s'appuie sur les leviers/pratiques culturelles suivants pour diminuer l'utilisation d'intrants adaptés à la région de production :

Site	N° Essai	Systèmes	variété	Contrôle génétique	IAE (a)	Entretien du sol (sur le rang) (b)			Lutte biologique et biotechnique		Lutte physique	Méthode culturale	Raisonnement de la lutte et efficience							
				variété moins sensible	variété résistante	Lutte biologique par conservation	désherbage chimique	travail mécanique	Couverture végétale + tonte	paillage	Confusion sexuelle (c)	Produits de Biocontrôle	Barrière physique (argile)	prophylaxie	Atténuation: architecture - microclimat	Atténuation: irrigation- ferti. N	Prediction risques : échelle régionale (BSV)	Contrôles + piégeage + seuil intervention	Stratégies + risquées : seuils + élevés, impasses	Adaptation traitements au volume des arbres (d)
INRA PSH Avignon	Essai 1	Ref 1	Nectarlove				X						X				X			
		ÉCO_2Y_2	Nectarlove		X		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		ÉCO_YO_2	Nectarlove		X		X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 8: Tableau des leviers mobilisés par système de culture

I.6.b. Résultats observés de 2012 à 2015 et Ecopêche II

Le projet a été reconduit en 2019 pour une durée de 5 ans (2019-2023) (Ecophytopic, 2018) afin de poursuivre l'évaluation des performances sur une durée suffisante par rapport à la phase de production d'un verger (6 à 8 années), et notamment sur la résilience de ces nouveaux Systèmes de culture (effets cumulatifs des pressions de bio-agresseurs, de l'état sanitaire des arbres, de la diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires ...). C'est notamment la volonté de l'expérimentation basée à l'INRA d'Avignon. Il s'agira également de

tester de nouvelles pratiques novatrices et ambitieuses, comme l'utilisation de bâches anti-pluie ou de plantes de service, pour diminuer davantage les IFT dans les vergers. C'est par exemple le cas de l'expérimentation basée au CTIFL de Balandran. Enfin, cette extension du projet Ecopêche permettra à d'autres sites de repartir sur un nouveau verger. Un des objectifs secondaires serait aussi de s'intéresser à la production 0 résidus. Les résultats de 2018 ont montré que les vergers économes en produits phytosanitaires (réduction d'environ 52%) faisaient baisser les coûts de production de 15% mais impactaient négativement les marges (-15%) par rapport au système de référence. Par le prix de vente des pêche-nectarines en AB, les marges sont similaires au système de référence malgré une diminution de 64% du rendement. Dans l'ensemble, 28% des systèmes économes et 50% des systèmes en AB sont classés Systèmes Economes et Performant. Une augmentation de 0.15€ du prix de vente pour les systèmes à bas niveau d'intrants (économes) permettrait de compenser les pertes de rendement, et ainsi aider à la mise en place de ce type de système (Plénet et al, 2019). Le « 0 résidus » serait une voie de valorisation supplémentaire de la production, qui justifierait l'augmentation du prix de vente auprès des consommateurs.

I.6.c. Le problème de la gestion de la moniliose

Puisqu'elles sont invisibles à l'œil nu, le seul indicateur pour traiter les monilias reste le climat. Les orages courants estivaux impactent sur la sensibilité des variétés tardives, plus sensibles au monilia que les variétés de saison ou précoces. Les traitements sont préventifs, il n'existe encore aucune alternative efficace aux produits phytopharmaceutiques. Le nombre de passages s'étend de 1-2 (précoces) à 4-5 (tardives), voire plus si le climat est vraiment favorable au développement des champignons. Les traitements sont proches de la récolte (parfois un traitement entre 2 passages de récolte), les résidus de pesticides retrouvés sur les fruits sont donc principalement des résidus de fongicides anti-monilia. Des études ont été réalisées pour mieux connaître la moniliose (Oliveira Lino et al, 2015) et ses mécanismes d'infection. La moniliose parvient à passer l'épiderme du fruit via des micro-cracks. Ces cracks de l'épiderme sont favorisés par une croissance brutale du fruit, causée par une irrigation peu fractionnée et importante à chaque passage. Une taille et/ou un éclaircissage sévère favorise aussi le phénomène de cracking (Miràs-Alvados et al, 2013). Face au scepticisme des consommateurs concernant l'agriculture conventionnelle, combiné au besoin de réduction des intrants en agriculture, il est aujourd'hui essentiel de trouver des solutions alternatives contre la moniliose (CTIFL, 2003). Si la lutte contre la moniliose représente une partie des objectifs du projet Ecopêche, le projet Ecoverger lui est centré sur cette maladie.

I.7. Le projet Ecoverger : Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguiier.

I.7.a. La modélisation en agriculture et en production fruitière

Plusieurs enjeux ont permis de développer la modélisation en agriculture. D'une part, le besoin de changement profond en agriculture (par exemple la réduction de 50% de l'IFT dans le cadre du projet Ecophyto) amène à proposer des innovations de rupture qui prennent en compte à la fois les aspects environnementaux, agronomiques et économiques de la production alimentaire. La recherche a donc besoin d'outils pour analyser et évaluer un grand nombre de critères de performance interdépendants. D'autre part, le nombre de paramètres à prendre en compte est de plus en plus important avec parfois des échelles plus larges (paysage), ce qui peut difficilement être testé en expérimentation. La modélisation permet de réaliser ses évaluations complexes (Mollier et al, 2013). Les aspects recherchés dans un modèle sont d'une part l'adaptabilité de ses entrées et sorties pour répondre à la question traitée, sa sensibilité et sa robustesse ainsi que sa qualité décisionnelle et/ou prédictive (Labidi, 2016).

En production fruitière, les modèles sont apparus dans les années 90 pour décrire les mécanismes physiologiques impliqués dans l'architecture des végétaux. Ces derniers ont permis par la suite d'améliorer les systèmes de production dans l'objectif de produire de manière raisonnée (Coste, 1998). Aujourd'hui, il existe des modèles permettant d'optimiser les scénarii de production (Bergez et al. 2004; Debaeke 2004; Rinaldi et al. 2007; Arora et al. 2007) pour une meilleure gestion de l'azote et du carbone. Cependant ces modèles s'intéressent principalement au rendement et à l'effet de certaines pratiques isolées comme la fertilisation. Le modèle Qualitree permet d'intégrer l'effet de plusieurs pratiques à la fois sur le rendement et sur la qualité (Lescourret et al, 2011).

I.7.b. Le modèle Qualitree

Qualitree est un modèle prédictif permettant d'évaluer l'impact des pratiques culturales sur l'évolution et la variabilité de la qualité du fruit. L'arbre est décrit comme un ensemble de compartiments correspondant aux unités de fructification (arbre, racines, vieux bois, rameaux mixtes...), ces compartiments sont le centre des échanges de carbone, quantifiés sous forme de plusieurs variables (sucrose, fructose, saccharose et sorbitol) pour évaluer la qualité du fruit. Les pratiques culturales prises en compte (éclaircissage, tailles, interventions chimiques et irrigation) influent sur les échanges de carbone entre ces compartiments, ce qui modifie les sorties du modèle (Lescourret et al, 2011).

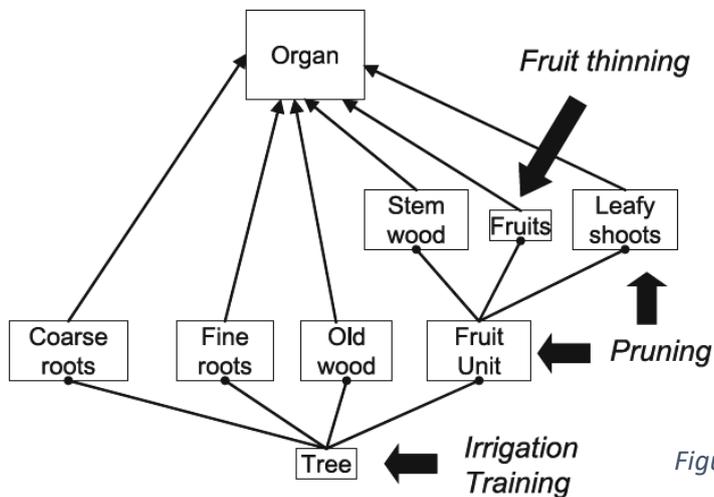


Figure 5 : Schéma de fonctionnement du modèle Qualitree

La moniliose pouvant être en partie contrôlée par un ensemble de pratiques culturales, le modèle Qualitree est un outil intéressant pour aider à la conception de nouveaux itinéraires techniques : il prend en compte les processus de régulation de la maladie, l'élaboration du rendement et de la qualité des fruits, ainsi que des règles de gestion et des indicateurs de performances.

I.7.c. Le projet Ecoverger

Le projet Ecoverger coordonné par le CIRAD de la Réunion depuis 2014, vise à co-construire et évaluer des itinéraires techniques en vergers qui limitent les dommages des bioagresseurs et satisfont les critères de production des acteurs. Le projet porte sur les cultures de la mangue (Réunion) et de la pêche (Avignon), mais seulement la partie sur la pêche sera abordée dans ce rapport.

Une démarche en 4 étapes permet de répondre à l'objectif du projet. La 1^{ère} étape consiste à centraliser et approfondir les connaissances biotechniques sur les méthodes alternatives aux interventions chimiques et sur les effets de pratiques sur le fonctionnement de l'arbre. Cette partie a notamment été alimentée par les résultats obtenus par le projet Ecopêche et par le modèle Qualitree. Dans la 2^{ème} étape, la collecte d'informations sur les pratiques et les stratégies des producteurs permet de produire des indicateurs d'évaluation des performances. La 3^{ème} étape pose le cadre de modélisation avec la création d'un modèle biotechnique issu de l'étape 1 et d'un modèle décisionnel co-construit grâce à l'étape 2. Enfin, la 4^{ème} étape consiste à coupler les 2 modèles pour proposer un outil d'appui à la conception et l'évaluation de profils candidats d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers, qui répondent aux attentes des acteurs.

Le projet, qui se termine en octobre 2019, est rendu à l'étape 4. A l'issue de l'étape 3, le couplage du modèle Qualitree avec un modèle épidémiologique développé par Bevacqua et al. (2019), associé à des algorithmes d'optimisation multicritères, permet d'utiliser le modèle comme un outil d'évaluation d'itinéraires techniques (ITK) pour gérer la moniliose. L'objectif est maintenant de tester et évaluer différents ITK de groupes de producteurs en fonction de différents contextes de production, pour mettre à l'épreuve le modèle .

I.8. Formulation de la question posée

Ma principale mission porte sur le suivi et l'évaluation du dispositif expérimental Ecopêche basé à l'INRA d'Avignon, composé d'un système de référence et de deux systèmes conduits à bas niveau d'intrants (BNI). Par bas niveaux d'intrants, on entend une **réduction phytosanitaire de 50%** et une **réduction de l'irrigation de 30%** (un des leviers mobilisés pour la gestion des maladies et des ravageurs) pour le projet Ecophyto I. L'objectif d'Ecophyto II est de diminuer **de plus de 50%** l'utilisation des produits phytosanitaires, tout en conservant une production rentable et des fruits de qualité.

Les vergers à bas niveau d'intrants sont-ils capables de répondre aux objectifs technico-économiques et environnementaux souhaités ? Comment se comportent-ils face aux nouvelles techniques mises en place pour réduire les intrants ?

Ces questions seront traitées en 3 objectifs hiérarchisés :

Le premier objectif est d'évaluer la capacité à répondre aux critères agro-environnementaux. Pour cela, les Systèmes de culture BNI doivent réduire de plus de 50% leur utilisation de produits phytosanitaires et de plus de 30% les autres intrants par rapport au Systèmes de culture de référence. Ils doivent aussi obtenir des performances équivalentes au verger de référence (rendement, calibre, qualité gustative et pression bio-agresseurs).

Le second objectif est de déterminer si ces Systèmes de culture BNI sont capables de répondre aux critères technico-économiques. Pour cela, ces Systèmes de culture devront maintenir des marges économiques suffisantes par rapport au Systèmes de culture de référence.

Le troisième objectif consiste à déterminer si les vergers conduits en BNI sont aussi résilients que le verger de référence. Nous définissons la « résilience » comme l'a défini Brian Walker en 2004 :

« La résilience est l'aptitude d'un système à absorber des perturbations, à changer et conserver néanmoins la même fonction, la même structure, la même identité, les mêmes rétroactions »

Pour cela, le maintien de la production doit se vérifier d'une campagne à l'autre, d'autant plus pour les systèmes BNI S2 et S3 qui mobilisent plus de leviers.

Le schéma conceptuel ci-dessous résume le système étudié et les variables d'entrées (variables explicatives) et de sorties (critères de performance) de l'expérimentation.

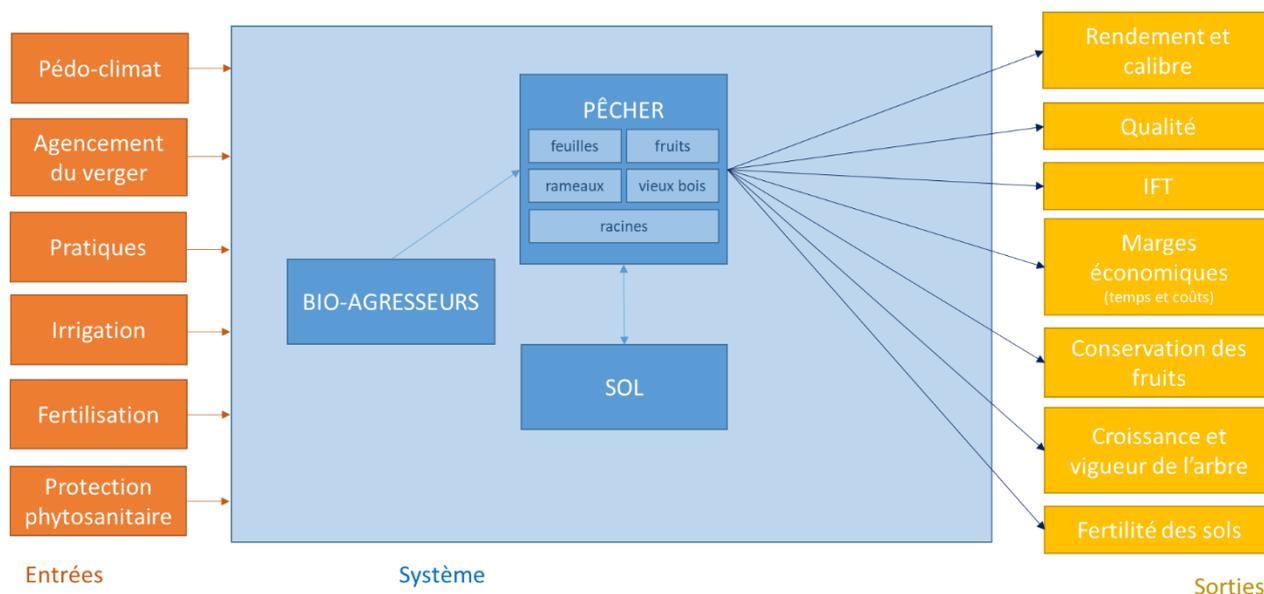


Figure 6: Schéma conceptuel de l'expérimentation Ecopêche de l'INRA d'Avignon

Afin de répondre à cette question, voici un plan d'analyse permettant de structurer la chronologie des résultats à présenter et expliquer.

Objectif 1 : évaluer les performances agronomiques avec 50% d'IFT en moins et 30% d'intrant en moins.

Hypothèse 1 : On observe bien une différence d'IFT de 50% entre le Systèmes de culture REF et les Systèmes de culture BNI et une réduction des intrants (eau et fertilisants) de 30% entre le Systèmes de culture REF et les Systèmes de culture BNI.

Hypothèse 2 : Pour un IFT – 50%/ REF, on observe :

- Une croissance végétative et nutritionnelle similaire, ainsi qu'un niveau sanitaire similaire.
- Des rendements, calibres et indices réfractométriques similaires, soit des performances agronomiques similaires.

Car la réduction des intrants a été réalisée en mettant en place des pratiques alternatives qui permettent de maintenir les standards de rendement et de qualité visuelle et organoleptiques souhaités.

Objectif 2 : Evaluer les performances technico-économiques des Systèmes de culture BNI par rapport au Systèmes de culture REF.

Hypothèse 3 : Si l'hypothèse 2 est vérifiée, on observera des marges partielles similaires voire supérieures pour les Systèmes de culture BNI.

Car les rendements et les calibres étant similaires pour les 3 systèmes, les chiffres d'affaire devraient être similaires. Concernant les coûts de production, la réduction de l'IFT et des intrants entraîne une diminution des coûts de production, ce qui permet d'augmenter la marge partielle des Systèmes de culture BNI.

Objectif 3 : Evaluer la résilience des Systèmes de culture BNI par rapport au Systèmes de culture REF

Hypothèse 4 : Du fait de la plus grande souplesse des Systèmes de culture BNI, on observe un meilleur maintien des rendements, des calibres A et plus et des indices réfractométriques d'une année à l'autre.

On observe une plus grande diversité de pratiques (donc de leviers mobilisés) pour les Systèmes de culture BNI.

Car les Systèmes de culture BNI sont plus sujet aux impasses de traitement (seuils d'intervention) et autres modifications de pratiques (actions préventives) en fonction des conditions de l'année observées.

Ma deuxième mission porte sur la conception d'itinéraires techniques en vergers de pêcher-nectarine, économes en pesticides en particulier vis-à-vis de la moniliose, dans le cadre du projet Ecoverger. Il s'agit de comprendre les pratiques de gestion de différents profils d'agriculteurs en fonction de leur contexte de production, et de proposer des pistes d'amélioration de leurs ITK avec l'appui de la modélisation.

Quels sont les grands profils de producteurs de pêche-nectarine en France selon leur orientation de production et leurs pratiques ?

En quoi ces orientations et ces pratiques impactent-elles sur l'efficacité de la lutte contre la moniliose ?

Hypothèse n°1 : Il existe une variabilité des pratiques mobilisables contre la moniliose, mais qui peuvent se en grands groupes à la stratégie de production différente ?

Hypothèse n°2 : Les orientations de production et les pratiques influencent les conditions d'utilisation de certains leviers contre la moniliose, d'où l'importance de déterminer précisément les règles de décision de chaque levier.

Hypothèse n°3 : Pour chaque grand profil de producteur, il est possible de trouver des compromis entre le maintien d'un niveau de production suffisant, la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, et le contrôle de la moniliose.

L'hypothèse 2 n'a été que partiellement traitée par manque de temps pour terminer l'étude. En conséquence l'hypothèse 3 n'a pas du tout été traitée. Elle est tout de même citée ici pour indiquer ce qui va suivre le travail réalisé dans ce rapport.

II. Matériel et méthode puis analyses des résultats

II.1. Evaluation de systèmes de culture innovants dans le projet Ecopêche

II.1.a. Présentation du dispositif

Afin d'évaluer la capacité des vergers BNI à répondre aux objectifs, le dispositif d'Ecopêche INRA Avignon a été conçu en 3 blocs de culture, soit un système de référence et 2 systèmes dits économes en intrants.



Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental mis en place sur Avignon

Le système de culture de référence (REF) est basé sur un ITK classique de la région, tout comme l'agencement du verger (densité de plantation et forme des arbres).

Le système de culture économe 1 (Eco 1) présente un agencement similaire à REF et se différencie par son ITK allégé en intrants et des critères de production moins stricts. Le système de culture Econome 2 (Eco 2) a le même ITK que le système Eco 1 mais se différencie des 2 autres systèmes par sa densité de plantation et la forme de ses arbres. On peut considérer que le système Eco 2 est le plus en rupture avec l'existant (REF) car il met en place plus de leviers alternatifs.

Les tableaux 9 et 10 mettent en avant les différences entre les 3 systèmes de cultures en termes de structure et d'ITK.

II.1.a.i Eléments structurels du dispositif

INRA PSH Variété : Nectarlove	Systèmes		
	Référence (REF)	Econome 1 (Eco1)	Econome 2 (Eco2)
Protection	Respect du cahier des charges « PFI » Minimisation des dégâts Désherbage chimique	Réduction IFT 50% Dégâts acceptés mais minimisation des pertes de rendement commercialisable 0 herbicide	Réduction IFT 50% Dégâts acceptés mais minimisation des pertes de rendement commercialisable 0 herbicide
Production-qualité-environnement	Haut rendement, bonne qualité commerciale, temps de travail maîtrisé	Minimisation des pertes économiques, haute qualité, réduction des intrants	Minimisation des pertes économiques, haute qualité, réduction des intrants, entrée en production rapide
Forme arbres	Double Y	Double Y	Simple Y oblique
Densité (arbre/ha)	571	571	909
Infrastructures agro-écologiques	Haies de cyprès et gazon	Haie composite, gazon et bandes fleuries	Haie composite, gazon et bandes fleuries
Système d'irrigation	Micro-jet au sol	Goutte à goutte enterré	Goutte à goutte enterré
Entretien du sol sur rang	Désherbage chimique	Paillage bâche	Paillage bâche

Tableau 10 : Tableau résumant les éléments structurels pour chaque Systèmes de culture testé

II.1.a.ii ITK des trois Systèmes de culture du dispositif

L'ITK décrit ci-dessous correspond aux interventions réalisées cette année et ce jusqu'à la récolte.

Tableau 11 : Itinéraire technique des 3 Systèmes de culture testés

	REF	Eco1	Eco2
Charge en fruits	400-450	400-450	300-350
Gestion enherbement	Désherbage chimique sur rang et broyage inter-rang	Paillage sur rang et broyage inter-rang	Paillage sur rang et broyage inter-rang
Ravageurs	Tordeuse orientale : confusion sexuelle Thrips : interventions phyto de synthèse Puceron : interventions phyto de synthèse préventif Forficules : Glu + traitement Autres : traitement	Tordeuse orientale : confusion sexuelle Thrips : impasse Puceron : biocontrôle préventif + interventions phyto de synthèse curatif si 7% de rameaux occupés) Forficules : Glu Autres : biocontrôle	

Maladies	Cloque : interventions phyto de synthèse Oïdium : interventions phyto de synthèse Maladies de conservation : prophylaxie + interventions phyto de synthèse (environ 3 interventions)	Cloque : interventions phyto de synthèse Oïdium : soufre, arrêt des interventions si moins de 10% de rameaux ou 1% de fruits touchés Maladies de conservation : prophylaxie + méthode culturales (réduction quantité d'eau, système en goutte à goutte enterré, taille et forme arbre) + interventions (impasses par rapport à REF)
Irrigation	Estimation par le bilan ETP	Réduction de la quantité de 30% par rapport à l'estimation
Fertilisation	Apports solides calculés à partir des estimations (base 90 + 1.3 kg N/tonnes produites, objectif de rendement de 40-45 t/ha)	Apport solide + fertirrigation (donc apport plus fractionné) Réduction de 30% par rapport aux estimations REF

II.1.b. Protocoles : Mesures et observations réalisées

Différents indicateurs de performances sont pris en compte pour évaluer les Systèmes de culture sur leur capacité à répondre aux objectifs fixés précédemment. Les indicateurs présentés dans le Tableau 11 permettent d'évaluer les performances des systèmes évalués d'un point de vue technique, économique, et agro-environnemental.

	Indicateurs de performances
Indicateurs agronomiques	Rendement commercialisable
	Calibre
	Qualité gustative
Indicateurs environnementaux	IFT
	Quantité eau irrigation
	Quantité d'azote apportée
Indicateurs technico-économiques	Chiffre d'affaire
	Temps de travail
	Marge partielle
Indicateurs de résilience	Rendement suivi sur plusieurs années
	Calibre sur plusieurs années
	Qualité gustative sur plusieurs années
	Croissance de l'arbre

Tableau 12: Tableau des indicateurs de performance évalués selon les objectifs fixés

Le tableau 12 résume les mesures et observations réalisées pour calculer les indicateurs de performances indiqués précédemment.

Tableau 13: Tableau des mesures et des observations réalisées pour calculer les indicateurs de

Indicateurs de performance	Mesures/observations	Organes mesurés	Modalités de mesures	Dates et Fréquence de mesures
	Cinétique et surface foliaire	4 pousses / arbres, 12 arbres / Systèmes de culture	Longueur pousses (cm) + nbre feuilles / pousses	Tous les 15j, de mai à septembre
		7 feuilles de pousses par arbre, 4 arbres / rangée, 3 rangées/ Systèmes de culture	Poids frais (g), surface foliaire (cm ²) indice chlorophyllien (SPAD) et poids sec (g)	
	Croissance des fruits	4 fruits / arbre, 12 arbres/ système	Diamètre fruit suture (mm)	Toutes les semaines d'avril à récolte
Rendement, qualité et calibre	Rendement commercialisable	Tous les fruits récoltés	PF (g) Calibrage Comptage et triage (fruits pourris, piqués, abimés)	Récolte
	Calibre	Tous les fruits récoltés	Calibrage	
	Qualité gustative	2 fruits/calibre/ arbre	Indice Brix (°B)	
Conservation	Suivi développement moniliose en conservation	30 fruits/ Systèmes de culture	Dénombrer fruits pourris/jours	juillet
Pression bio-agresseurs	Notation bio-agresseurs	10 RM/ arbre, moitié des arbres du Systèmes de culture	Absence ou présence/ rameau (thrips, puceron, tordeuse orientale, cloque, oïdium, moniliose)	1 fois par semaine, de mars à juillet
Intrants et phytos	IFT	Une valeur par système	Fin campagne	Fin campagne
	Irrigation	Une qté par système	Fin campagne	Fin campagne
	Fertilisation	Une qté par système	Fin campagne	Fin campagne

performance

L'ensemble du protocole de la campagne 2019 est à retrouver en annexe n°2.

II.1.c. Méthode d'analyse des résultats

L'ensemble des données obtenues sera analysé statistiquement à l'aide du logiciel R et des feuilles de calcul Excel. Il est vrai que les expérimentations système ne comportent pas souvent de répétitions, mais les mesures réalisées sur différents arbres au sein de chaque système de culture témoignent de la variabilité intra-système, et peuvent faire figure de répétition et rendent possible les ANOVA pour certaines variables.

Des ANOVA à 1 et 2 facteurs et des régressions linéaires seront réalisées pour analyser les résultats, en complément de l'interprétation graphique. Dans le but de visualiser la performance globale de chaque système de culture testé, un ou plusieurs graphiques de type « radars » permettront de représenter tous les indicateurs de performance.

II.2. Co-conception d'ITK innovants dans le projet Ecoverger

L'objectif du projet est de proposer un outil d'aide à la conception et l'évaluation d'itinéraires techniques économes en pesticides pour gérer la moniliose, tout en répondant aux attentes de production des acteurs. Dans le cadre de mon stage, il s'agit de mettre à l'épreuve le modèle conçu avec des cas concrets, c'est-à-dire avec différents ITK issus de grands profils de producteurs.

Mon travail a consisté à mettre en évidence différents profils de production selon le contexte, les objectifs de production et les pratiques. Ce travail est une première étape pour caractériser les différentes stratégies de gestion de la moniliose et les critères de production attendus. Les informations collectées sur les leviers et les profils seront à l'origine de la création de scénarii d'optimisation multicritère, permettant de trouver les meilleurs compromis entre le contrôle de la moniliose, production de qualité et marges économiques.

Pour définir les différents profils, des enquêtes ont été menées auprès de différents acteurs de la filière, au moyen d'un guide d'entretien semi-directif.

II.2.a. Les enquêtés

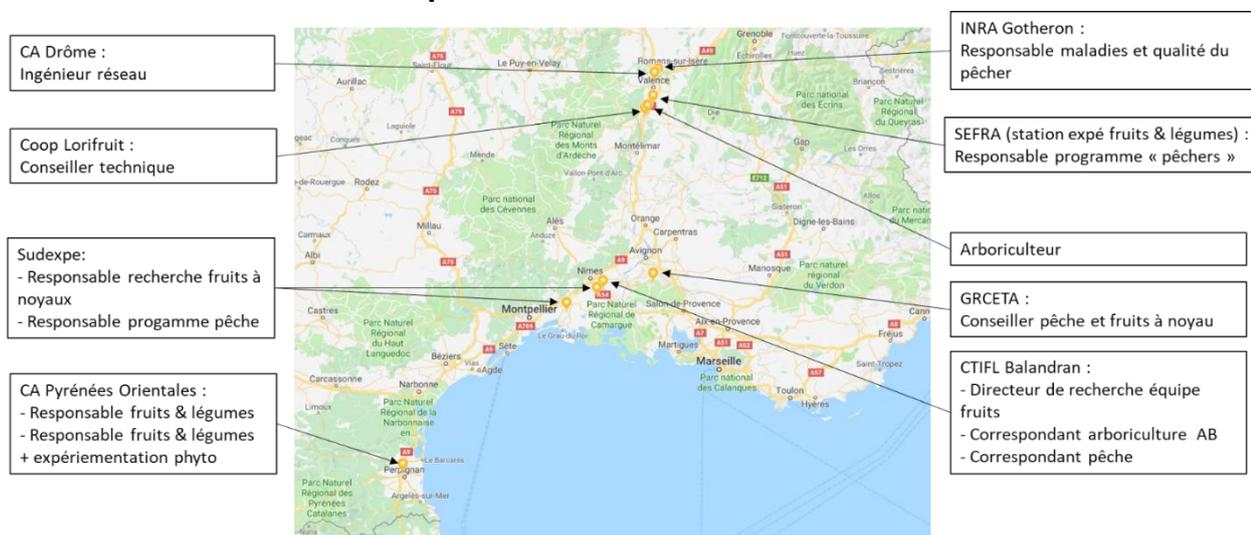


Figure 8 : Présentation et situation des différents enquêtés

Pour des contraintes de calendrier, nous avons privilégié des enquêtes auprès d'experts de la filière pêche-nectarine, nous permettant d'avoir un aperçu global des différentes stratégies de production avec un nombre limité d'entretiens. Nous avons réalisé des enquêtes auprès d'experts et de producteurs, dans les trois principaux bassins de production de la pêche-nectarine (Rhône-Alpes, Sud-Est et Pyrénées Orientales).

II.2.b. Guide d'entretien

Le guide d'entretien a été conçu de manière semi directive. Les parties « I. Informations générales » et « III. Données économiques et temps de travail » permettent de déterminer et de caractériser les profils de production majeurs, sur la base de critères agronomiques (IFT), économiques (rendement, prix de vente) et sociaux (temps de travail) quantifiés. Ils sont aussi différenciés selon les critères de production et leurs seuils. La partie II décrit les différents leviers existants et mobilisés contre la moniliose, pour un profil de production choisi par l'expert. Les différentes contraintes de production permettent de situer l'importance de la moniliose et donc le poids des leviers de gestion dans la stratégie de production. La partie IV permet de collecter des informations complémentaires aidant au paramétrage du modèle. Il est possible que des leviers ne soient pas considérés dans le modèle Qualitree. Aussi, la dernière partie du questionnaire vise à explorer de potentielles pistes d'amélioration du modèle pour mieux représenter la réalité de terrain et mieux répondre aux attentes des acteurs de la filière. Le guide d'entretien complet est à retrouver en annexe n°8.

Guide d'entretien experts	
I.	Informations générales
a.	Types de production (PFI, AB ...)
b.	Débouchés
c.	Critères de production (Quantité, sucre, calibre, visuel ...)
d.	Pertes et Ecart de tri
II.	Mode de conduite des pêcheurs
a.	Contraintes de production et importance de la moniliose
b.	Leviers mobilisés pour contrôler la moniliose et hiérarchie
c.	Description des leviers
III.	Données Economiques et temps de travail
IV.	Questions sur le modèle
a.	Leviers avant floraison ?
b.	Leviers après récolte ?
V.	Perspectives
a.	Quels manques de connaissances et attentes identifiez-vous sur monilia ?

Figure 10 : Format et organisation du guide d'entretien

II.2.c. Traitement des résultats

La première étape consistait à retranscrire et organiser les informations dans une base de données afin de centraliser les données et faciliter leur analyse. Cette étape nous donne un premier aperçu des résultats d'enquêtes et potentiellement des premiers groupes d'individus. Cela est possible en raison du petit nombre d'individus enquêtés.

Une première analyse sera faite selon 4 critères de classification :

- Les critères de production (visuels, gustatifs, quantitatifs ...)
- Les débouchés
- Les contraintes de production
- La pondération des leviers

Ce dernier critère de classification est inspiré d'un travail d'Isabelle Grechi en 2012 sur la conception de scénario de gestion des pucerons sur pêcheurs.

La deuxième étape consistera en l'analyse statistique des données collectées. Des AFM seront réalisées. Les analyses factorielles multiples sont intéressantes à utiliser pour expliquer des données issues d'enquêtes car elles traitent à la fois des données quantitatives et qualitatives. De plus elles permettent de regrouper et pondérer des variables au sein d'un

même groupe. Cela permet d'éviter de surreprésenter certaines pratiques pouvant être expliquées par plusieurs variables.

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) permettra de former de groupes aux caractéristiques communes. C'est à partir de cette CAH que seront obtenus les grands profils de production qui seront décrits par la suite.

Les livrables attendus sont donc une base de données d'enquêtes et des profils de production avec leurs caractéristiques : les leviers mobilisés contre la moniliose, les seuils d'intervention, les critères de production, les débouchés ...

Il était convenu avant le début de mon stage que je participe à l'élaboration de scénarii de production construits à partir de ces enquêtes, par une méthode d'optimisation multicritère. Les contraintes de temps ont demandé un réajustement de mes missions, et cette étape ne se fera pas dans le cadre de mon stage. Néanmoins, je souhaite présenter ici les principes et l'intérêt de l'optimisation multicritère dans le contexte du projet Ecoverger.

Selon Othmani (2004), « L'optimisation multicritère consiste à choisir, en présence de critère multiples, une (des) alternatives(s) parmi un nombre infini d'alternatives qui varient généralement dans un domaine continu ». Il s'agit donc de trouver un compromis, et donc la meilleure solution possible, dans un contexte donné (Deb, 2004). En agronomie, et plus particulièrement en productions végétales, l'optimisation multicritère est largement utilisée pour mettre en place des systèmes de culture optimaux en trouvant la meilleure alternative suivant les critères considérés (économique, environnemental ou encore agronomique).

Le travail de Grechi et al. en 2012 est une base à l'optimisation multicritère qui sera réalisée dans cette étude. Son travail visait à concevoir des systèmes de culture en production de pêche maîtrisant au mieux le puceron vert du pêcher, pour différents profils de production. La figure 11 illustre le schéma de la conception et de l'évolution de la conception de Systèmes de culture via l'optimisation multicritère.

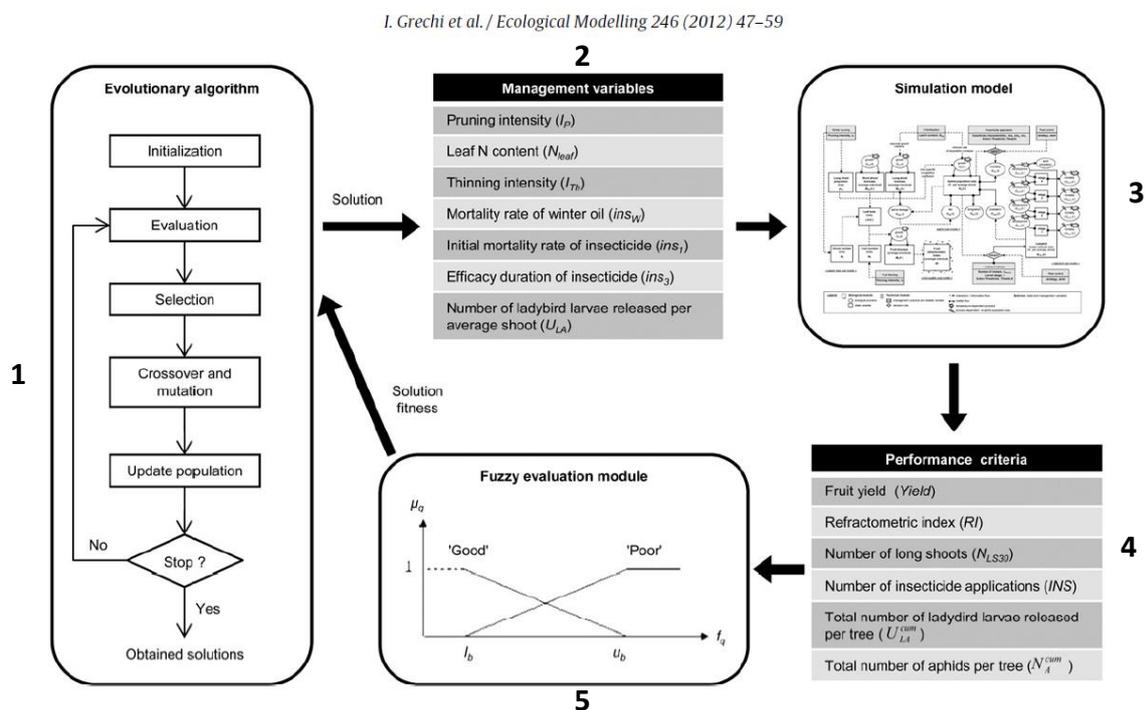


Figure 11 : Schéma de fonctionnement du modèle d'optimisation multicritère mis en place par Grechi et al, 2012

Premièrement, un algorithme évolutionnaire (1) est couplé avec un modèle préalablement conçu. Le modèle donne des valeurs aux critères de performances, en fonction des pratiques présentées sous forme de variables, ou management variables(2). Ces variables sont issues des profils de production préalablement construits.

L'algorithme lance une première série de valeurs pour les variables de management (population mère), qui donne alors une série de critères de performance (4) (méthode non abordée dans ce rapport) via un modèle de simulation (3). Chaque critère comprend un intervalle de valeurs définis à dire d'experts. Ces critères sont ensuite agrégés en fonction de l'importance donnée par les profils de production puis résumés dans le « fuzzy evaluation module » (5). Ce module propose une infinité de solutions basées sur l'agrégation des critères, qui sont délimitées par des bornes d'acceptation des critères par les profils de production. Le modèle détermine si une solution proposée est proche de la borne « poor » ou de la borne « good ». L'algorithme réajuste sa population mère en population fille (retour à l'étape 1), et refait tourner le modèle une infinité de fois jusqu'à trouver la meilleure solution en fonction du profil de production.

Cette approche est très intéressante car elle est proche de notre contexte d'étude. Elle sera renouvelée à partir des profils créés dans le cadre de mon stage.

III. Présentation et discussion des résultats

III.1. Présentation des résultats du projet Ecopêche

III.1.a. Bilan de la campagne 2019

III.1.a.i Climat de la campagne 2019

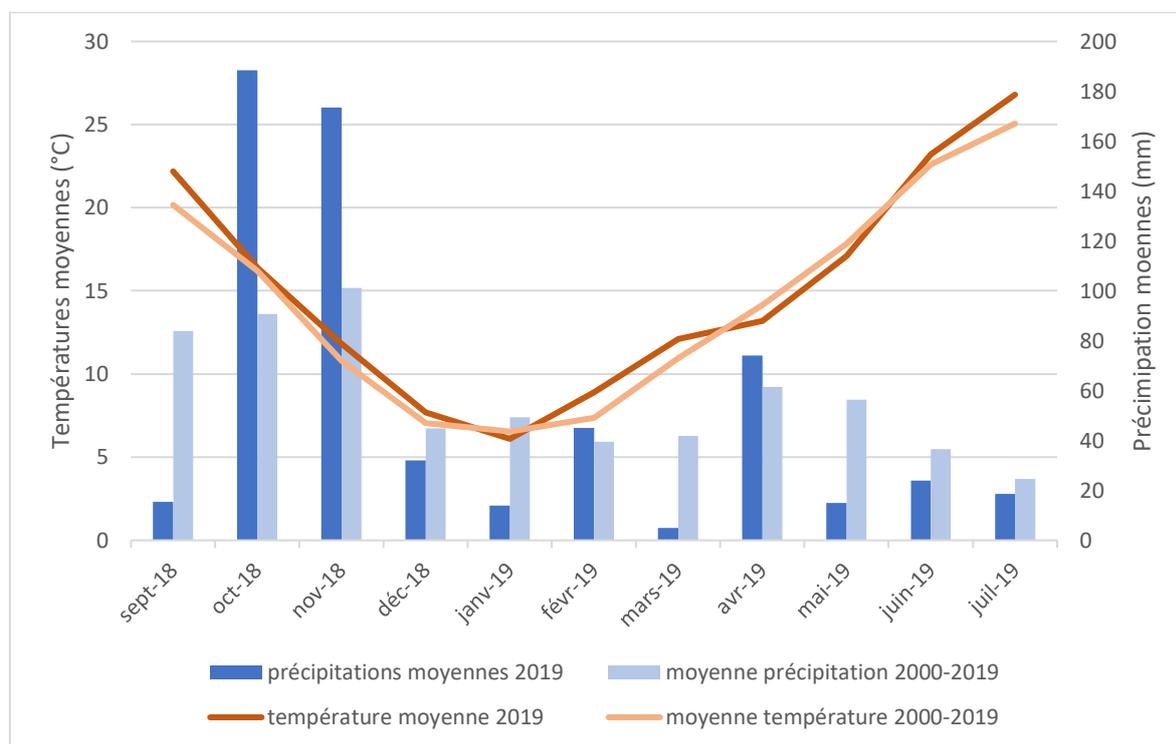


Figure 12 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la campagne 2018-2019

Source : CLIMATIK,

Le climat 2019 pour les 6 premiers mois a été dans l'ensemble beaucoup plus sec que la moyenne de 2000 à 2019. Les températures sont relativement similaires, avec de courtes périodes caniculaires en juin (pic à 44°C à Carpentras à 30 minutes d'Avignon) et en juillet, ce qui explique cette légère augmentation pour ces 2 mois. Cet excès de chaleur, combiné à la sécheresse, a tendance à engendrer une récolte à petit calibre.

III.1.b. Bilan des pratiques

III.1.b.i Objectifs de réduction de l'IFT et des intrants

On souhaite vérifier si les objectifs de réduction de -50% des IFT et -30% des intrants par rapport à REF ont été atteints.

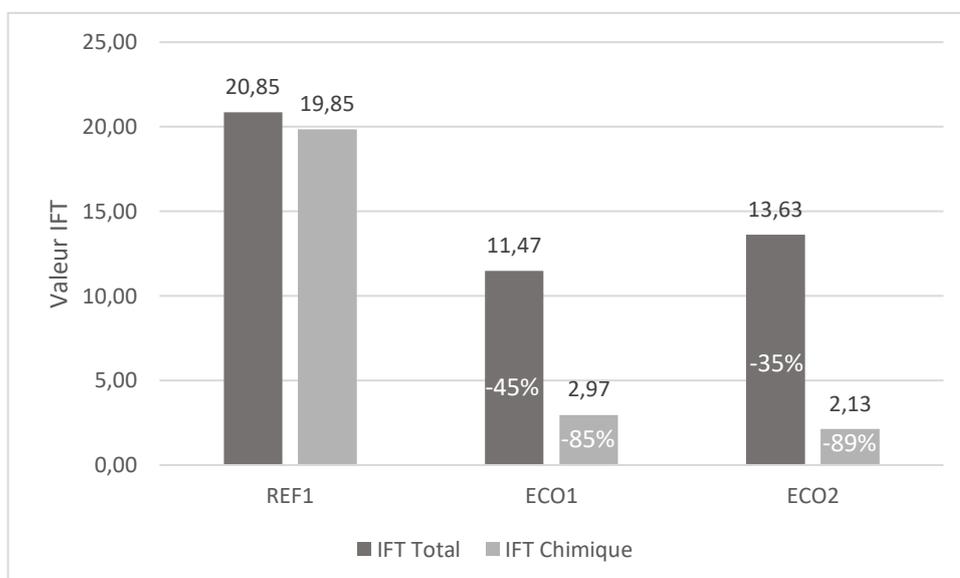


Figure 13: IFT chimique et IFT total pour les 3 systèmes

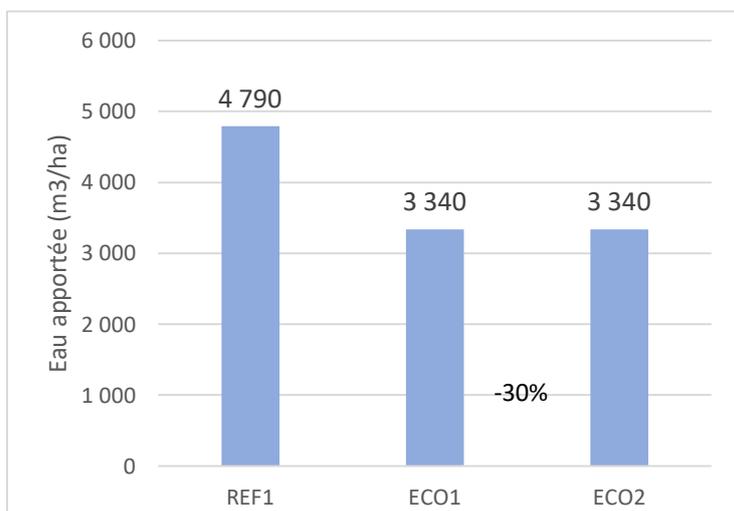


Figure 14: Irrigation pour les 3 systèmes (en m³/ha)

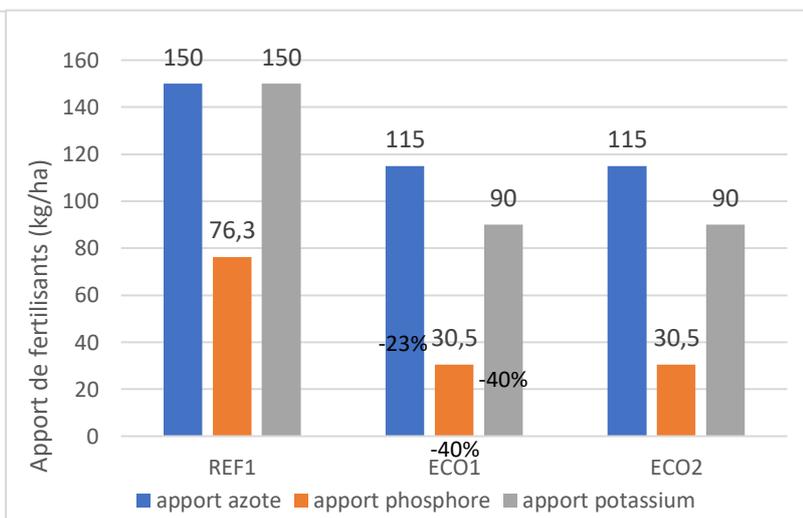


Figure 15 : Apport en azote, phosphore et potassium pour les 3 systèmes

Dans l'ensemble l'objectif de réduction de l'IFT de 50% et des intrants de 30% pour les systèmes économes a été atteint (Figures 13 et 14). Les apports de fertilisants ont été réduit de 23% pour l'azote et 40% pour le phosphore et le potassium, soit une réduction d'environ 30% pour l'ensemble des apports de fertilisants (Figure 15). L'hypothèse 1 est donc vérifiée. Les annexes 4 et 6 rendent compte des différents valeurs IFT inclus d'ans l'IFT chimique et l'IFT total, ainsi que les quantités d'intrants apportées à la culture pour chaque système.

III.1.b.ii Etat sanitaire des vergers

La campagne 2019 a été marquée par de fortes attaques de pucerons farineux. C'est par ailleurs le seul bio-agresseur rencontré cette année. Sur ce graphique de l'évolution du nombre de rameaux colonisés par les pucerons (sur 10) (figure 16), on voit nettement le nombre de rameaux colonisés s'accroître sur le S2 et le S3 de mai à fin juin, soit juste avant la diminution de la vitesse de croissance des pousses pour ces 2 systèmes. En revanche le S1 n'a pas été touché par cette attaque. Les colonies ont disparu dès le mois de juin.

Ces attaques ont été gérées différemment suivant les systèmes. Dans l'objectif de diminution de l'IFT de 50% les pucerons ont été maîtrisés par lutte chimique sur le S1 alors qu'il n'y a pas eu d'interventions sur le S2 et le S3.

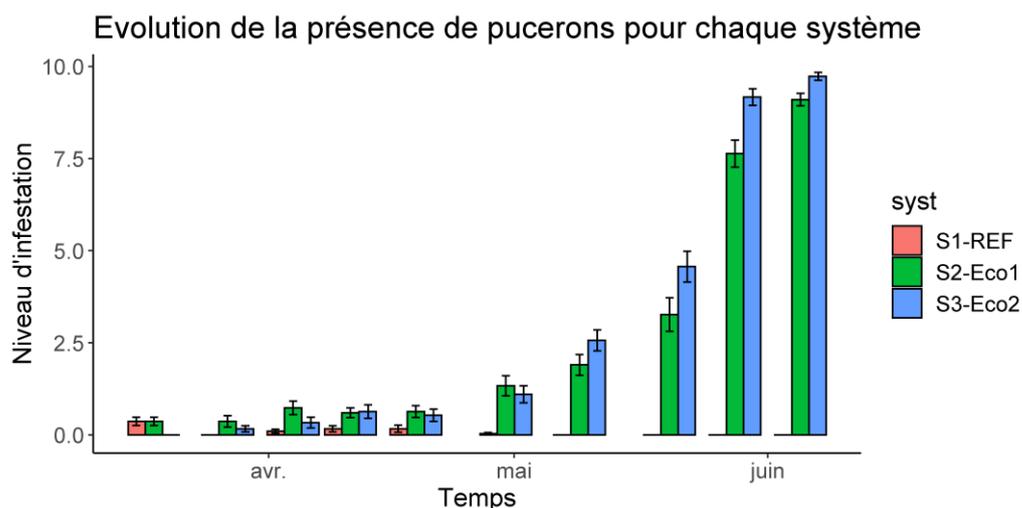


Figure 16 Evolution de l'infestation de pucerons pour chaque système

III.1.b.iii Etat physiologique du verger

L'évaluation de la croissance végétative est estimée par la mesure des longueurs des pousses et celle du nombre de feuilles par pousses. L'état nutritionnel des vergers est évalué par l'état de nutrition azotée. En raison de l'arrivée tardive des résultats de dosage de la teneur en azote des feuilles, des mesures de la teneur en chlorophylle des feuilles ont été réalisées à l'aide d'une pince à chlorophylle (ou « chlorophyll-meter »).

Croissance des pousses

L'évolution de la croissance des pousses (figure 17) est similaire entre les systèmes, du début de la prise de mesures jusqu'au 20 mai. Ensuite, on constate début juin une diminution de la croissance des pousses pour les systèmes S2 et S3, tandis qu'elle reste constante pour S1. A partir de fin juin – début juillet, on remarque une reprise de croissance pour S2 et S3. Les résultats de l'ANOVA (figure 18) montrent qu'en fin de campagne, les 3 systèmes présentent des longueurs de pousses équivalentes.

Evolution de la longueur des pousses par système

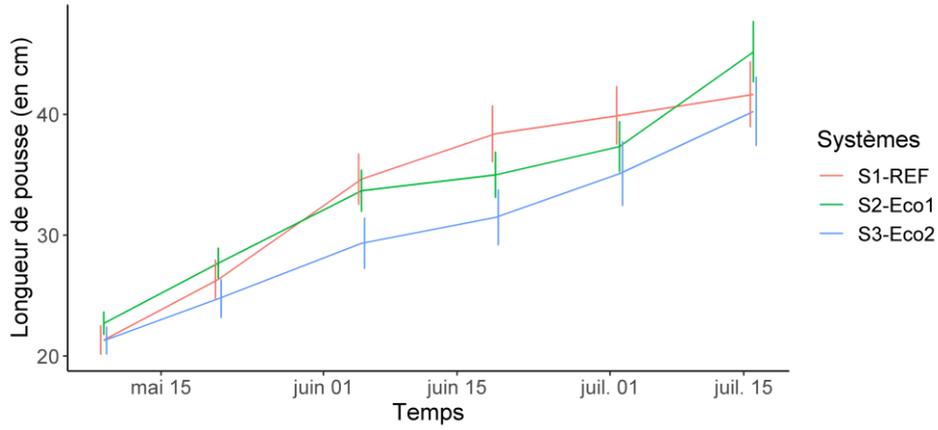
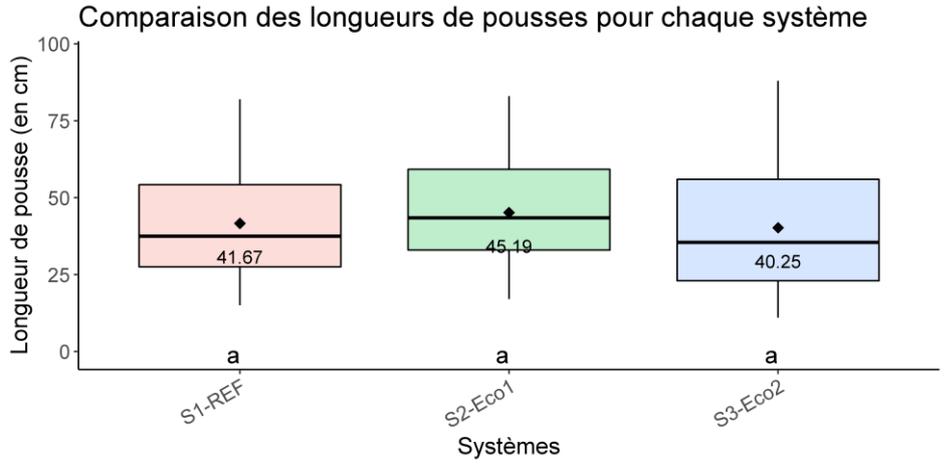


Figure 17: Evolution de la longueur des pousses pour chaque système

Figure 18: Comparaison de la longueur des pousses en dernière mesure pour chaque système



Evolution du nombre de feuilles par pousse par système

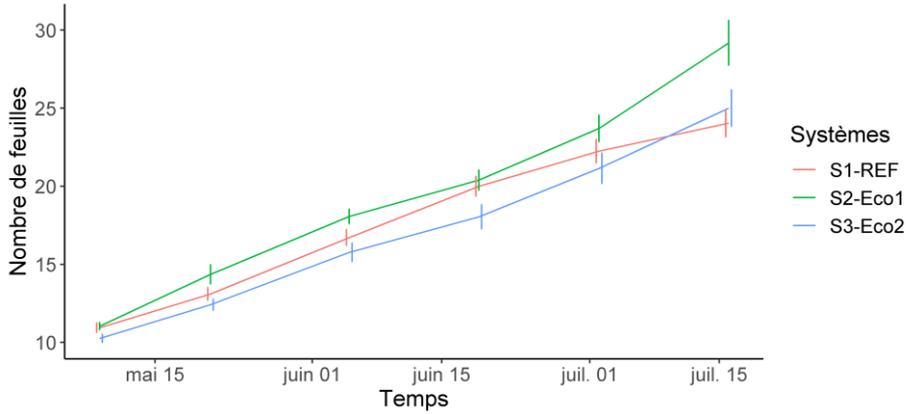
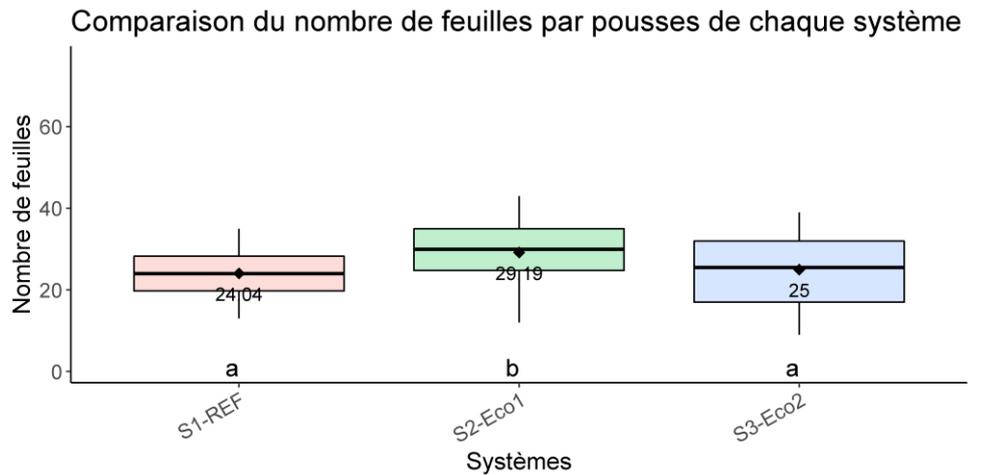


Figure 19 : Evolution du nombre de feuilles par pousse pour chaque système

Figure 20 : Comparaison du nombre de feuilles par pousse en dernière mesure pour chaque système



Nombre de feuilles par pousses

En revanche, les attaques de pucerons ne semblent pas avoir impacté le nombre de feuilles par pousse (figure 19). On observe une forte augmentation du nombre de feuilles entre les 2 dernières dates de mesures pour le S2 (5 feuilles en plus entre les 2 mesures) alors que l'augmentation est moindre pour le S1 entre ces 2 même périodes (1 ou 2 feuilles en moyenne). A terme, on constate un nombre de feuilles similaire pour S1 ET S3 et un peu plus élevé pour S2 (figure 20).

Etat nutritionnel : teneur en chlorophylle

La figure 23 met en évidence une importante variation de la teneur en chlorophylle à partir de fin mai voire début juin. A partir de cette date, les teneurs augmentent pour le S2 et le S3 tandis qu'on observe une diminution puis une forte augmentation (35 à 43) pour le S1. Malgré ces fortes variations, les valeurs observées entre juillet et août sont similaires pour les 3 systèmes. La dernière mesure a été réalisée sur les feuilles résultant de la reprise de croissance. Ce sont des jeunes feuilles ce qui explique des valeurs SPAD moins élevées. Par ailleurs le S1, qui n'a pas subi l'attaque de pucerons farineux, présentait moins de jeunes feuilles que le S2 ou le S3, qui expliquerait une valeur SPAD plus élevée par rapport aux autres systèmes.

Croissance des fruits

L'évolution du diamètre des fruits (figure 21) se présente sous forme de double sigmoïde avec un pallier intermédiaire correspondant à la lignification du noyau. Présent sans être trop accentué, le pallier montre que la croissance des fruits des 3 systèmes est représentative à celle d'une variété de saison. Globalement, les diamètres des fruits sont similaires entre les 3 modalités, notamment pour le S3 et le S2 (figure 22). L'ANOVA réalisée sur la dernière mesure de diamètre de fruits montre néanmoins une différence significative entre S1 et S3. Le S3 a un nombre de fruits par hectare plus élevé, pouvant expliquer les calibres plus petits. Le diamètre moyen pour S2 est similaire au S3 et au S1.

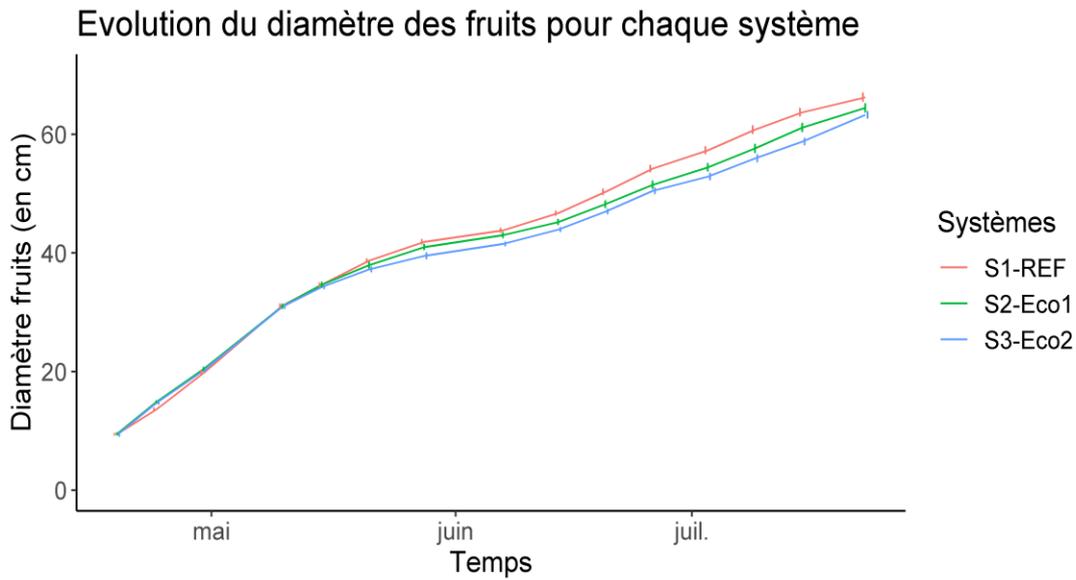


Figure 21 : Evolution du diamètre de fruit pour chaque système

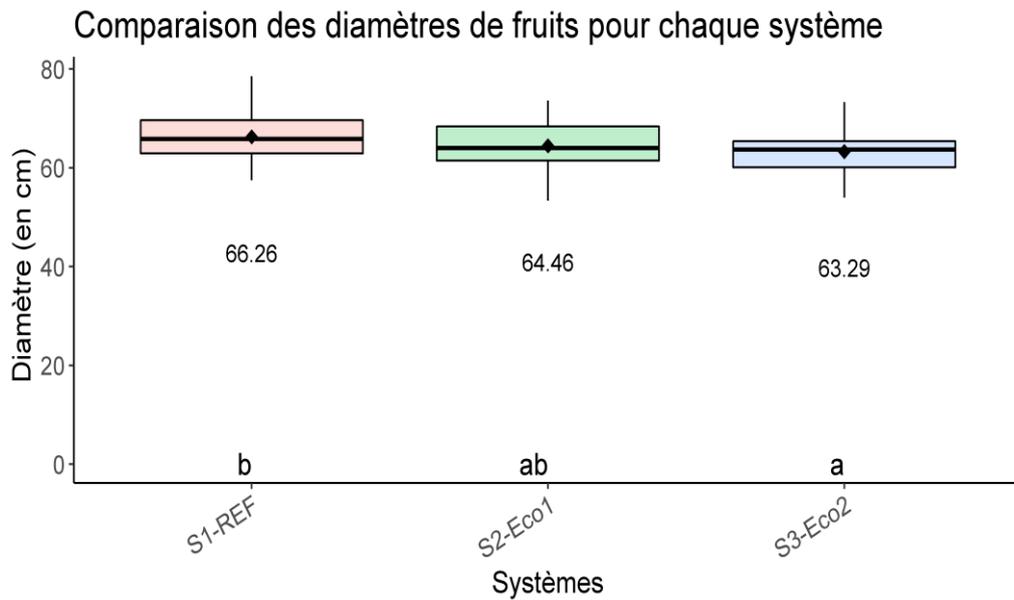


Figure 22 : Comparaison du diamètre de fruit en dernière mesure pour chaque système

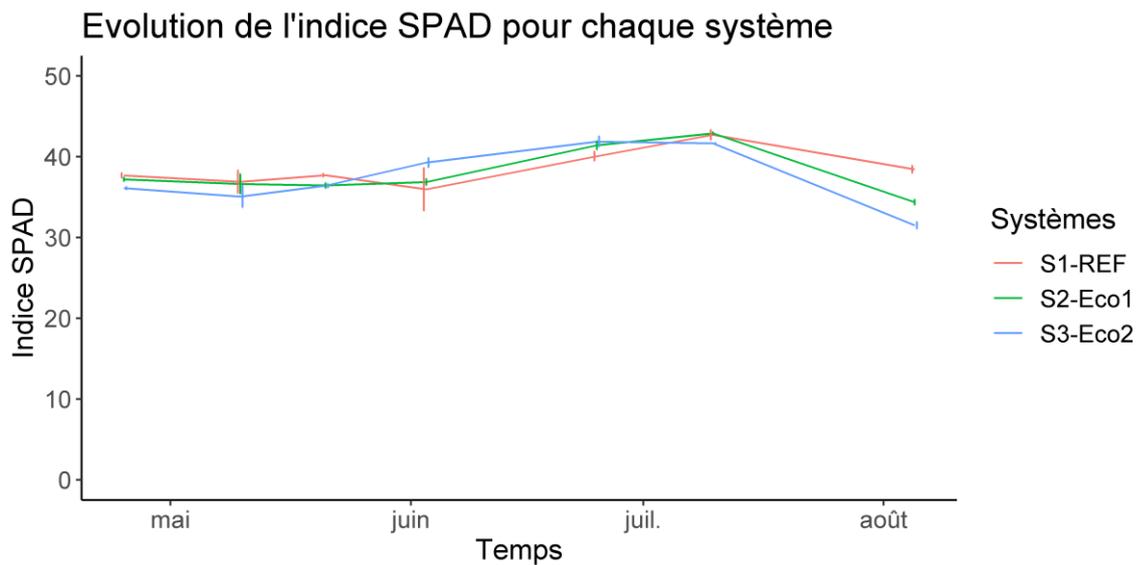


Figure 23 : Evolution de l'indice SPAD pour chaque système

III.1.b.iv Résultats de récolte

Rendement (brut, commercialisable et % de pertes)

L'ANOVA réalisée sur les rendements bruts de chaque système (figure 25) montre une réelle différence entre les systèmes S2 et S3. Le rendement élevé du S3 s'explique par une plus forte densité de plantation, donc plus de fruits par hectares. Le rendement plus faible du S2 peut s'expliquer d'une part par la diminution de l'irrigation, ce qui diminue la taille et le poids des fruits. Ensuite, l'attaque des pucerons a fortement fait chuter les feuilles de pousses, ce qui a pu impacter la croissance des fruits. De plus, des symptômes de chlorose ferrique ont été aperçus sur les 3 systèmes avant récolte. Cette carence en fer combinée à l'attaque de pucerons a pu diminuer le rendement du S2 par rapport au S1, les 2 systèmes ayant la même densité de plantation et la même forme de conduite.

La figure 26 résume les pourcentages de perte dues aux fruits impropres à la consommation. Le pourcentage de fruits tombés au sol étant similaires pour les 3 systèmes, nous nous appuyons sur les fruits récoltés. On constate un plus grand pourcentage de pertes pour les systèmes S2 et S3 (20.58 pour S2 et 22.09 pour S3 contre 17.16 pour S1), et notamment un grand nombre de fruits piqués ou mordus.

Avec les pourcentages de pertes plus élevés pour S2 et S3 par rapport à S1, on constate un rendement toujours plus élevé pour S3 par rapport au S1 et S2 mais cette différence n'est pas significative selon le test de Tukey (figure 27). L'ANOVA montre que les trois systèmes ont un rendement commercialisable similaire.

Indice réfractométrique

La figure 28 montre que l'Indice Brix (ou indice réfractométrique) est plus important pour le S1 et plus faible pour le S3. Les résultats peuvent paraître étonnants car la réduction de l'irrigation a tendance à réduire le diamètre des fruits et donc à augmenter la concentration de sucres. De plus, la date de cueille a pu impacter le stade de maturité des fruits et donc les indices Brix. Le système S1 a déterminé le début de la récolte, alors que les systèmes économes avaient un peu de retard.

Calibres (comparaison des calibres par système et % calibre par système)

La figure 29 représente le pourcentage de calibre pour chaque système. Les calibres A et 2A sont les calibres visés par le marché, le calibre D est cependant classé en écart de tri car invendable. Le graphique met en évidence un pourcentage de calibre A et plus élevé pour S1 que pour S2 et S3. De plus, le calibre D est beaucoup plus présent pour le S2 et surtout pour le S3. On constate bien ici l'impact de la réduction de l'irrigation sur le calibre des fruits. Cependant, ces résultats combinés aux résultats d'indice Brix prouvent à penser que les fruits étaient moins matures pour le S2 et le S3 par rapport au S1.

Comparaison des rendements bruts pour chaque système

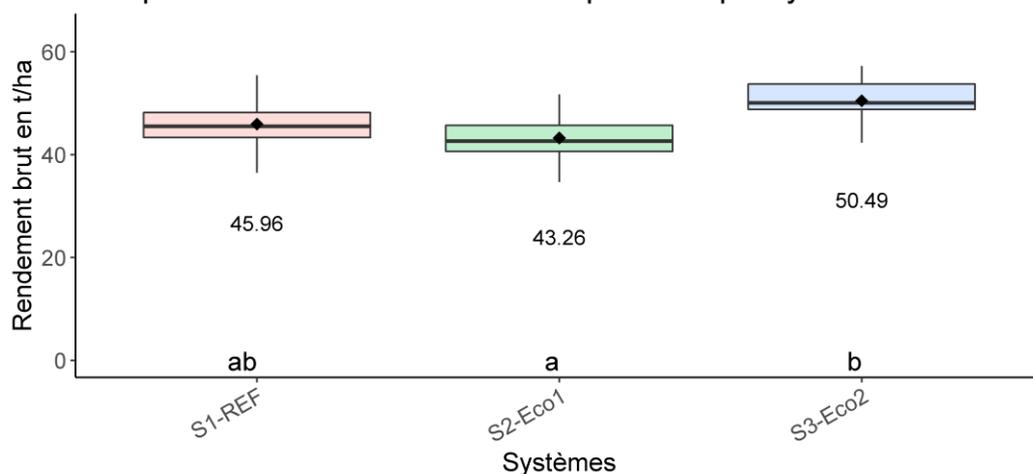


Figure 24 : Comparaison des rendements bruts pour chaque système

Comparaison du pourcentage de pertes pour chaque système

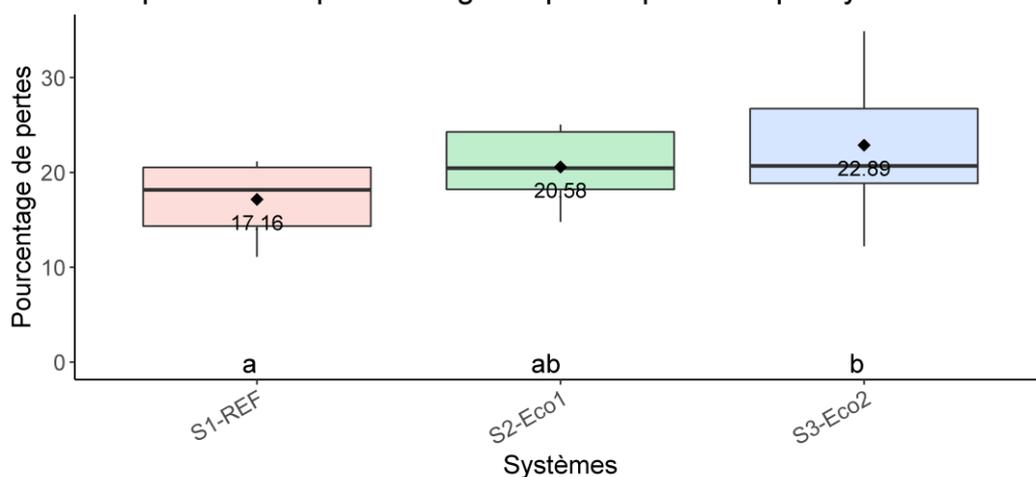


Figure 25 : Comparaison du pourcentage de perte pour chaque système

Comparaison des rendements commercialisables pour chaque système

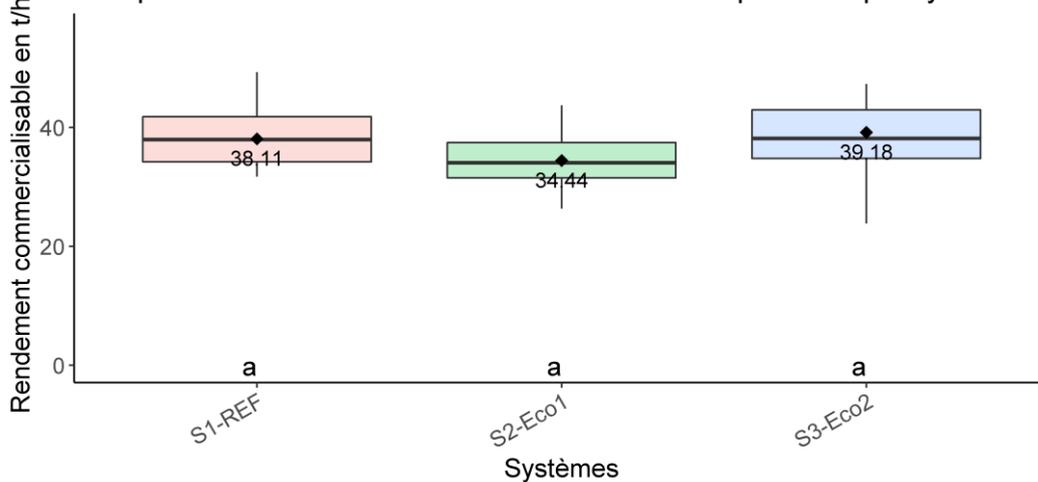


Figure 26 : Comparaison des rendements commercialisables pour chaque système

Comparaison des indices réfractométriques pour chaque système

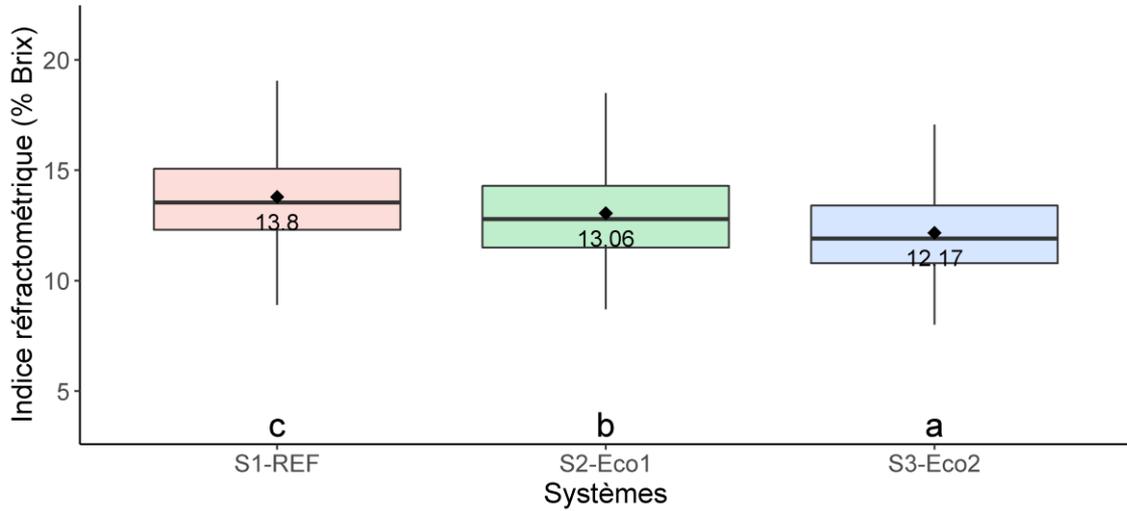


Figure 27 : Comparaison des indices réfractométriques pour chaque système

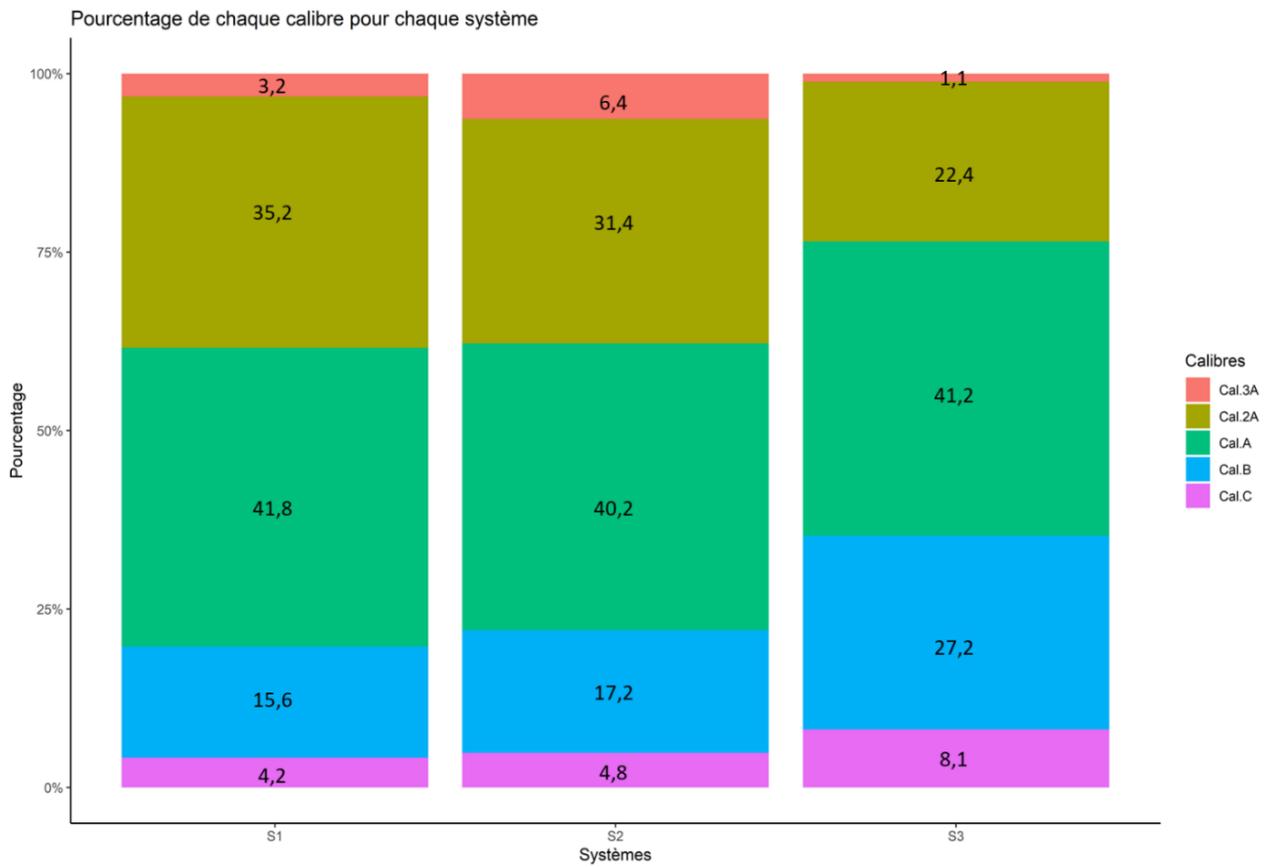


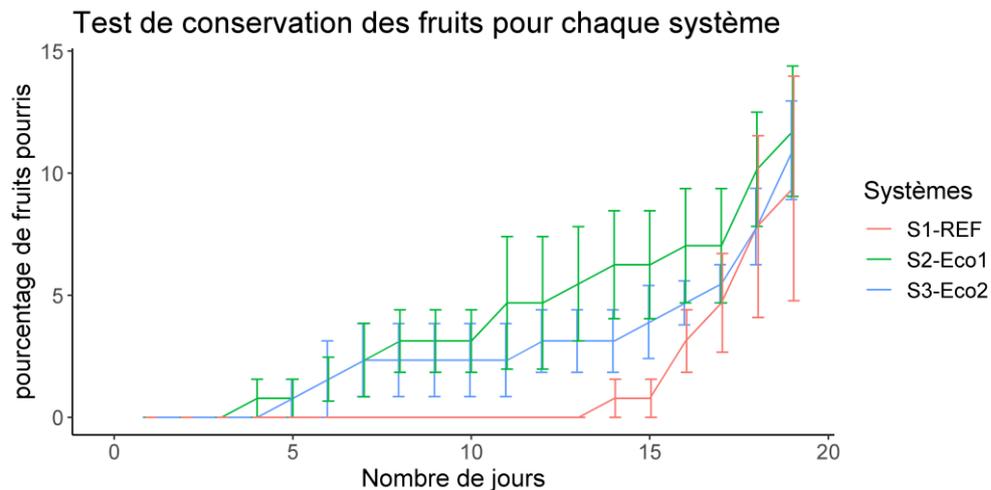
Figure 28 : Pourcentage de chaque calibre pour chaque système

III.1.b.v Maladies de conservation

La figure 30 montre l'évolution du nombre de fruits pourris sur les 3 systèmes, après mise en conservation entre 20 et 24°C.

La stratégie de protection contre les maladies de conservation, notamment la moniliose, est expliquée précédemment dans le paragraphe I.V.3. Le S1 a été traité 3 fois avec un produits antifongique 25, 10 et 3 jours avant récolte. Pour le S2, l'impasse totale a été faite en raison de bonnes conditions climatiques (absence de pluies). Pour le S3, un traitement fongique a été réalisé 10 jours avant récolte. Ces impasses ont été raisonnées en fonction de la réduction en irrigation et en fertilisants qui diminue la pression monilia. Un traitement a été conservé pour le S3 en raison de sa densité de plantation plus élevé, ce qui peut entraîner une propagation plus rapide des maladies de conservation.

La figure 30 montre que les fruits ont commencé à pourrir plus rapidement pour le S2 et le S3 (respectivement 3 et 4% de fruits pourris au bout de 8 jours pour le S2 et le S3, rien pour le



S1). Les fruits du S1 commencent à pourrir à partir de 15 jours après le début du test, mais la vitesse de propagation de la maladie est beaucoup plus rapide, on constate alors au 19^{ème} jours un pourcentage de fruits pourris similaires pour les 3 système, autour de 10%.

Figure 29 : Evolution du nombre de fruits pourris sur 20 jours pour chaque système

En résumé, et avant de présenter les résultats économiques, il semble important de résumer les résultats agronomiques observés précédemment. Avec une diminution de plus de 50% de l'IFT chimique et de 30% des intrants, on observe des rendements commercialisables similaires pour les 3 systèmes mais un pourcentage de calibre A et plus et un indice Brix plus faible pour les systèmes S2 et S3. Ces observations peuvent être notamment expliquées par la diminution de l'irrigation mais aussi par l'attaque de pucerons sur le S2 et S3 qui n'ont pas été traités chimiquement contrairement au S1 dans une volonté de réduire l'IFT chimique.

III.1.c. Performances socio-économiques

III.1.c.i Calcul marge semi nette

Tableau 14 : Calcul de la marge partielle pour les 3 systèmes à partir du rendement commercialisable, des prix de vente et des coûts de production (intrants et main d'œuvre)

SYSTEME	S1	S2	S3
Rendement commercialisable (t/ha)	38,11	34,44	39,18
%Cal C	4,18	4,84	8,12
%Cal B	15,59	17,19	27,16
%Cal A	41,81	40,17	41,22
%Cal 2A	35,21	31,44	22,36
%Cal 3A	3,20	6,37	1,15
Prix vente C (€/kg)	1,10	1,10	1,10
Prix vente B (€/kg)	1,38	1,38	1,38
Prix vente A (€/kg)	1,67	1,67	1,67
Prix vente 2A (€/kg)	1,87	1,87	1,87
Prix vente 3A (€/kg)	1,87	1,87	1,87
Coûts conditionnement (€/kg)	0,55	0,55	0,55
Chiffre d'affaire (€/ha)	42 986	38 523	40 843
% CA par rapport à S1-REF		-10,38	-4,99
Coûts protection chimique (€/ha)	919,64	131,04	94,99
Coûts protection NODU vert (€/ha)	408,80	783,60	1 063,80
Coûts fertilisation (€/ha)	436,81	481,98	481,98
Coûts irrigation (m3 eau) (€/ha)	729,00	584,00	584,00
Coûts totaux des intrants (€/ha)	2 494	1 981	2 225
% coûts en intrants par rapport à S1-REF		-20,59	-10,80
Coûts main d'œuvre (total) (€/ha)	15 334	14 912	16 723
Coûts de production (hors mécanisation) (€/ha)	17 829	16 893	18 948
MARGE PARTIELLE (€/ha)	25 157	21 630	21 895
% marge partielle par rapport à S1-REF		-14,02	-12,97

Avec un rendement commercialisable similaire pour les 3 systèmes, on constate cependant un chiffre d'affaire inférieur à S1 pour S2 (-10.4%) et pour S3 (- 5%). Ce résultat s'explique par la proportion moins élevée de calibre A et plus (les calibres les mieux rémunérés) et par la proportion plus élevée de calibre C, surtout pour le S3. Dans l'ensemble, les coûts totaux en intrants ont diminué pour les systèmes S2 et S3, notamment par la diminution des coûts d'irrigation et de protection chimique. En revanche, les coûts en fertilisation sont plus élevés pour ces 2 systèmes malgré la réduction globale de l'apport en azote, phosphore et potassium observée. Cela est dû à la fertiirrigation mise en place sur le S2 et le S3, car les fertilisants utilisés sont plus chers que ceux utilisés en fertilisation

« classique ». Les coûts de protection chimique sont largement plus élevés pour le S1, mais ceux-ci sont contrebalancés par les coûts en protection NODU vert générés par les produits de biocontrôle, plus élevés pour S2 et S3. Le NODU vert correspond au nombre de doses unités vert Biocontrôle (Ecophyto, 2012). Les coûts en main d'œuvre diffèrent pour les 3 systèmes. La différence de coût de main d'œuvre s'explique par des interventions moins nombreuses pour la protection phytosanitaire sur S2 (plus de traitements et désherbage chimique sur le rang pour le S1 alors que le rang est paillé pour le S2). Le coût en main d'œuvre est le plus élevé au S3 en raison de la forme de conduite choisie et le nombre de fruits à l'hectare, ce qui peut générer des temps de taille, d'éclaircissage et de récolte plus importants, comme c'est le cas pour cette année. On constate alors en marge partielle que la réduction des coûts de production pour le S2 ne suffit pas à obtenir une marge partielle similaire à S1. Pour le S3 le coût en main d'œuvre plus élevé et une proportion de calibre C plus importante fait diminuer la marge partielle par rapport à S1.

L'hypothèse 3 n'est vérifiée qu'en partie. On constate bien des coûts de production inférieurs au moins pour S2, mais supérieure pour S3. Combiné à l'hypothèse 2 non validée les marges partielles des systèmes S2 et S3 sont inférieures par rapport à S1. Cependant, cette marge partielle met en évidence la capacité de ces systèmes économes à dégager une marge économique acceptable.

III.1.d. Performances multicritères

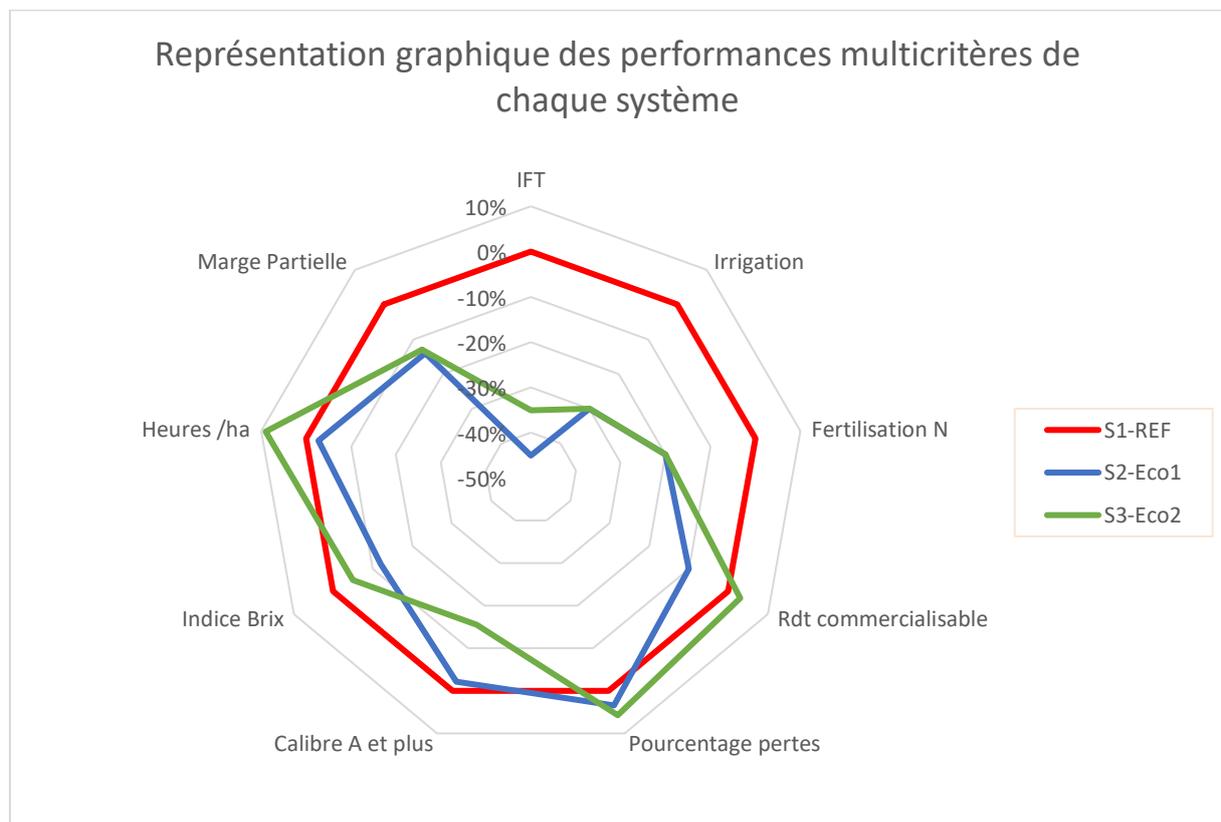


Figure 30 : Représentation graphique des performances multicritères de chaque système

En résumé, la figure 31 permet un meilleur visuel des performances multicritères de chaque système BNI par rapport au système de référence. On constate qu'avec la diminution de l'IFT et des intrants, on obtient des rendements commercialisables proches de la référence (à 10% près), mais avec des calibres plus petits et des pertes plus élevées. Les performances agronomiques se répercutent sur les performances économiques, puisque on observe une marge partielle plus faible pour ces systèmes. Pour le S3, ces performances diminuent notamment en raison d'un besoin en main d'œuvre plus élevé que pour les systèmes S1 et S2. Globalement, les objectifs de performances environnementales sont atteints, mais pas les objectifs de performances agronomiques ni technico-économiques.

III.1.e. Evaluation résilience des vergers

L'objectif de ce paragraphe est de vérifier la résilience des vergers face aux bio-agresseurs. Par résilience, on entend la capacité d'un verger à maintenir ses objectifs de production d'une campagne à une autre. Nous avons émis l'hypothèse qu'un système présentant une faible variabilité de ses performances pouvait résulter d'une bonne résilience. Cela pourrait aussi être lié au nombre de leviers mobilisés et à leur variabilité de mobilisation d'une campagne à l'autre.

III.1.e.i Impact des leviers et de leur variabilité sur les performances agronomiques des systèmes

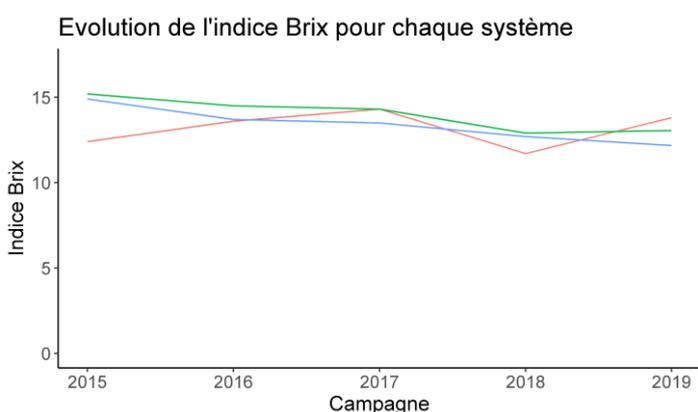


Figure 31: Evolution de l'Indice Brix de 2015 à 2019 pour chaque système

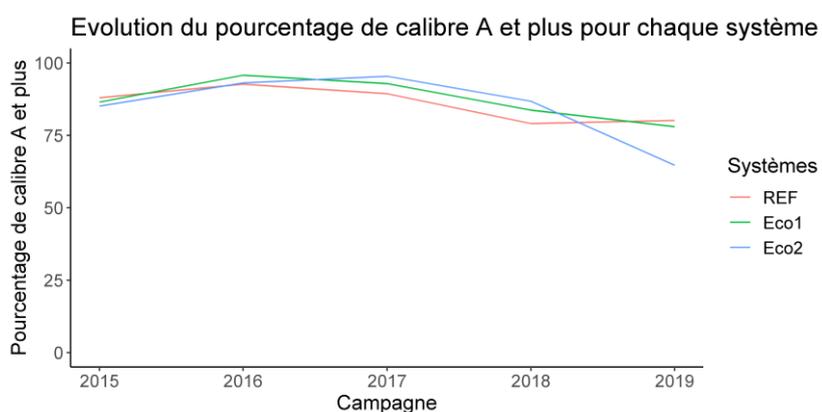


Figure 32 : Evolution du pourcentage de calibre a et plus de 2015 à 2019 pour chaque système

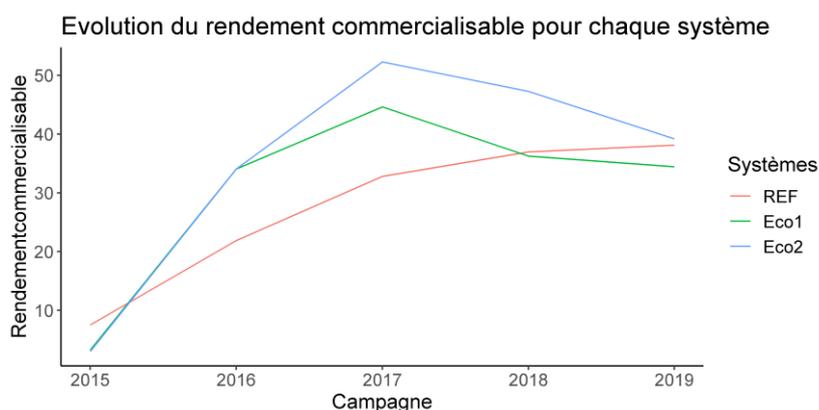


Figure 33 : Evolution des rendements commercialisables de 2015 à 2019 pour chaque système

On observe un pourcentage de calibre A et plus équivalent pour chaque système d'une campagne à l'autre ainsi que les données sur l'indice Brix, à l'inverse des résultats pour le rendements commercialisables. En effet on remarque un croissance régulière des rendement pour S1, ce qui semble logique au regard de l'année de plantation du verger en 2013. Les mesures de rendement ont débuté faiblement en 2015 et se sont stabilisés au fil des campagnes. Pour les systèmes économes, le rendement commercialisable s'est mis à niveau plus rapidement en 2017, puis se sont dégradés en 2018 puis en 2019. Dans l'ensemble on observe une bonne résilience des systèmes économes, si on les compare au système de référence. Leurs performances agronomiques restent supérieures ou égale à S1-REF. En revanche si on compare les campagnes les unes aux autres, les systèmes économes semblent moins réguliers que le S1-REF, notamment en raison des campagnes 2018 et 2019. La partie suivante étudiera les leviers mis en place et leur variation pour analyser s'ils ont un impact visible sur les résultats observés.

III.1.e.ii Leviers mis en place et variabilité

Le tableau 14 présente le nombre de leviers mobilisés par type de leviers pour les 3 systèmes testés.

Tableau 15 : Ensemble des leviers mobilisés pour chaque système organisé par type de leviers

Système	Campagne	Leviers							
		Biologique	Biotechnique	Chimique	Contrôle cultural	Génétique	Physique	Produits divers	Raisonnement protection
S1	2016	1	0	1	2	0	0	0	0
S1	2017	1	0	1	2	0	0	0	0
S1	2018	1	0	1	2	0	0	0	0
S1	2019	1	0	1	2	0	0	0	0
S2	2016	2	0	0	10	0	1	0	1
S2	2017	2	0	0	10	0	1	1	1
S2	2018	2	0	0	10	0	1	0	1
S2	2019	2	0	0	10	0	1	1	1
S3	2016	2	0	0	10	0	1	0	1
S3	2017	2	0	0	10	0	1	0	1
S3	2018	2	0	0	10	0	1	0	1
S3	2019	2	0	0	10	0	1	1	1

On observe un plus grand nombre de leviers mobilisés pour les systèmes S2 et S3. Les leviers sont principalement de type contrôle cultural (taille, éclaircissage, irrigation, fertilisation...), donc préventifs. Cela est en accord avec la stratégie BNI qui vise à éviter installation et développement de bioagresseurs. L'utilisation de pesticides de synthèse n'a lieu qu'en dernier recours. En conséquence, on observe plutôt des leviers de type physique et biologique, et le raisonnement de protection. Les produits de biocontrôle peuvent aussi être utilisés lorsque cela est nécessaire, comme cette année pour lutter contre le puceron. L'ensemble des produits utilisés en protection des culture est en annexe n°3.

En revanche, les type de leviers utilisés d'une campagne à l'autre ne varient pas en fonction du système considéré. Mis à part pour l'utilisation de produits de biocontrôle, les autres leviers sont mobilisés systématiquement. Par ailleurs, ce tableau se base sur des type

de leviers et non les leviers en eux même. Ces leviers sont présentés en annexe n°7 et non dans cette partie car il ne permet pas d'apporter plus d'information et est trop volumineux pour y être intégré.

III.2. Discussion synthétisée des résultats observés pour le projet Ecopêche

III.2.a. Impact de la réduction de l'IFT sur le rendement

Il a été dit dans la partie présentation des résultats que la diminution de l'IFT, qui a nécessité de retravailler le système de culture notamment au niveau des impasses et des seuils d'intervention, a fortement impacté les performances agronomiques de systèmes S2 et S3 sur 2019. La raison principale est le puceron farineux, très virulent pour cette campagne, pour lequel il n'existe pas de mesures prophylactiques réellement efficaces ni de traitements curatifs utilisables en agriculture biologique (ITAB, 2010). Or il est nécessaire de faire appel aux pratiques alternatives pour lutter contre ce ravageur en particulier en raison de l'apparition préoccupantes de résistance aux pesticides de synthèse (Roy et al, 2013).

L'attaque a occasionné beaucoup de dégâts au niveau de la croissance des pousses. Les attaques ont pris fin en juin, notamment à cause des températures très élevées (30°C étant la température létale pour ce bio-agresseur) (Decharme, 2019), permettant aux pousses de reprendre leur croissance et de gommer les écarts avec S1. Ces résultats sur S2 et S3 s'expliquent par les attaques sévères de pucerons farineux qui ont commencé début mai (figure 16).

Elle a aussi impacté le rendement commercialisable avec une perte de fruits importante à la récolte. La production de miellat abondante a aussi pu impacter la qualité des fruits de plusieurs manières :

- En séchant au soleil le miellat a « caramélisé » et craquelé les fruits, qui sont donc non commercialisables.
- Le miellat, substance sucrée, a attiré les guêpe qui se sont nourrit des fruits mûrs et les a rendus non commercialisables (Harris et al, 1995).

Ces conclusions sont tirées des observations sur la parcelle dans les chantiers de récolte. Cela permet d'expliquer les rendements commercialisables plus faibles pour les systèmes S2 et S3.

III.2.b. Impact de la réduction des intrants sur les calibres

Le plus faible pourcentage de calibres A et plus des systèmes S2 et S3 peut être expliqué par la réduction de l'irrigation. L'irrigation joue un rôle prépondérant dans la croissance des fruits comme nous l'avons vu lors de la présentation des leviers mobilisés contre la moniliose. La réduction de l'irrigation permet d'éviter une croissance trop importante des fruits pour diminuer le risque de microfissures qui facilite la contamination (Bevacqua et al, 2019). Il faut donc arriver à faire un compromis entre le calibre souhaité et le risque monilia dans les systèmes de cultures économes comme le S2 et le S3. La différence de calibre entre le S2 et le S3 est probablement liée à la forme de conduite des arbres, la densité de plantation et la charge en fruits souhaitées. La forme de conduite en simple Y induit une

densité de plantation plus importante (555 arbre/hectares pour le S2, 999 pour le S3), et la charge en fruits, même si elle est plus basse pour le S3, reste plus élevée en nombre de fruits par charpentière (400 à 450 fruits par arbre pour le S2, 300 à 350 pour le S3, soit environ 100 fruits par charpentière pour le S2 et 150 fruits par charpentière pour le S3) (Génard et al, 2010).

III.2.c. Impact du climat sur les calibres et l'indice Brix

Il peut être aussi intéressant de prendre en compte les fortes chaleurs ayant eu lieu au mois de juin et de juillet (expliqué dans la partie bilan de campagne III.1.a.i) pour expliquer les calibres plutôt petits de la campagne 2016. La région sud-est a bien été impactée par ces vagues de chaleur avec des températures tournant autour de 42°C pour la journée la plus chaude (Saintilan, 2019). Il est possible que ces fortes chaleurs induisent un ralentissement de la mobilisation de nutriments pouvant conduire à des calibres réduits, que nous observons pour les systèmes économes S2 et S3 (Legave, 2009). Ces fortes températures ont pu également engendrer un retard de maturité, et donc des indices Brix faibles à la première cueille. Cependant le graphique présenté en annexe n°9 montre un indice Brix plus élevé pour la 1^{ère} cueille que pour les autres. Cela est dû d'une part au retard de maturité et surtout pour S2 et S3, et d'autre part au contexte de cueille. La 1^{ère} cueille présente un indice Brix plus élevé car elle a été déclenchée à la maturité des premiers fruits pour démarrer le chantier de récolte. Les cueilles 2 et 3 se sont enchaînées rapidement sans tenir compte de la maturité, afin de réduire l'intervalle de récolte et donc éviter les infections de monilia.

III.2.d. Impact de la diminution de l'IFT et des intrants sur le contrôle de la moniliose

En présentation des résultats, on a observé que le nombre de fruits moniliés augmentait plus tardivement pour S1-REF que pour les systèmes économes, mais aussi que la vitesse de propagation était beaucoup plus rapide. En somme, on obtenait le même pourcentage de fruits moniliés après 20 jours à température ambiante. Cela confirme les dires de M. Mouiren, conseiller technique au GRCETA : dans l'ensemble, les produits antifongiques permettent de gagner du temps mais ne permettent pas de diminuer le nombre de fruits pourris. Elle prolonge la durée de conservation, ce qui permet à la distribution de commercialiser plus de fruits.

III.2.e. Impact de la diminution de l'IFT et des intrants sur les performances économiques des vergers

On a observé des marges partielles inférieures pour les systèmes économes, ce qui est dû principalement au déficit en calibre A et + pour les systèmes S2 et S3. On observe cependant qu'ils parviennent à dégager des marges intéressantes pour les producteurs. Sachant que ce sont des systèmes ayant un IFT beaucoup plus faible que les systèmes PFI, il serait intéressant de rémunérer les producteurs mettant en place ce type de système de culture. De plus, la pêche est un fruit pour lequel les consommateurs seraient prêts à payer un prix plus élevé pour une production plus saine et une meilleure qualité gustative. Une augmentation du prix de 0.15 €/kg permettrait aux producteurs d'atteindre une marge similaire à celle des fruits issus de la PFI (Plénet et al, 2019).

III.2.f. Impact de la diminution de l'IFT et des intrants sur la résilience des vergers

On observe une diminution des performances pour les systèmes économes en 2018 et 2019, tandis que celles du système S1 ont progressivement augmenté. La campagne 2019 montre des rendements similaires pour chaque système. Pour comprendre ces résultats, nous nous appuyerons sur les rapports de stage M2 réalisés en 2016 et 2018 sur ce même projet, et notamment sur les bilans de campagne (Auvinet, 2016 ; Ahmadi, 2018).

Pour les campagnes 2015-2016, des pertes plus importantes ont été observées pour le système S1-REF. En effet, un hiver très doux a engendré un taux de floraison assez faible et donc une charge en fruits faible. Cela a favorisé les microfissures qui, combiné au système d'irrigation en micro-jet favorisant une forte humidité au pied des arbres, a permis au monilia de s'installer (Auvinet, 2016). Le système S3 a été particulièrement plus performant, du fait d'une mise en production plus rapide avantaagée par sa forme d'arbres (Blanc et al, 2003).

En 2018, une attaque virulente de forficules sur le système S1-REF a engendré une importante attaque de monilia (Ahmani, 2018). Cela s'est traduit par un rendement commercialisable plus faible voire similaire aux deux autres systèmes.

En résumé, 2019 est la première campagne pour laquelle on observe un léger déclin des performances agronomiques pour les systèmes économes, notamment au niveau des pourcentages de calibre. Néanmoins, les systèmes économes obtiennent de bons résultats, particulièrement en termes de rendement commercialisable (équivalent au système de référence) en considération de la réduction importante de l'IFT et des intrants.

III.3. Présentation des travaux réalisés sur Ecoverger

III.3.a. Etape 1 : visualisation préliminaire des résultats

Dans une première étape de l'analyse des résultats, nous avons synthétisé les retours d'enquêtes dans un tableau pour pouvoir comparer et regrouper les différents experts sur plusieurs aspects afin de voir si différents profils se dessinaient. Cette comparaison est possible via Excel en raison du faible nombre d'enquêtés.

Nous avons utilisé les variables explicatives suivantes pour tenter une première typologie de la production :

- Les critères de production
 - o Critère visuel (0 défauts, quelques défauts)
 - o Critères gustatifs (caractère sucré, acide ...)
 - o Critères quantitatifs (rendements, calibre)
- Les débouchés
 - o Vente directe (VD)
 - o Circuit long (CL)
 - o Circuit court (CC)
- Les contraintes de production
 - o Contraintes abiotiques (climat, sol ...)
 - o Contraintes biotiques (bio-agresseurs)
 - o importance de la moniliose
- La pondération des leviers

Les critères de production sont définis par les acheteurs, ce qui rend la création de profils de production à partir de ce critère difficile du fait de la grande diversité de circuits de commercialisation rencontrés (grandes et moyennes distributions, grossistes, coopératives, vente directe...). Globalement, on remarque des différences en termes de seuils de critères entre la production en AB et la production conventionnelle. Par exemple, pour le critère visuel, le seuil d'acceptation sera plutôt nul en PFI (0 défauts) alors qu'en AB quelques défauts seront acceptés. Cependant dans notre groupe d'enquêtés nous ne comptons que 2 productions en agriculture biologique, donc trop peu représentées dans notre échantillonnage. Il en va de même pour les contraintes de production, qui varient fortement d'un expert à l'autre. On remarque cependant que la moniliose est la contrainte biotique principale pour 6 des enquêtés (et notamment des bio-agresseurs pouvant abîmer les fruits et induire la moniliose).

Pour réaliser les différents profils de production nous nous sommes intéressés aux stratégies de gestion de la moniliose, et notamment au nombre et au type de leviers mobilisés. Par cette méthode, nous avons créé 4 profils de production (tableau 6) :

- 1 : moins de 5 leviers mobilisés contre la moniliose, seul un des leviers irrigation ou fertilisation est mobilisé, voire aucun => PRODUCTION FRUITIERE INTEGREE (PFI)
- 2 : plus de 5 leviers mobilisés, dont les leviers irrigation et fertilisation, sans changement de la stratégie de protection phytosanitaire => PRODUCTION RAISONNEE

- 3 : tous les leviers sont mobilisés, voire des leviers auxquels nous n'avions pas pensé en rédigeant le questionnaire => PRODUCTION RAISONNEE 2
- 4 : pas de traitements phytosanitaires de synthèse => PRODUCTION BIOLOGIQUE

De plus, chaque profil a été décliné suivant les régions car le climat influe énormément l'impact des bio-agresseurs sur la culture et conditionne notamment les pressions de moniliose.

Tableau 19: Profils de production créés et ensemble des caractéristiques de chaque groupe

		PFI			Production raisonnée			Production raisonnée 2			Agriculture Biologique	
		Drôme	Gard	Pyrénées Orientales	Bouches du Rhône	Gard	Drôme	Pyrénées orientales	Gard	Drôme	Gard	Drôme
Critères	Rendement	20-25-30 t/ha	25-50 voire 80 t/ha	22 t/ha	30 à 75 t/ha	45 à 50 t/ha	40 t/ha	25t/ha	35 à 80 t/ha	15-20 t/ha	30 t/ha	10-15 t/ha
	Visuel	0 défauts - catégorie 1	0 défauts - catégorie 1	0 défauts - catégorie 1	0 défauts - catégorie 1	0 défauts - catégorie 1	-	0 défauts - catégorie 1	0 défauts - catégorie 1	-	-	tolérant / conv
	Calibre	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A - 2A	A-2A	tout valorsié
	Gustatif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fermeté	4,5 - 5 kg/cm ²	5 kg/cm ²	4,5 kg/cm ²	-	3,5 à 4,5 kg/cm ²	6 kg/cm ²	4,5 kg/cm ²	4 à 6 kg/cm ²	2,5-3 kg/cm ²	4-5kgcm ²	-
Nb de leviers		moins de 5 ou 5			5			plus de 5			-	
Leviers irrigation et fertilisation mobilisés		non			oui			oui			-	
Autre		-			-			-			pas de produits phytosanitaires de synthèse	

SEFRA PFI Drôme	CTIFL 2 PFI Gard
CA PO 1 PFI Pyrénées Orientales	SUDEXPE 2 Production raisonnée Hérault-Gard
GRCETA Production raisonnée Bouches du Rhône	Agri Production raisonnée Drôme
INRA G Production raisonnée 2 Drôme	CTIFL 3 Production raisonnée 2 Hérault-Gard
CA PO 2 Production raisonnée 2 Pyrénées Orientales	SUDEXPE 1 Production raisonnée 2 Gard
Coop Production raisonnée 2 Drôme	CA Drome AB Drôme
	CTIFL 1 AB Gard

Comparer des profils critère par critère ne suffit pas pour déterminer les profils de production. C'est pourquoi des analyses statistiques sur logiciel R ont été réalisées afin de distinguer des groupes d'enquêtés homogènes, nous permettant de confronter nos observations avec une approche moins subjective.

Tableau 16 : Répartition des enquêtés dans les groupes de production créés

III.3.b. Analyse statistique des données d'enquête

Pour pouvoir analyser les données d'enquête, il a fallu sélectionner et homogénéiser les informations récoltées pour qu'elles soient analysables statistiquement. Finalement, nous avons conservé les variables suivantes :

- Région – (**regions**)
 - Gard (gard)
 - Drôme (drome)
 - Bouches du Rhone (b-rhone)
 - Pyrénées Orientales (p-o)
- Débouchés (**debouches**)
 - Vente directe (VD)
 - Circuit long (CL)
 - Circuit court (CC)
- Critères de récolte (**criteres_recolte**)
 - Moniliose et météo (M)
 - Calibre (C)
 - Coloration du fruit (Co)
 - Organisation de l'exploitation (O)
 - Prix du moment (P)
- Rendement maximum – en tonnes (**rdt_max**)
- Charge en fruit voulue – en nombre de fruits par arbre (**charge_fruits**)
- Fermeté moyenne – en kg/cm² (**fermete_moy**)
- Nombre de leviers mobilisés (**nb_leviers**)
- Levier variété mobilisé – binaire oui/non (**levier_varietal**)
- Levier irrigation mobilisé – binaire oui/non (**levier_irri**)
- Levier fertilisation mobilisé – binaire oui/non (**levier_ferti**)
- Suppression des fruits moniliés avant récolte – binaire oui/non (**enlev_momies_rec**)
- Nombre de passages phytosanitaires, tout traitement confondu (**nb_phytos**)
- Durée de l'irrigation - en mois (**duree_irri**)
- Quantité d'eau apportée- en ETP (**quant_etp**)
- Nombre de périodes d'irrigation, déterminées par la quantité d'eau (**nb_periode_irri**)
- Dose de la fertilisation totale - en unité (**dose_ferti**)
- Fractionnement de la fertilisation en nombre de passage (**fract_ferti**)
- Pertes en fruits moyenne sur une récolte, tout défaut confondu (**perte_moy**)
- Pertes en fruits moyenne sur une récolte dues à la moniliose (**perte_moy_moni**)

variables qualitatives	region
	debouches
	criteres_recolte
performances	rdt_max
	charge_fruits
	fermete_moy
Leviers	nb_leviers
	levier_varietal
	levier_irri
	levier_ferti
	enlev_momies_rec
	nb_phytos
pratiques	duree_irri
	quant_etp
	nb_periode_irri
	dose_ferti
pertes	fract_ferti
	perte_moy
	perte_moy_moni

Nous avons regroupé les variables par catégories (tableau 18) pour pouvoir réaliser une AFM sur le jeu de données, une approche adaptée à notre contexte d'analyse car nous avons beaucoup de variables qui sont utilisées et peu d'individus. A partir de ce tableau, nous obtenons les critères utilisés pour catégoriser les différents profils de production.

Tableau 17 : Catégories de variables et variables prises en compte dans l'AFM

Les résultats de l'AFM sont présentés ci-dessous :

Les 3 premières dimensions représentent 60.7% de l'information. Cependant, la dernière dimension n'est représentée que par la catégorie de variables « performances » et n'ajoute que 9 points d'informations supplémentaires. Nous nous baserons donc sur les 2 premières dimensions, sachant que la catégorie « performances » contribue aussi à ces 2 axes, ainsi que « leviers » (axe 1) et pertes (axes 1 et 2).

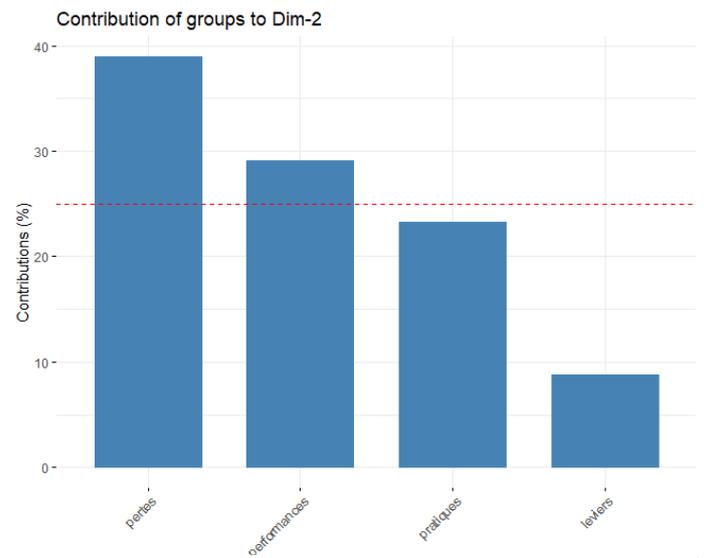
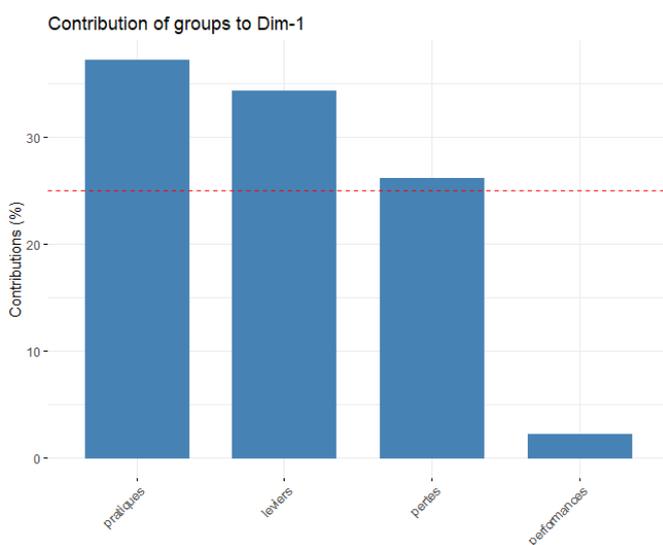


Figure 35 : Contribution des catégories de variables au axes de l'AFM

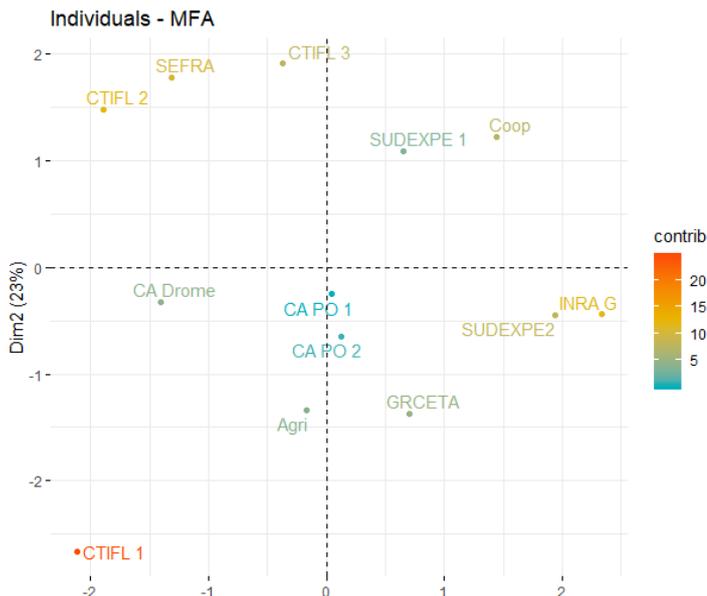


Figure 36 : Regroupement des individus par l'AFM

On remarque sur ce graphique que, dans l'ensemble, il est difficile de regrouper les individus, mais qu'il est possible d'en regrouper certains : CTIFL 2 /SEFRA/CTIFL 3, SUDEXPE 2/INRA G et CA PO 1/CA PO 2. On peut remarquer que CTIFL 1 contribue beaucoup aux axes du graphique du fait de sa grande différence avec les autres individus (représentant de l'AB).

Pour la construction des profils de production, une classification ascendante hiérarchique (CAH) est réalisée sur R à partir de la méthode de Ward (méthode utilisée par défaut sur R).

La classification proposait 3 catégories mais nous avons choisi de conserver 4 groupes pour plus de précision et donc plus de facilité à catégoriser les groupes (Figure 37).

Ainsi nous obtenons les groupes suivants :

- Groupe 1 (SEFRA, CTIFL 2 et CTIFL 3) : il se distingue par des charges en fruits importantes (600 fruits par arbre), un levier fertilisation pour contrôler la moniliose non mobilisé, le levier phytosanitaire mobilisé, et des pertes dues aux monilias faibles.

- Groupe 2 (CA PO 1, CA PO 2, GRCETA et SUDEXPE 2) : il est caractérisé par une charge en fruits moyenne, les leviers irrigation et fertilisation sont mobilisés tous les 2 ainsi que la stratégie phytosanitaire, ainsi qu'une durée d'irrigation courte. Les pertes dues aux monilias sont élevées.

- Groupe 3 (INRA G, SUDEXPE 1 et Coop) : il se différencie des autres groupes par son nombre très élevé de leviers mobilisés.

- Groupe 4 (CA Drome, Agri et CTIFL 1) : il correspond au profil de production au faible potentiel de rendement.

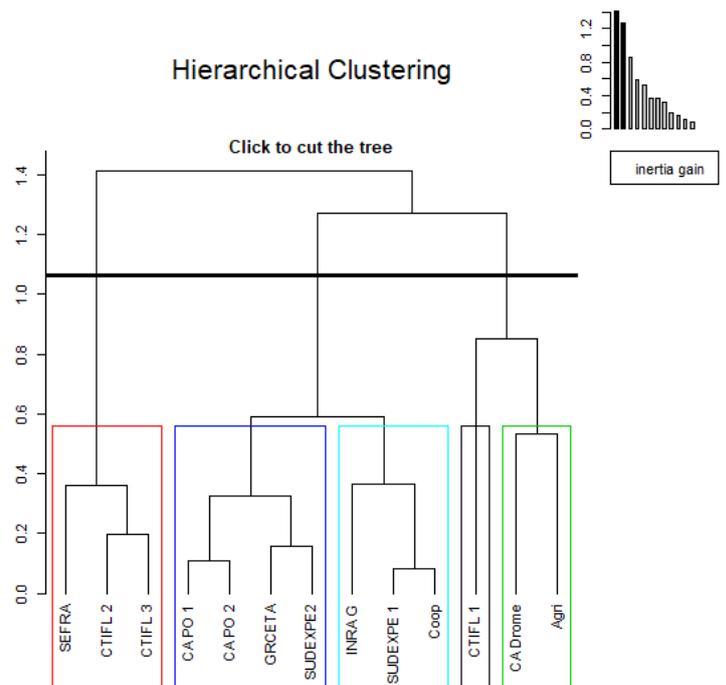


Figure 40: Regroupement des individus par classification ascendante hiérarchique

En résumé, un premier groupe peut s'identifier au groupe production fruitière intégrée en raison du nombre de fruit élevé par arbre et par la mobilisation systématique de traitements phytosanitaires. Les 2^{ème} et 3^{ème} groupes peuvent être identifiés comme des profils de production raisonnée, qui maintienne un niveau de production élevé tout en essayant de mettre en place d'autres leviers alternatifs. Le 3^{ème} groupe semble plus avancé en termes d'alternatives et s'apparenterait à la production biologique. La non suppression des momies avant récolte, pratique susceptible de contaminer les autres fruits (Gallia, 2014), et l'absence de traitement phytosanitaire pourraient expliquer le fort impact de la moniliose. Enfin, le dernier groupe peut s'apparenter à un profil de production fixé sur la qualité environnementale (CA Drome et CTIFL 3 en production AB) et gustative (Agri) de la production plutôt que sur la productivité (faibles rendements).

La caractérisation des profils de productions montre bien qu'elle est possible par rapport à la mise en place ou non de leviers alternatifs contre le développement de la moniliose. En revanche les variables choisies pour l'analyse des données ne permettent pas de faire le lien entre les profils de production et les différences entre les règles de décisions régissant les leviers (hypothèse n°2).

Tableau 18 : Profils de production finaux

	PFI	Production raisonnée	Production raisonnée 2	Agriculture biologique
Rendement (t)	50 à 80	30 à 50	30 à 40	20 à 30
Charge en fruits (nb fruits par arbre)	600	300 à 500	NA	200 à 400
Levier phyto mobilisé	oui	Oui	oui	non
Lever fertilisation et irrigation mobilisés	non	Oui	oui	non
Nombre de leviers mobilisés	4 à 6	4 à 6	6 à 7	3 à 5
Suppression fruits moniliés avant récolte	oui	Oui	non	NA
Pertes du aux monilias	- de 25%	20 à 80%	25 à 80%	NA

En comparant les 2 typologies réalisées, l'une à partir d'un critère et l'autre multicritères, on observe des groupes assez différents. Malgré la présence de la moitié des individus dans les mêmes groupes, le classement des autres individus reste assez différent. On peut constater que la deuxième typologie est plus approfondie que la première du fait du nombre plus important de critères pris en compte. La seconde typologie correspond plus au ressenti que nous avons eu en réalisant les entretiens et au pressenti des experts de la filière. C'est donc sur la seconde typologie que l'optimisation multicritères sera réalisée.

IV. Critique de la méthode

IV.1. Critique de la méthode sur l'analyse des résultats du projet Ecopêche

D'un point de vue agronomique, plusieurs points sont à souligner quant aux indicateurs utilisés pour évaluer les performances des systèmes.

Premièrement, la diminution de l'IFT de 50% pour les vergers économes se calcule par rapport à l'IFT du verger de référence. Or il est possible que l'IFT du verger de référence ne soit pas représentatif de la réalité. En 2015, l'IFT pour la production de pêche-nectarine était de 25 (Agreste, 2018). L'IFT mesuré sur le système S1-REF est d'environ 21 pour la campagne 2019.

Toujours dans un objectif de comparer l'expérimentation mise en place à Avignon avec ce qui est pratiqué par les arboriculteurs, un deuxième point à souligner concerne le temps d'observations des systèmes économes S2 et S3. En effet, les règles de décision de ces systèmes de culture sont, entre autres, basées sur des seuils d'intervention plutôt que des traitements dit « automatiques ». Ce genre d'opération peut demander beaucoup de temps et d'attention, mais reste difficile à mesurer. Ce temps d'observations au champs pourrait être intégré dans l'analyse des performances. En effet, l'agriculture durable en général doit prendre en compte la « vivabilité » des systèmes de cultures pour l'agriculteur, soit la capacité de ce dernier à comprendre et mettre en place des systèmes nouveau étrangers à son fonctionnement habituel (Landais, 1998). Il est difficile de mesurer la charge mentale (Kostenko, 2017) d'un atelier de production ou d'un système de culture, néanmoins cela reste un indicateur important qui pourrait être intégrer à l'analyse multicritère du projet Ecopêche.

Enfin, d'autres indicateurs seraient intéressants à prendre en compte pour évaluer l'impact indirect que peut avoir la diminution de l'IFT et des intrants sur les phénomènes de régulations naturelles. Réaliser des comptages d'auxiliaires de culture permettrait d'évaluer l'impact de cette diminution sur la biodiversité utile au verger, dans un concept de lutte biologique par conservation. Ce serait un moyen d'expliquer par exemple certains résultats comme la reprise de végétation de vergers économes après une attaque d'un bio-agresseur non-éliminé par un traitement phytosanitaire (Le Pichon et al 2008). Par ailleurs nous avons observé de nombreux auxiliaires de culture, notamment des coccinelles et des larves de syrphes qui sont des prédateurs de pucerons, uniquement sur les systèmes économes.

Concernant l'analyse des résultats économiques, l'utilisation de la marge partielle ne permet pas d'analyser les systèmes sur certains points comme par exemple les coûts de mécanisation. En effet, les traitements herbicides réalisés sur le systèmes S1-REF peuvent représenter un coûts plus élevé en mécanisation.

En conclusion, il est intéressant d'approfondir le phénomène de résilience abordé précédemment. On observe en 2019 une diminution de la performance des systèmes économes, une tendance contraire aux campagnes précédentes (performances multicritères

des campagnes 2016 et 2018 en annexe n°5). On peut se demander si ce type de système de culture est moins résilient, en raison des multiples attaques de bio-agresseurs et de la restriction en eau et en intrants qui ont pu engendrer une fatigue des arbres. La mise en place du projet Ecopêche 2 est donc un bon moyen de mesurer cet aspect résilience de ces systèmes de culture économes. Les résultats compilés dans ce rapport seront complétés avec les analyses des autres sites du projet.

IV.2. Critique de la méthode sur l'analyse des résultats du projet Ecoverger

La création des profils de production a mis en évidence quatre profils : le profil PFI, le profil Production raisonnée, le profil production raisonnée 2 et le profil agriculture biologique. Les deux profils production raisonnées se différencient par le nombre de leviers mobilisés pour lutter contre la moniliose, ainsi que par la suppression des fruits moniliés au champ. Il est nécessaire de revenir dans un premier temps sur les conditions d'enquête. 13 enquêtes ont été réalisées en tout, ce qui est faible pour avoir une bonne estimation des pratiques réalisées dans la région. Pour augmenter le nombre d'enquêtés il aurait été intéressant de s'entretenir avec des agriculteurs pour recenser potentiellement d'autres stratégies de gestion de la moniliose. Enfin, il serait pertinent d'élargir le panel d'enquêtés pour équilibrer les effectifs des différents profils de production. On pourrait aussi envisager d'augmenter le panel d'enquêtés pour l'agriculture biologique, par rapport aux autres groupes, car ce type de production pourrait impliquer une plus grande diversité de pratiques. On constate d'ailleurs une forte différence entre les deux enquêtés en agriculture biologique.

Par manque de temps, il n'a pas été possible de réaliser toutes les tâches de cette étape du projet. Il reste encore un gros travail sur l'optimisation des scénarii de production via ces profils de production. Il sera intéressant de confronter les résultats de l'optimisation aux enquêtés et autres acteurs de la filière pour mettre en perspective les solutions proposées avec les réalités de terrain.

Conclusion

Aujourd'hui la recherche de solutions alternatives pour contrôler les bio-agresseurs et pour réduire l'impact environnemental de l'agriculture sont nombreuses. Les deux projets étudiés dans ce rapport permettent de montrer comment ces solutions s'agencent afin de conserver une production et une qualité de production suffisante pour l'agriculteur et le marché.

D'un côté le projet Ecopêche évalue la capacité des systèmes économes à répondre aux exigences de production en mettant en œuvre un ensemble de pratiques alternatives. Ce genre de projet permet de mettre en valeurs les synergies mais aussi les conflits qu'il peut y avoir entre ces pratiques, laissant la possibilité de modifier les règles de décision pour trouver le meilleur compromis. Le projet Ecopêche 1 est un succès puisque les performances agronomiques et économiques de ces systèmes économes ont été soit supérieures soit équivalentes à celles du système de référence. Le projet Ecopêche est relancé pour continuer à évaluer les performances de ces systèmes à l'échelle de vie d'un verger de pêche nectarine dans une exploitation agricole. Pour la première campagne de ce relancement de projet les systèmes économes présentent des performances agronomique similaire, du moins pour le rendement commercialisable, mais des performances économiques inférieures à celles du système de référence. Les prochaines campagnes seront décisives pour déterminer ici cela provient d'une résilience faible de ce genre de système, ou si c'est dû à la campagne particulière de 2019. L'évaluation d'une expérimentation système reste complexe, notamment les règles de décision et leurs variabilité, ainsi que la fixation des conditions de réussite pouvant changer d'une campagne à l'autre. Enfin, après 6 ans de mise en place, le projet Ecopêche a montré qu'il est possible de réduire l'IFT et les intrants sans pour autant impacter fortement les performances économiques. Un réajustement des prix d'achat en fonction des performances environnementales des systèmes de culture serait potentiellement un bon moyen d'accélérer la réduction des intrants en agriculture.

De l'autre, le projet Ecoverger s'applique à créer des scénarii de production à faible niveau d'intrants basés sur un ensemble de pratiques mis en place par des producteurs pour lutter contre la moniliose. Ces scénarii sont aussi caractérisés des profils de production, qui en fonction de leurs objectifs vont exploiter différemment cet ensemble de pratiques. Ce genre de projet faisant appel à la connaissance des producteurs, est un moyen intéressant pour faire circuler l'information sur le fonctionnement de ces pratiques alternatives ensemble et non séparément. De plus ces échanges avec des professionnels plus axé sur ce qui se faire réellement permet de tisser un lien avec la recherche, pouvant parfois être coupé du monde réel. Ce projet permet de mettre en pratique le modèle Qualitree, modèle complexe, au service des producteurs.

Pour l'avenir le projet Ecoverger entrera en dernière phase, avec la création des scénarii via de l'optimisation multicritère et prenant en compte les profils de production créés présentés dans cette étude. Concernant le projet Ecopêche, continuer à étudier la résilience des systèmes économes testés serait intéressant. De plus, il pourrait être envisageable de commencer à mesurer l'importance du sol pour le bon fonctionnement de ces systèmes de

cultures et en mesurant l'impact des pratiques culturales sur son fonctionnement. Enfin, comme ces vergers économes sont mis en place pour diminuer leur impact sur l'environnement, les mesures des prochaines campagnes pourraient intégrer des observation sur la biodiversité spécifique, fondamentale, sur le niveau de pollution des sols et de l'eau. Ces mesures pourraient mieux renseigner les performances environnementales de ces nouveaux systèmes de culture économes en produits phytosanitaires et en intrants.

Bibliographie

- Agreste, 2019. Pratiques culturales en grandes cultures en 2017. Chiffres et données 19.
- Agreste, 2018. Stratégies de traitements phytosanitaires des vergers : les méthodes préventives et de lutte alternative se développe (No. 96). Agreste, Provence Alpes Côte d'Azur.
- Ahmadi, K., 2018. Effets des pratiques économes en produits phytosanitaires et en intrants sur l'élaboration de la qualité des fruits et leur sensibilité aux monilioses en pré et post-récolte dans les vergers de pêche-nectarine. Avignon.
- ANSES, 2016. Expositions professionnelles aux pesticides en agriculture. Volume n°4 : Etude de cas sur la réentrée en arboriculture (Expertise collective). ANSES.
- Arora, A., Ceccagnoli, M., Cohen, W.M., 2008. R&D and the patent premium. *International Journal of Industrial Organization* 26, 1153–1179. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2007.11.004>
- Audemard, H., Leblon, C., Neumann, U., Marboutie, G., 1989. Bilan de sept années d'essais de lutte contre la Tordeuse orientale du pêcher *Cydia molesta* Busck (Lep., Tortricidae) par confusion sexuelle des mâles. *Journal of Applied Entomology* 108, 191–207. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1989.tb00448.x>
- Auvinet, C., 2016. Analyse des performances d'un réseau national d'expérimentations systèmes économes en produits phytosanitaires et en intrants en vergers de pêche-nectarine. Avignon.
- Baldi, I., Cordier, S., Coumoul, X., Elbaz, A., Gamet-Payrastre, L., Le Bailly, P., Multigner, L., Rahmani, R., Spinosi, J., Van Maele-Fabry, G., 2013. Pesticides : effets sur la santé, Inserm. ed. Inserm, Paris.
- Bellon, S., Marie, C. de S., Lauri, P.-É., Navarrete, M., Nesme, T., Plénet, D., Pluvinage, J., Habib, R., 2006. la production fruitière intégrée en France : le vert est-il dans le fruit ? 14.
- Bergez, J.-E., Garcia, F., Lapasse, L., 2004. A hierarchical partitioning method for optimizing irrigation strategies. *Agricultural Systems* 80, 235–253. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2003.07.004>
- Bevacqua, D., Génard, M., Lescourret, F., Martinetti, D., Vercambre, G., Valsesia, P., Mirás-Avalos, J.M., 2019. Coupling epidemiological and tree growth models to control fungal diseases spread in fruit orchards. *Scientific Reports* 9, 8519. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44898-6>
- Blanc, P., Belluau, E., 2001. Formes de conduite du pêcher.
- Butault, J.-P., Dedryver, C.-A., Gary, C., Guichard, L., Jacquet, F., Meynard, J.-M., Nicot, P., Pitrat, M., Reau, R., Sauphanor, B., 2010. SYNTHÈSE DU RAPPORT DE L'ÉTUDE.
- Cancian, N., n.d. Approche didactique d'une question socialement vive agronomique, la réduction de l'usage des pesticides, modélisation du raisonnement agro-écologique et

socioéconomique d'élèves et d'étudiants: appuis et obstacles à l'enseigner à produire autrement 637.

- Cretin, L., Triquenot, A., 2018. Apports de produits phytopharmaceutiques en arboriculture : nombre de traitements et indicateur de fréquence de traitements. Les dossiers 4–27.
- de Oliveira Lino, L., 2016. Study of the genetic variability of peach in susceptibility to brown rot during fruit development in relation with changes in physical and biochemical characteristics of the fruit. Université d'Avignon, Avignon.
- Deb, K., 2004. Single and multi-objective optimization using evolutionary computation, in: Hydroinformatics. World Scientific Publishing Company, pp. 14–35. https://doi.org/10.1142/9789812702838_0003
- Deb, K., Deb, K., 2014. Multi-objective Optimization, in: Burke, E.K., Kendall, G. (Eds.), Search Methodologies. Springer US, Boston, MA, pp. 403–449. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6940-7_15
- Debaeke, P., Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. European Journal of Agronomy 21, 433–446. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.07.006>
- Deytieux, V., Minette, S., Nolot, J.-M., Piaud, S., Schaub, A., Lande, N., Petit, M.-S., Reau, R., Fourrié, L., Fontaine, L., 2012. Expérimentation des systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. Innovations Agronomiques 49–78.
- Estevez, B., Domon, G., Lucas, E., 2000. Le modèle ESR (efficacité-substitution-reconceptualisation), un modèle d'analyse pour l'évaluation de l'agriculture durable applicable à l'évaluation de la stratégie phytosanitaire au Québec. Courrier de l'environnement 97–104.
- FranceAgriMer, 2016. Achat de fruits et légumes frais par les ménages français.
- FranceAgriMer, 2019. La pêche nectarine en 2018.
- Gallia, V., 2014. Pecher : Lutte contre les principaux ravageurs et maladies. Chambre d'Agriculture du Gard / SERFEL.
- Garcin, A., 2009. L'argile kaolinite, une nouvelle méthode de lutte par barrière minérale protectrice contre le puceron vert du pêcher *Myzus persicae* Sulz. Innovations Agronomiques 107–113.
- Génard, M., Robin, Gautier, Massot, Bénard, Larbat, Bertin, Le Bot, Adamowicz, Bourgaud, 2010. Elaboration de la qualité du fruit : composition en métabolites primaires et secondaires. Innovations Agronomiques 47–57.
- Grechi, I., Ould-Sidi, M.-M., Hilgert, N., Senoussi, R., Sauphanor, B., Lescourret, F., 2012. Designing integrated management scenarios using simulation-based and multi-objective optimization: Application to the peach tree–*Myzus persicae* aphid system. Ecological Modelling 246, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.07.023>

- Groupe régional d'experts sur le climat en Provence-Alpes-Côtes d'Azur, 2016. Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Cahier thématique).
- Harris, R.J., Beggs, J.R., 1995. Variation in the quality of *Vespula vulgaris* (L.) queens (Hymenoptera: Vespidae) and its significance in wasp population dynamics. *New Zealand Journal of Zoology* 22, 131–142. <https://doi.org/10.1080/03014223.1995.9518030>
- Havard, M., Alaphilippe, A., Deytieux, V., Estorgues, V., Faloya, V., Labeyrie, B., Lafond, D., Meynard, J.-M., Petit, M.-S., Plénet, D., Picault, S., 2017. Guide de l'expérimentateur "système" : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation "système" pour les cultures assolées et pérennes. Gis Relance Agronomique.
- Hilaire, C., Giauque, P., 2003. Le pêcher, CTIFL. ed. CTIFL.
- Hochart, R., 2014. Le devenir de la production fruitière en France (Rapport de mission).
- ITAB, 2010. Journées techniques Fruits et légumes biologiques. ITAB, Angers.
- Kostenko, A.S., 2017. Évaluation multidimensionnelle et dynamique de la maîtrise de la situation par l'opérateur: création d'un indicateur temps réel de charge mentale pour l'activité de supervision de drones.
- Labidi, A., 2016. La modélisation dans le domaine de l'agronomie [WWW Document]. AgriMaroc.ma. URL <http://www.agrimaroc.ma/la-modelisation-dans-le-domaine-de-lagronomie/> (accessed 7.15.19).
- Landais, E., 1998. Agriculture durable : les fondements d'un nouveau contrat social ? INRA, Paris, p. 18.
- Le Pichon, Romet, Lambion, 2008. Approche multi_niveaux de la gestio des bio-agresserues : moyen d'analyse des expérimentations du Groupe de Recherche en Agriculture Biologique. *Innovations Agronomiques* 91–99.
- Legave, J.M., 2009. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière. *Perspectives agronomiques* 13.
- Leridon, H., De Marsily, G., 2011. Démographie, climat et alimentation mondiale, Académie des sciences. ed. Académie des sciences.
- Lescourret, F., Moitrier, N., Valsesia, P., Génard, M., 2011. QualiTree, a virtual fruit tree to study the management of fruit quality. I. Model development. *Trees* 25, 519–530. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0531-9>
- Lichou, J., Mandrin, J.-F., Breniaux, D., 2001. Protection intégrée des fruits à noyau, CTIFL. ed. CTIFL.
- Lurie, S., H., C.C., 2005. Chilling injury in peach and nectarine. Elsevier 196–208.
- Maryvonne, D., 2019. Pucerons - SHPA [WWW Document]. URL <http://www.horti-auray.com/les-ravageurs/157-pucerons.html> (accessed 8.2.19).
- Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015. Plan Ecophyto II.

- Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2012. Le nombre de doses unités (NODU) Vert Biocontrôle.
- Mirás-Avalos, J.M., Alcobendas, R., Alarcón, J.J., Pedrero, F., Valsesia, P., Lescourret, F., Nicolás, E., 2013a. Combined effects of water stress and fruit thinning on fruit and vegetative growth of a very early-maturing peach cultivar: assessment by means of a fruit tree model, QualiTree. *Irrigation Science* 31, 1039–1051. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0385-6>
- Mirás-Avalos, J.M., Alcobendas, R., Alarcón, J.J., Valsesia, P., Génard, M., Nicolás, E., 2013b. Assessment of the water stress effects on peach fruit quality and size using a fruit tree model, QualiTree. *Agricultural Water Management* 128, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.008>
- Mollier, P., Foucaud-Scheunemann, C., 2013. Modélisation et agrosystèmes [WWW Document]. URL <http://www.inra.fr%2FChercheurs-etudiants%2FSystemes-agricoles%2FTous-les-dossiers%2FModelisation-et-agrosystemes> (accessed 7.15.19).
- Naïo Technologies, 2016. Irrigation : déterminez les besoins en eau des cultures. Naïo Technologies. URL <https://www.naio-technologies.com/irrigation-determinez-besoins-eau-cultures-stocks-deau-disponibles/> (accessed 7.11.19).
- Normand, F., 2013. Le concept de production fruitière intégrée - Évolution des concepts [WWW Document]. URL http://www.supagro.fr/ress-tice/EcoHort/Uved/ProductionFruitiereIntegree/co/Evolution_des_concepts.html (accessed 7.12.19).
- Othmani, I., 2004. Optimisation multicritère: fondements et concepts 119.
- Plénet, D., 2016. Ecopêche : conception et évaluation multisite de vergers de pêche-nectarine économes en produits phytosanitaires et en intrants. *Dephy Ecophyto* 29.
- Plénet, D., Hilaire, C., Blanc, P., Borg, J., Borne, S., Bussi, C., Gallia, V., Greil, M.-L., Guiraud, M., Hostalnou, E., Labeyrie, B., Mercier, V., Millan, M., Montrognon, Y., Monty, D., Mouiren, C., Pinet, C., Ruesch, J., 2019. Ecopêche : Conception et évaluation multisite de vergers de pêche-nectarine économes en produits phytopharmaceutiques et en intrants. *Innovations Agronomiques* 19.
- Plénet, D., Navarro, E., Giauque, P., Hostalnou, E., Millan, M., Aymard, J., 2003. Pêches et nectarines, analyse des performances des vergers de pêcheurs à partir de la base de données EFI. *L'arboriculture fruitière* 19–23.
- Ricci, P., 2010. Economiser en pesticides : contrainte ou opportunité. *Innovations agronomiques* 1–13.
- Rinaldi, C., Kohler, A., Frey, P., Duchaussoy, F., Ningre, N., Couloux, A., Wincker, P., Le Thiec, D., Fluch, S., Martin, F., Duplessis, S., 2007. Transcript Profiling of Poplar Leaves upon Infection with Compatible and Incompatible Strains of the Foliar Rust *Melampsora larici-populina*. *Plant Physiol.* 144, 347–366. <https://doi.org/10.1104/pp.106.094987>
- Roux, L., n.d. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies 117.

- Roy, L., Fontaine, S., Hullé, M., Caddoux, L., Brazier, C., Morignat, E., Micoud, A., Calavas, D., Simon, J.-C., 2013. La résistance aux insecticides chez le puceron vert du pêcher 4.
- Ruesch, J., 2017. Ecopêche 2 : Conception et évaluation multisite de vergers de pêche-nectarine très économes en produits phytosanitaires 1.
- Saintilan, M., le 28/08/19 09:11, M. à jour, n.d. Canicule 2019 : canicules et vagues de chaleur, un été 2019 chaud [WWW Document].
URL <https://www.linternaute.com/bricolage/magazine/1469136-canicule-2019-canicules-et-vagues-de-chaleurs-un-ete-2019-chaud/> (accessed 8.30.19).
- Syngenta, 2016. L'Indicateur de Fréquence de Traitement, qu'est-ce que c'est ? [WWW Document]. Syngenta France. URL <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/article/indicateur-frequence-traitement> (accessed 7.12.19).
- Tichit, M., 2012. La diversité facteur de résilience dans les systèmes agricoles.
- Tichit, M., n.d. La diversité facteur de résilience dans les systèmes agricoles 20.
- Vidaud, J., 1987. Le pêcher références et techniques, CTIFL. ed. CTIFL.
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S., Kinzig, A., 2004. Resilience, Adaptability and Transformability in Social–ecological Systems. Ecology and Society
9. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>

Annexe 2 : Protocole de l'expérimentation EcoPêche pour la campagne 2019

Expérimentation système EcoPêche

Site Inra Avignon 2019

Objectifs généraux de l'expérimentation système

Concevoir et évaluer des systèmes économes en produits phytopharmaceutiques et en intrants eau et azote

- Réduire les IFT (-50%) selon les systèmes tout en préservant la rentabilité économique
- Zéro herbicide sur les systèmes économes (enjeu qualité de l'eau)
- Réduire l'utilisation de l'eau d'irrigation et des fertilisants azotés, en utilisant notamment les synergies réduction hydrique – gestion des maladies de conservation
- Maîtriser les temps de travaux manuels qui représentent les principaux coûts de production.

Dispositif de base de l'essai Système EcoPêche

3 systèmes : **S1-Référence** (conduite selon les recommandations régionales),
 S2-Eco1 (économes en phytos avec même densité et même forme fruitière que REF)
 S3-Eco2 (économe en phytos avec une conduite différente)

Année plantation 2013 (7^e feuille en 2019) – Nectarine blanche (variété Nectarlove, maturité entre 10 et 31/07)

INRA PSH	Systèmes		
	S1 : REFérence (Raisonné)	S2 : ECOnome 1 Forme en volume	S3 : ECOnome 2 Forme haie fruitière
ESSAI 1 Nectarlove			
Variété Porte-greffe	Nectarlove GF 677	Nectarlove GF 677	Nectarlove GF 677
Forme arbres	Double Y	Double Y aéré	Simple Y oblique
Densité (arbres/ha)	571	571	909
Système irrigation	Micro-aspersion	Goutte à goutte enterré et/ou de surface	Goutte à goutte enterré et/ou de surface
Entretien sol du rang	Désherbage chimique rang	Paillage textile	Paillage textile

Chaque bloc est composé de 6 rangs de 10 arbres (S1 et S2) ou 16 arbres (S3)

Conduite homogène sur le bloc (règles de décision appliquées à l'ensemble du bloc)

Pilotage irrigation par bilan hydrique x sonde TDR x capteurs micromorphométriques

Objectifs supplémentaires pour 2019

1. Travail pour la thèse d'Enrico et l'UMT IQUAR

Augmenter les différenciations sur l'élaboration de la qualité des fruits et la sensibilité des fruits aux monilioses en jouant avec l'alimentation hydrique pour obtenir un gradient contrasté de croissance des fruits (et donc du potentiel de microfissures) avec un impact possible sur la sensibilité des fruits aux monilioses au verger et en cours de conservation.

Acquérir les variables nécessaires à la paramétrisation et l'utilisation de QualiTree (essentiellement la partie fonctionnement de l'arbre et élaboration de la qualité des fruits)

Cette différenciation hydrique se fera exclusivement sur le système S2-Eco1.

Avec 2 modalités :

- S2-M1 (rangs 2- 3 – 4 – 5) : irrigation à kc*ETP (mais en fait, moins 10 à 20 % des besoins par rapport au système de référence S1-REF, pour tenir compte de la meilleure efficacité des apports par le goutte à goutte)
- S2-M2 (rangs 1 – 6) : irrigation à 50 % de S2-M1 à partir de début mai (si possible suivant les conditions climatiques) , soit juste après l'éclaircissage.

NB : sur S2 M1 et S2 M2, il n'y aura pas de traitements fongicides anti-monilia avant la récolte.

Systèmes	Sous-modalités	Commentaire	Localisation des mesures	Nombre répétition pour les mesures
S1-REF			Rangs 3-4 -5	12 arbres (12 répétitions)
S2-Eco1	S2-M1	100% kc ETP	Rangs 2 – 3 – 4 - 5	12 arbres (12 répétitions)
	S2-M2	50% kc.ETP	Rangs 1 - 6	2 * 6 arbres (12 répétitions)
S3-Eco2			Rangs 2 – 3 – 5	12 arbres (12 répétitions)

Au total : les suivis de croissance et l'évaluation des rendements se feront sur 12 arbres / systèmes ou modalités, soit $12 * 4 = 48$ arbres.

Pour la partie post-récolte, on constituera les lots échantillonnés en poolant (ou non) les 12 arbres / modalités (=> les nombres de fruits disponibles pour les manip en post-récolte sont non limitants).

2. Travail réalisé dans le cadre de l'UMT SiBIO

Une petite expérimentation est réalisée avec comme objectif d'analyser la compétition pour la nutrition azotée entre le pêcher et des plantes de laitue installée sur le rang au pied des arbres et d'évaluer les gammes de réponse des concentrations en nitrate dans le sol au cours du temps et l'évaluation du statut azoté des plantes (arbre et laitue).

Le dispositif est implanté à l'intérieur du bloc S1-REF (mais sans affecter les arbres servant au suivi de l'effet système).

Il comprend 1 facteur « fertilisation azotée » à 4 niveaux : 0N, 75N, 150N (dose de référence pour le S1-REF) et 225N.

Et 1 facteur « Laitue » à 2 modalités : « Sol nu » et « laitue ».

Pour ne pas impacter l'essai système, le nombre de répétition de chaque modalité sera de 2.

Facteur Azote (kg N/ha apporté)	Facteur Laitue	Code	Localisation	Arbres de l'essai
0 N	Sol nu	0N-Sol nu	S1 Rang 2 (3 arbres)	
	Laitue	0N-Laitue	S1 Rang 2 (2 arbres)	
75 N	Sol nu	75N-Sol nu	S1 Rang 2 (3 arbres)	
	Laitue	75N-Laitue	S1 Rang 2 (2 arbres)	
150 N	Sol nu	150N-Sol nu	S1 Rang 3 (8 arbres)	
	Laitue	150N-Laitue	S1 Rang 3 (2 arbres)	
225 N	Sol nu	225N-Sol nu	S1 Rang 4 (6 arbres)	
	Laitue	225N-Laitue	S1 Rang 4 (2 arbres)	

Nb : les apports sont fractionnés en 4 fois

Au total : 8 modalités expérimentales avec 2 arbres => **16 arbres** en expérimentation

Conditions expérimentales générales

Traitements phytosanitaires

- S1-REF : objectif : protection anti-monilia maximale : 3 traitements anti-monilia systématiques à 25 jours avant récolte, 10 jours avant récolte et 3 jours avant récolte
- S2-Eco1 : impasse complète (aucun traitement anti-monilioses) sauf si conditions climatiques à très haut risque (=> 1 traitement possible à 10 jours avant récolte)
- S3-Eco2 : 1 intervention anti-monilia avant récolte à R-10 j. (soit avec un fongicide de synthèse soit avec un produit de biocontrôle) selon la pression monilia !

Irrigation

- L'irrigation réduite de 50 % sera appliquée sur 2 rangs sur le système S2 (2 rangs de bordure), les 4 autres rangs seront irrigués selon règles de décision de pilotage définies pour chaque système : kc.ETP sur REF (en microjet) et kc.ETP avec -10 à -20 % sur Eco1 et sur Eco2 (en goutte à goutte)
- Date de début de la différenciation hydrique (à partir de l'éclaircissage des fruits soit début mai si possible)
- Temps t0 de la plupart des mesures = fin avril à début mai

Charge en fruits

- La charge en fruits visée sur les systèmes S1-REF et S2-Eco1 est de 500 fruits/arbre (soit un rendement brut d'environ 50 T/ha)
- Sur S3-Eco2, la charge visée sera de 380 fruits/arbre (soit 59 T/ha)

Cette charge assez élevée a pour but d'obtenir une répartition des calibres avec un pourcentage de calibre 2A et 3A plus faible que les années précédentes (proche de 50 % en 2018).

Plan du dispositif Nectarlove Inra Domaine Saint Paul Avignon



Mesures réalisées en « routine »

12 arbres servent de support aux observations et mesures depuis 2014

- section de tronc, suivi des stades phénologiques, nb de fleurs, nb de fruits, suivi croissance en diamètre des fruits et des pousses, prélèvements réguliers de feuilles et fruits pour établissement d'allométrie (Masse fraîche, masse sèche, surfaces, % MS, teneur en azote...),
- Détermination des surface foliaire des arbres, poids de bois de taille, arrachage d'arbre pour mesurer compartiments feuilles, rameaux, charpentières, tronc avec détermination des concentrations en éléments minéraux
- Suivi des dégâts des principaux bioagresseurs (observations sur 30 arbres/parcelle)
- Rendement (brut, commercial, répartition calibre pour chaque cueille)

- Détermination des dommages à la récolte (% de fruits piqués, de fruits pourris, et suivi des pourritures en post récolte (14 jours à température de 20 ° C)

Protocole EcoPêche 2019

Mesures

1. Circonférence des troncs

Mesurer la circonférence des troncs et des charpentières à 3 dates sur les 48 arbres : fin février, juste après la récolte (fin juillet) et en fin de saison (fin octobre).

2. Nombre de bourgeons - Floraison - Nouaison : (tous les 7 jours)

Repérer 2 rameaux mixtes / arbre sur les 12 arbres identifiés

Mesurer leur longueur (cm)

Compter le nombre de bourgeons totaux, le nombre de bourgeons végétatifs et le nombre de bourgeons à fleur (courant mars)

Suivre les stades de développement des bourgeons à fleur (stade C : calice visible ; stade D : corolle visible ; stade E : étamines visibles ; stade F : fleur ouverte ; stade G : chute des pétales) (2 puis 3 fois par semaine)

Déterminer la date du stade F2 (50% de fleurs ouvertes) = **11 mars 2019 ?**

En post-floraison, réaliser un comptage du nombre de fruits noués (à réaliser 30 jours après F2 puis juste avant l'éclaircissage manuel)

En post-floraison : nombre de rosette et/ou de pousses longues / rameau (mi-avril et mi-mai)

=> Variables : Nombre de fleurs/m, taux de fructification, taux de nouaison, % pousses longues vs rosettes par rameau mixte.

3. Architecture

Objectif : avoir une estimation de la distribution et de la position des RM au sein de l'arbre

Sur 2 arbres / système (à sélectionner sur 12 arbres / Systèmes de culture)

Mesurer hauteur des charpentières et longueur des charpentières (+ hauteur du tronc) et leur position (nord est, sud-est, sud-ouest, nord-ouest)

Mesurer circonférence tronc et Diamètre des charpentières.

Sur toutes les charpentières et les sous-mères :

Mesurer hauteur d'insertion des RM (en précisant si insertion directe sur charp. (C), insertion sur vieux bois (VB), insertion sur Bois de 2 ans (B2)

Mesurer longueur du RM

Angle par rapport vertical (V), 45°, 90°, 135°.

4. Croissance Pousse : (tous les 14 jours)

Etiqueter 6 jeunes pousses vigoureuses / arbre (futur pousse longue) début mai (soit 6 pousses /arbres x 12 arbres / modalité = 4 pousses x 12 arbres x 4 modalités = 192 pousses

Mesurer la longueur et compter le nombre de feuilles déployées tous les 14 jours (voir §5 pour les relations d'allométrie longueur, nb de feuilles, etc.) : début mai, mi-mai, début juin, mi juin, fin juin, mi-juillet, fin juillet et début septembre. (soit 6 à 7 dates de mesures)

Mesures pour initialiser le modèle QualiTree : fin avril – début mai : prélever 30 pousses / Systèmes de culture (gradient de dimension) et faire longueur, nombre de feuilles, poids frais et poids sec des pousses

Points sur les gourmands : au moment de la taille en vert (vers mi-juin), couper et compter les gourmands enlevés / arbre (sur les 48 arbres)

Faire un poids frais total des gourmands et à partir d'un sous-échantillon, déterminer le % MS des gourmands. Conserver quelques échantillons pour dosage N et C dans gourmands (feuilles et tiges).

5 Surface foliaire, masse surfacique et teneur en azote des feuilles (tous les 14 à 30 jours)

Cinétique des surfaces et des masses surfaciques et des teneurs en azote à l'échelle d'une feuille moyenne

Prélèvements de feuilles pour analyses C et N tous les 14 jours puis tous les mois sur 3 Systèmes de culture
6 dates = vers 20 avril (rosettes et feuilles de pousses), puis sur feuilles de pousses le 10 mai, 24 mai, 6 juin, 20 juin, 4 juillet, 25 juillet, 30 août, 30 septembre ou à la chute des feuilles)

Le 25 juin faire un diagnostic foliaire complet (3 Systèmes de culture)

Echantillonnage :

- échelle du Système faire 3 échantillons distinctes (3 répétitions) sur arbres 1 à 4, puis 5 à 8, puis 9 à 12) / Systèmes de culture : prélever 7 feuilles / arbre (feuille mature complètement déployée dans la partie médiane de la pousse, prélèvement aléatoire) sur 4 arbres (par rang) = 28 feuilles / échantillon x 3 répétitions

Sur chaque échantillon (composé de 28 feuilles/Systèmes de culture) :

- Mesurer la surface foliaire au planimètre (surface cumulée des 28 feuilles) et poids frais.
- Mesurer la teneur en chlorophylle avec le minolta SPAD Chlorophyll meter
- Passer à l'étuve (> 48 h. à 80°C)
- Faire le poids sec des échantillons
- Conserver les échantillons pour analyses azote et carbone (sélectionner les échantillons en fonction résultats)

Relation d'allométrie à l'échelle de l'unité Rameau Mixte

Vers fin-juin ou début juillet (proche de la date longueur max. des pousses) sur les 3 Systèmes de culture

Sur 15 rameaux/Systèmes de culture de longueur très différentes (5 petits, 5 moyens et 5 grands), faire une relation d'allométrie : longueur du rameau, nombre de rosette et nombre de pousses longues (et longueur des pousses longues)

Compter et peser les fruits du rameau

Faire poids frais, poids sec et surface des feuilles de rosette et des feuilles des pousses (par échantillonnage) pour estimer la surface moyenne de feuille de rosette / rameau et des feuilles de pousse / rameau.

Faire aussi poids frais et sec du rameau et des tiges des pousses => biomasse totale à l'échelle d'une unité de production (rameau mixte).

6. Diamètre des fruits

Mesures toutes les 7 jours (à partir du 10 avril : mesures aléatoires jusqu'à éclaircissage, puis sur des rameaux étiquetés à partir de début mai)

A faire sur 12 arbres / modalités :

Etiqueter 6 rameaux mixtes /arbre avant ou juste après l'éclaircissage et mesurer 1 fruit / rameau (soit 12 arbres x 6 fruits /arbre = 72 fruits /modalités => 288 mesures / dates)

Mesurer le diamètre des fruits 1 fois / semaine (de mi-mai à la récolte)

7. Relations d'allométrie chez le fruit et analyse biochimique des fruits

Parallèlement à la mesure de la croissance diamétrale des fruits, faire des prélèvements de fruits pour réaliser des relations d'allométrie diamètre des fruits – poids frais et sec des fruits

Tous les 15 jours, prélever 12 fruits/ Systèmes de culture (prendre aléatoirement 4 fruits de petites tailles, 4 fruits de taille moyenne et 4 gros fruits)

Au labo, numérotter les fruits (faire toutes les mesures / fruit)

Prendre diamètres (équatorial et suture) et hauteur de chaque fruits et poids frais

Mettre dans boîte à humidité (couper le fruit en morceau, séparer le noyau et le mettre sécher aussi)

Après étuve à 80°C, faire poids sec de chaque fruit.

Regrouper les fruits par 4 pour faire 3 échantillons / Systèmes de culture et garder les échantillons pour analyse C et N (teneur en C et N des petits, moyens et gros fruits à chaque date de prélèvement)

A partir de mi mai, modification du protocole car préparation des fruits pour analyse biochimique

A faire sur 4 modalités (mais en sachant qu'on devrait pouvoir regrouper les 2 systèmes pour augmenter la puissance d'analyse sur Irrigation x charge en fruits)

Prélever 6 fruits / modalités (2 petits proche 1^{er} quartile, 2 moyens et 2 gros fruits proche 3^{ème} quartile) => 6 fruits x 8 modalités = 48 échantillons

Aux premières dates, possibilité de prélever 2 fruits/échant. et de les pooler pour augmenter la masse de matière/compartiment

Faire diamètre (équatorial, suture et hauteur),

Prendre le poids frais total du fruit

Faire une mesure de la fermeté des fruits (au DUROFEL)

Séparer peau et noyau.

Faire PF et PS (après passage étuve à 80 °C) de la peau et du noyau.

Conserver les échantillons pour faire des dosages de N total et C (peau et noyau séparément, mais voir pour regrouper des échantillons pour analyse

Pour la pulpe : Faire le PF total de la pulpe. Découper la pulpe en petits cubes. Faire 2 sous-échantillons : 1er est mis dans sac plastique, plongé dans l'azote liquide et servira pour les analyses biochimiques (stockage au congélateur -20°C) ; 2ème (au maxi 50 g) est mis dans barquette aluminium préalablement taré, passé à l'étuve pour faire le poids sec (barquette + pulpe) et calculer le %MS de la pulpe (et jeter échantillon ensuite).

Les analyses biochimiques seront azote total, sucres solubles, acides organiques, => 48 échantillons / 1 date

A faire à 8 dates (voir calendrier) : NB : aux premières dates, il y aura moins d'échantillons car pas de différenciation entre les modalités

8 Conductance des fruits

A faire de début juin à fin juillet (tous les 14 jours soit environ 5-6 dates de mesures)

Prélever 12 fruits / modalités (soit 2 fruits/arbre) au moins sur 1 des systèmes

Prendre le diamètre des fruits

Peser les fruits et les mettre transpirer sous un ventilateur.

Refaire les pesées toutes les heures

9 Récolte (à définir avec Enrico sur la partie S2-Eco1 avec les 2 modalités)

Dans les 7 jours qui précèdent la récolte, compter et enlever les fruits tombés et/ou pourris (1 à 2 fois/semaine)

A faire sur les 12 arbres sur tous les arbres des 4 modalités.

Récolte à réaliser en 3 ou 4 cueilles.

A chaque cueille :

Peser tous les fruits/arbre récoltés (en tenant compte de leur maturité => récolte par calibre).

Calibrer, compter et peser par calibre (à faire par arbre sur les 48 arbres)

Compter les fruits « avec piqures » et les fruits avec « début pourriture » / calibre / arbre. Prélever 2 fruits par calibre et par arbre (3A, 2A, A, B, C).

Soit 2 fruits x 5 calibres x 12 arbres = 60 fruits/Systèmes de culture (analyse statistique 12 répétitions/calibre/Systèmes de culture)

Si moins de calibre, prendre 2 ou 3 fois sur les calibres dominants

A faire à chaque cueillette : au labo, mesurer le taux de sucres par réfractométrie sur les 2 fruits/calibre

Echantillon : IR sur 60 fruits x 3 Systèmes de culture = 180 fruits au total / cueille x 4 cueilles = 720 fruits à mesurer sur Nectarlove

10 Test conservation des fruits en post-récolte (à voir avec CTIFL et UPAV)

A faire systématiquement sur les 3 premières cueilles pour intégrer les décalages de maturité.

Après récolte et calibrage des 6 arbres/modalités, prélever 2 x 30 fruits (2 plateaux alvéolés) / modalité.

(soit au total 8 modalités x 2 plateaux = 16 plateaux + 2 à 3 plateaux pour S3-Eco2)

Numéroter et peser chaque fruit

Les passer au froid pendant 48 h.

Les mettre en conservation à température comprise entre 20 -24 °C

Eliminer progressivement les fruits avec un début de pourriture (en repérant le numéro du fruit et la date de pourriture (observation faite chaque jour si possible à la même heure). Manipuler au minimum les fruits dans les plateaux (contamination possible lors des manipulations des fruits)
Renouveler l'opération à chaque cueille (=> 3 fois)

Calendriers des principales mesures

N° semaine	date	Interventions	Prel. Biochimie et conductance	Mesures
16	16 au 20/04/2018			Fruits
17	23 au 27/04/2018			Fruits, Feuilles
18	30/04 au 4/05/2018	éclaircissage	P1	Fruits
19	7 au 11/05/2018	éclaircissage		Fruits, Feuilles / Systèmes de culture
20	14 au 19/5/2018	éclaircissage		Fruits
21	22 au 25/05/2018	Différenciation Irrigation x charge en fruits	P2, Conductance Sur 1 modalité /Systèmes de culture	Fruits, Feuilles / Systèmes de culture
22	28/05 au 1/06/2018			Fruits
23	4 au 8/06/2018		P3, Conductance	Fruits, Feuilles,
24	11 au 15/06/2018		photosynthèse	Fruits,
25	18 au 22/06/2018		P4, Conductance	Fruits, Feuilles
26	25 au 30/06/2018			Fruits,
27	2 au 6/07/2018		P5, Conductance photosynthèse	Fruits, Feuilles
28	9 au 13/07/2018	Récolte 1	P6, Conductance, Conservation	Fruits,
29	16 au 20/07/2018	Récolte 2	P7, Conductance Conservation	
30	23 au 27/07/2018	Récolte 3 et Récolte 4 (fin de semaine ?)	P8, Conductance Conservation	Feuilles
31	30 au 3/08/2018	Test conservation		

NB : jusqu'à la date du 22 au 25 mai, il y aura une seule modalité / Systèmes de culture (modalité de base) => les mesures et prélèvements seront donc réalisées pour initier le modèle avant la différenciation (=>6 arbres sur

11 Fluctuations micrométriques

Poser 3 capteurs micromorphométriques / modalités (soit 3 x 4 modalités = 12 capteurs)

A installer courant mai

Récupération les données et Calculer croissance journalière (CJ) et Amplitude de Contraction Diurne (ACD)

12 Potentiel hydrique des tiges

Sur les 2 modalités de S2-REF (S2M1 et S2M2) et sur S1 et S3

A partir du 20 mai, faire 1 fois / semaine le potentiel hydrique de tige (sur des pousses situées à une faible distance des charpentières) pour avoir le potentiel au collet.

Mesurer 4 feuilles / modalités x 4 modalités (soit 16 mesures)

Poser des sachets en aluminium en début de matinée (4 / modalités)

Prélever les feuilles et réaliser les mesures avec chambre à pression

13 Relations d'allométrie pour caractériser le prélèvement de N par pousse :

Vers début septembre, prélever 12 pousses / Systèmes de culture (4 pousses petites (autour de 10 à 20 cm) – 4 moyennes (30 à 40 cm) et 4 pousses longues (50 à 60 cm).

Prendre aussi des gourmands (à la taille en vert)

Au laboratoire, sur chaque pousse :

Feuilles : nombre de feuille : poids frais total, surface foliaire cumulée, poids sec total, conserver l'échantillon dans sac, puis broyage et analyse N total des feuilles => calcul QN prélevé par le compartiment feuille sur une pousse

Tige (axe 1) : longueur, diamètre basal à 2 cm de la base, Poids frais, découper en petits morceaux, poids sec, broyage, N total de la tige

Si des ramifications sur les pousses : faire un pool axe 2 (feuilles + tiges de l'axe 2)

Avec ces données : calcul de différents paramètres notamment la quantité de N / pousse (tester la relation longueur pousse vs QN pousse)

14 Estimation Surface foliaire totale / arbre

Estimation surface foliaire totale et des différents compartiments de bois / arbre

A faire à l'automne (mi septembre) : estimer la biomasse totale en feuille et la surface foliaire totale

Sur 3 arbres en bordure de blocs / Systèmes de culture

Enlever toutes les feuilles d'une charpentière /arbre : faire poids frais total des feuilles. Prendre 1 échantillons de 30 feuilles aléatoirement. Poids frais, surface des 30 feuilles, poids sec => dosage de N (après avoir poolé les échantillons pour constituer 2 éch./arbre).

Au cours de l'hiver, tronçonner et séparer les différents compartiment vieux bois (tronc, charpentières, bois de 3 ans) et la croissance des bois de 2 ans et de tous les bois de 1 an (pousse de l'année)

Utiliser le protocole utilisé les années précédentes

A la taille d'hiver (janvier – février)

Faire le Poids des bois de taille : tailler les arbres pour laisser 120 rameaux mixtes (dans l'hiver)

Peser le bois de taille en considérant 2compartiments (les gourmands ayant déjà été comptabilisés et supprimés) : pousses de l'année 2018 (futur rameau mixte de l'année 2019) et le bois plus âgé (bois de 2 ans et vieux bois enlevé à la taille).

Prendre des échantillons de rameau pour faire le % MS et quelques dosages C et N

Annexe 3 : Tableau de la protection chimique et biocontrôle pour les 3 systèmes de culture

Moyenne de dose/ha appliquée (kg/ha)				Syst.		
Catégories Produits	cible 1	Produit Commercial	Substance active	S1	S2	S3
herbicide	Adventices	CHARDOL 600	2,4 D	0,48		
		SELECTRUM	Isoxaben + Oryzalin	1,5		
		ROUNDUP GOLD	glyphosate 480 g/L	2,1		
		LEOPARD 120	Quizalofop P-éthyl	0,5		
fongicide	Cloque(s)	NORDOX 75 WG	Cuivre de l'oxyde cuivreux	3,33	2,7	2,7
		BNA PRO	Di-hydroxyde de calcium		50	50
		ORDOVAL	Thirame	2,5		
		BOUILLIE BORDELAISE RSR DISPERS	Cuivre du sulfate de cuivre		1	1
		ORDOVAL	Thirame	2,5		
		BNA PRO	Di-hydroxyde de calcium		50	50
		BOUILLIE BORDELAISE RSR DISPERS	Cuivre du sulfate de cuivre			1
		SIGMA DG	captane	3	3	
	Oïdium(s)	NIMROD	Bupirimate	0,6		
		MICROTHIOL SPECIAL DISPERS	Soufre mouillable		7,5	7,5
		NIMROD	Bupirimate	0,6		
		MICROTHIOL SPECIAL DISPERS	Soufre mouillable		7,5	7,5
		CITROTHIOL DG	Soufre mouillable		7,5	7,5
		VELKADO	cyflufénamid	0,5		
	Monilioses	LUNA Experience	Tébuconazole + fluopyram	0,5		
		JULIETTA	Saccharomyces cerevisiae			2,5
		SIGNUM	Pyraclostrobine + Boscalid	0,75		
		JULIETTA	Saccharomyces cerevisiae			2,5
		KRUGA	Fenbuconazole	2		
		JULIETTA	Saccharomyces cerevisiae			2,5
	Bacterioses	BOUILLIE BORDELAISE RSR DISPERS	Cuivre du sulfate de cuivre	6,25	6,25	6,25
	insecticide	Chenilles foreuses des fruits	RAK 5	(vide)	500	500
PROCLAIM			Emamectine benzoate	2		
CORAGEN			chlorantraniliprole	0,18		
DECIS protech			Deltaméthrine	0,83		
DELFIN			Bacillus thuringiensis var. kurstaki SA-11		1	1
Pucerons		TEPPEKI	Fonicamide	0,14		
		MOVENTO	Spirotetramat	1,5		
Stad. Hivern. Ravageurs		EUPHYTANE GOLD	huile de vaseline		10	10
		EUPHYTANE GOLD	huile de vaseline		10	10
Thrips		KLARTAN	Taufluvalinate	0,6		
		INVELOP WHITE Protect	talc		25	25
Autre		Glu	RAMPASTOP	Glu	14	14
	Limaces et escargots	IRONMAX PRO	Phosphate ferrique		3,5	3,5
		METAREX INO	Métaldéhyde 4%	2,5		

Annexe 4 : Résumé des valeurs IFT des 3 systèmes de culture

		IFT Herbicides chim.	IFT Fongicides chim.	IFT Insecticides chim.	IFT autres produits	IFT chimique total	IFT vert Fongi.	IFT vert insect.	IFT vert autres produits	IFT Vert Total
Inra Avi. Nectarlove	REF	1,35	11,00	7,00	0,50	19,85	0,0	1	0	1,0
Inra Avi. Nectarlove	Eco1		2,97	0,00	0,00	2,97	4,0	4,00	0,5	8,5
Inra Avi. Nectarlove	Eco2		2,13	0,00	0,00	2,13	7,0	4,00	0,5	11,5

Annexe 5 : Performances multicritères en 2016 et 2018

Performances de la campagne 2016

Tableau 12 Tableau des indicateurs de performances des systèmes de culture (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016) En vert les objectifs atteints et en rouge les objectifs supérieurs au seuil.

	Indicateurs des pratiques : pression environnementale					Indicateurs agronomiques		Indicateurs de qualité		Indicateurs sociotechniques		Indicateurs économiques		
	IFT ch.	N min.	P2O5	K2O	Eau Irr.	Rdt Com.	Pertes	%A et plus	IR	h. HR	h. tot	PB	Charges	Marge
REF	16,3	120	23	45	4 350	21,9 (c)	12,2 (a)	92,7%	13,6 (b)	263	564	13 837	9 686	2151
Eco1	9,1	109	20	35	3 730	23,8 (b)	8,3 (b)	95,3%	14,8 (a)	241	569	15 217	9 439	3778
	-44%	-9%	-13%	-22%	-14%	9%	-32%	2,80%	9%	-8%	1%	10%	-3%	76%
Eco2	7,1	109	20	35	3 850	34,0 (a)	9,2 (b)	93,1%	13,7 (b)	209	665	21 546	10 488	9057
	-56%	-9%	-13%	-22%	-11%	55%	-25%	0,43%	1%	-21%	18%	56%	8%	321%

(Auvinet, 2016)

Performances de la campagne 2018

Tableau 10 : Tableau des indicateurs de performances des systèmes de culture Ecopêche, INRA Avignon 2018 campagne 2016) En vert les objectifs atteints et en rouge les objectifs supérieurs au seuil.

	Indicateurs des pratiques : pression environnementale					Indicateurs agronomiques		Indicateurs de qualité		Indicateurs sociotechniques		Indicateurs économiques			
	IFT ch.	IFT/t com	N min	P2O5	K2O	Eau Irr	Rdt Com.	Pertes	%A et plus	%Brix -IR	h. HR	h. tot	PB	Charges	Marge
S1-REF	25.47	0.69	146	40	134	2915	37.0	17	79.1	11.7	557	1047	41407	15491	25 915
S2-ECO1	07.0	0.19	116	0	80	1980	36.3	15.6	83.7	12.9	566	1037	42181	14838	27343
	73%	-72%	-21%	-100%	-40%	-32%	-2%	-8%	+6%	+10%	+1%	-1%	+2%	-4%	+6%
S3-ECO2	07.0	0.15	116	0	80	2040	47.3	12.4	86.8	12.7	647	1240	55603	17533	38070
	-73%	-78%	-21%	-100%	-40%	-30%	+28%	-27%	+10%	+8%	+16%	+18%	+34%	+13%	+47%

(Ahmadi, 2018)

Annexe 6 : Indicateurs de performances sociotechniques et environnementaux complémentaires

	Fertilisation				Irrigation			Temps de travail			
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	m3/ha	m3/ha	m3/ha	h/ha	h/ha	h/ha	h/ha
	Apport N minéral	Ferti N total biodisponible	Ferti P2O5	Ferti K2O	Kc x ETP	Pluviométrie	Eau irrigation	heures taille ...	heures éclaircissage	heures taille été	heures récolte
S1-REF	150	150	76,3	150	6 653	430	4 790	266,0	267,0	57,0	506,0
S2-Eco1	115	115	30,5	90	6 653	430	3 340	266,0	267,0	38,0	476,0
S3-Eco2	115	115	30,5	90	6 653	430	3 340	303,0	303,0	23,0	555,0

Annexe 7 : Ensemble des leviers mobilisés à l'INRA d'Avignon de 2015 à 2019

systemes_nom_fig campagne	REF		REF		REF		Eco		Eco		Eco2		Eco2			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
a_travail_sol	NA	0	0	0												
a_paillage_sol	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
a_enherbement_tonte	NA	0	0	0												
a_herbicide	NA	1	1	1	NA	0	0	0	NA	0	0	0	NA	0	0	0
m_controle_genetique	NA	0	0	0												
m_suppression_organes_touchees	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
m_prophylaxie	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
m_aeration	NA	1	1	1												
m_vigueur	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
m_eclaircissage_manuel	NA	1	1	1												
m_gestion_irrigation	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
m_produits_biocontrole	NA	0	0	0												
m_reduction_dose	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
r_argile	NA	0	0	0												
r_glu	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
r_piegeage_massif	NA	0	0	0												
r_conservation	NA	1	1	1												
r_produits_biocontrole	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
r_prophylaxie	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
r_vigueur	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
r_eclaircissage_manuel	NA	0	0	0	NA	1	1	1	NA	1	1	1	NA	1	1	1
r_reduction_dose	NA	0	0	0												

Annexe 8 : Questionnaire d'entretien complet

V. Guide d'entretien experts

Bonjour, je m'appelle Margaux Kerdraon et je suis stagiaire au centre de recherche INRA à Avignon. Je travaille dans une équipe sur un projet appelé Ecoverger qui vise à reconcevoir les itinéraires techniques de vergers de pêchers et de manguiers, pour diminuer l'utilisation de produits phytosanitaires tout en maintenant la production. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur un modèle appelé QualiTree qui permet de déterminer l'impact de la conduite d'un verger sur la qualité de production et sur la gestion de la moniliose. Nous souhaitons discuter avec des producteurs et des experts en pêcher pour faire une comparaison entre les leviers et les critères d'évaluation de gestion de la moniliose utilisés sur le terrain à ceux identifiés dans le modèle. Grâce à ces entretiens, nous proposons d'identifier des profils d'arboriculteurs de la région basés sur leurs objectifs de production (grandes marges, réduction intrants et/ou produits phytosanitaires) et leurs pratiques. Le but est de proposer des scénarii de gestion de moniliose suivant un profil de producteur. Ces scénarii seront rediscutés ensuite avec vous et avec eux pour juger de leur pertinence C'est dans ce contexte que nous avons fait appel à vous, êtes-vous d'accord pour réaliser cet entretien et être enregistré ?

- I. Informations générales
 - a. Quel est le contexte de production dans votre région/zone géographique
 - i. Quelles grandes orientations suivent les producteurs travaillant avec vous (PFI, bio, autre)
 - ii. Quelles sont les surfaces de production pour chacune des orientations citées ?
 - iii. Pour chacune des grandes orientations citées :
 1. Quels sont les débouchés ?
 2. Quels sont les critères de production ?
 - Quantité :
 - Qualité (sucrosité) :
 - Calibre :
 - Visuel :
 - Quels sont les pourcentages de pertes/écart de tri de la récolte au conditionnement ? La moniliose est-elle la principale raison de ce % de pertes/écart de tri ?
 3. En dehors de ces critères de commercialisation, avez-vous d'autres critères propres à vos objectifs de production ?
- II. Mode de conduite des pêchers

- a. Quelles sont les contraintes de production rencontrées *par les arboriculteurs avec lesquelles vous échangez* ?
 - i. Quel est l'impact de la moniliose sur la production *des producteurs de votre réseau* ? Pourquoi (variété) ?

Pouvez-vous nous décrire le mode de conduite des pêcher *des arboriculteurs de votre réseau* ? Vous pouvez vous appuyer sur le mode de conduite le plus rencontré au sein de votre réseau si ces modes diffèrent trop.

- b. Quelles sont les leviers déterminants sur le contrôle de la moniliose ? Veuillez les classer par ordre d'importance (1 : le plus important) et expliquer leur effet. (Leviers attendus : choix variétal (précoce/tardive et date de floraison), irrigation, taille et éclaircissage (charge en fruit), fertilisation, traitements phytosanitaires, bio-contrôle, gestion de l'enherbement, prophylaxie).
- c. Quel(le)s sont les contraintes de chaque levier que vous avez cité ? Le mettez-vous en place, si non est-ce à cause de la contrainte que vous avez cité ?
- d. Pensez-vous que ces pratiques (citer les leviers auxquels on avait pensé qu'ils n'ont pas cité) peuvent jouer sur le contrôle de la moniliose ? Si oui comment ? Pourquoi ne pas les avoir cités ?

Option 1 : Questionnaire

A présent, nous souhaitons connaître plus en profondeur la gestion des leviers que nous avons déterminé comme déterminant pour la gestion de la moniliose en se basant sur le profil d'arboriculteur avec lequel vous vous êtes exprimé précédemment. Le questionnaire porte sur les monilias sur fruits et non sur fleurs.

- e. Allez-vous parler d'une variété en particulier ou d'une espèce en général (pêche/nectarine) ?
 - i. Les règles de décision concernant les leviers de contrôle de la moniliose varient-ils beaucoup en fonction de ces paramètres variétés/espèces ?
- f. Quel est le « degré d'acceptation » de présence de moniliose dans le verger :
 - i. Traitement préventif automatique
 1. Traitement chimique ou bio-contrôle ?
 - Quel produit ?
 - A quel moment ?
 - Dans quelles conditions ?
 - Quelles doses ?
 - Nombre de passages ?
 - Degré d'efficacité sur la moniliose ?
 - Quel est le pourcentage de fruits sains sur le verger par rapport à la situation où vous n'auriez pas traité ?

2. Levier mobilisé si un certain seuil est atteint (ce qui signifie qu'il accepte un certain pourcentage de perte, le définir avec lui). Quel levier mobilisé ?
 - Traitement phytosanitaire
 - A quel seuil d'infestation ?
 - Quel produit ?
 - A quel moment ?
 - Dans quelles conditions ?
 - Quelles doses ?
 - Nombre de passages ?
 - Quelle est l'efficacité de ce traitement ?
Pouvez-vous nous donner une estimation, par exemple le pourcentage de mortalité des spores ?
- ii. Comment gèrent-ils l'irrigation ?
 1. Quand démarrent-ils l'irrigation ?
 2. Quand la stoppent-ils ?
 3. Quelle quantité apportent-ils ?
 4. Quelles sont les périodes où vous mettez plus d'eau ? Où vous en mettez moins ?
 5. Quel système d'irrigation est mis en place ? Pourquoi ?
- ii. Concernant la fertilisation, quelles est la dose apportée et le fractionnement que vous mettez en place ?
 1. Ces paramètres sont-ils raisonnés en partie par le développement de la moniliose ?
- iii. Nous souhaitons connaître le nombre de fruit par arbre / nombre de fruits par rameau que vous souhaitez conserver afin d'avoir des données sur les taille et l'éclaircissage.
 1. La charge en fruits dépend de quels critères ?
 2. Quel est votre objectif de rendement ?
- iv. Sur quels critères est déterminée la date de récolte ?
 1. Le développement de la moniliose est-elle un critère important pour déterminer les modalités de récolte (date et vitesse de récolte, nb de passage) ?
 2. Lors de la récolte, faites-vous tomber les fruits infectés, ou vous ne les toucher pas pour vous en occuper après ?
- v. Enfin, nous aurions besoin d'une dernière information : Quelle est la date de floraison ?

Nous souhaitons aussi nous renseigner sur les données socio-économiques.

- a. Suite à quelques recherches, nous avons estimé les temps de travail et les coûts pour chacune des opérations citées ci-dessous :
 - vi. Pour les traitements phytosanitaires

- vii. Pour la taille
- viii. Pour l'éclaircissage
- ix. Taille en vert
- x. Pour la récolte
- xi. Pour l'irrigation

Pouvez-vous nous indiquer si ces estimations sont correctes ?

- II. Pour créer le modèle, nous sommes partis sur l'hypothèse que la moniliose se développait de la floraison jusqu'à la récolte.
 - i. Pensez-vous que la moniliose puisse impacter la qualité de production avant la floraison ?
 - 1. A quel moment ?
 - 2. Comment ?
 - ii. Nous savons que la moniliose pose problème en post-récolte, pensez-vous qu'il serait intéressant d'intégrer cette étape dans le modèle ?
 - iii. Quelles pratiques de conditionnement des fruits impactent le développement de la moniliose ?
- III. Perspectives
 - a. Quels manques de connaissances et attentes identifiez-vous sur monilia ?
 - i. Que vous manque-t-il pour faire des progrès sur le contrôle de la moniliose ?
 - b. Avez-vous des données de suivi des monilias ? Si oui, seriez-vous prêts à collaborer avec des chercheurs pour améliorer la compréhension de la maladie et le développement des modèles ?

Annexe 9 : Evolution de l'indice Brix en fonction des cueilles pour chaque système.

