

## Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du **Diplôme d'Ingénieur AgroParisTech**  
Option : **Production Végétale Durable**

**Analyses des performances d'un réseau national d'expérimentations  
systèmes économes en produits phytosanitaires et en intrants en  
vergers de pêche - nectarine**



par Clarisse AUVINET

Année de soutenance : 2016

# Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome  
Option : Production Végétale Durable

**Analyses des performances d'un réseau national d'expérimentations  
systèmes économes en produits phytosanitaires et en intrants en  
vergers de pêche - nectarine**



Par Clarisse AUVINET

Année de soutenance : 2016

Mémoire préparé sous la direction de :  
**Raphaël METRAL**  
Présenté le : 16/09/2016  
devant le jury :  
Pierre-Éric LAURI  
Jacques WERY

Organisme d'accueil : INRA Avignon, Unité  
PSH Plantes et Systèmes de culture Horticoles

Maître de stage : Daniel PLENET

## Résumé

Le contexte économique de la production de pêche en Europe est très concurrentiel et a favorisé les systèmes de production intensifs, privilégiant les critères de qualité ayant un fort impact sur la valeur marchande : calibre, aspect visuel et conservation, parfois au détriment de la qualité gustative des fruits. Dans le cadre du plan Ecophyto, le projet Ecopêche vise ainsi à créer des systèmes conciliant une réduction importante de l'usage des produits phytopharmaceutiques et des intrants avec l'obtention de fruits de haute qualité ainsi que des performances technico-économiques assurant la durabilité du système. Le projet Ecopêche compte maintenant trois années d'expérimentations et de résultats sur la gestion des vergers dans leur phase juvénile ou en début de production de fruits. Une première analyse a été effectuée sur les résultats de l'expérimentation système conduite à l'INRA Avignon. Les performances des systèmes innovants sont supérieures au système de référence, grâce à la combinaison de leviers alternatifs, malgré une diminution des intrants depuis l'implantation du verger. Dans un second temps, une première synthèse des résultats des trois premières années (2013 -2015) basée sur une analyse multicritère des performances a été réalisée sur tous les sites. La démarche d'analyse des essais systèmes étant peu utilisée en production fruitière, une méthode d'analyse permettant la valorisation des résultats d'Ecopêche a été définie. Ce premier bilan a montré qu'il est possible d'obtenir des jeunes vergers économes en intrants et en produits phytosanitaires plus performants que le système de référence (marge partielle moins négative voir positive en comparaison au système de référence). Il semble que les systèmes présentant la meilleure performance (diminution de l'IFT de 50 % et marge partielle positive) utilisent les mêmes quantités d'eau et d'azote que les systèmes de référence. Les pratiques (irrigation au goutte à goutte et fertigation) sont le principal facteur jouant sur la réduction des intrants. Dans la suite du projet, il pourra être intéressant de voir si des systèmes économes en produits phytosanitaires et en intrants sont également performants économiquement. Il serait également intéressant de comprendre les performances au regard des leviers d'actions mis en place dans chaque système, comme cela a été fait dans l'analyse du site d'Avignon. Les conclusions tirées de ces premières analyses sont à confirmer ou non dans la suite du projet Ecopêche, sachant que l'ajout des données concernant les charges de mécanisation et les amortissements pourraient modifier profondément les performances économiques de chaque système et ainsi les conclusions.

**Mots clés** [Système de culture, Ecophyto, Expérimentation système, Analyse multicritère, Réseau, Indicateurs de performances]

## Abstract

Performance analysis of low-input cropping system in peach and nectarine orchards at a national network testing scale.

The highly competitive peach and nectarine market has led to the development of intensive production systems, giving preference to size, visual appearance and conservation, to the detriment of taste quality. As part of the Ecophyto plan, the Ecopêche project aspires to design and develop low-input cropping systems that can combine economic performances, fruit quality and environmental efficiency. The Ecopêche project has been conducted for three years. Results on young non-productive orchards and young orchards at their beginning of production management have been analysed. An initial analysis has been carried in 2016 in the experimental low-input orchards managed at the INRA of Avignon (South of France). Results show that the overall performance of innovative orchards systems was improved compared to reference systems, through a combination of alternative practices against pests. A second analysis was based on a multi-criteria analysis using Ecopêche project results of the three years of experiment of the national network. The analytic approach of cropping system has been underused, especially in fruits production. Therefore, we propose a blueprint for analysing the Ecopêche data. Juvenile orchards can be equally effective than reference systems. Analysis shows that all innovative systems use less pesticide than reference systems along with different levels of chemical inputs reduction. Agricultural practices as subsurface drip or fertigation reduce quantity of inputs compared to conventional practices as micro-jet or agricultural spreading. Systems using less pesticide and presenting a positive economic balance use the same quantity of inputs as reference systems. The next step of the project will reinforce Ecopêche data and confirm or invalidate conclusions of these initial analyses.

**Key words** [Cropping system ; Ecophyto, Cropping system experimental trials ; Multi-criteria analysis ; Network ; Performance indicator]

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Hélène Gautier de m'avoir permis d'effectuer le stage au sein de l'unité PSH.

Je remercie également le GIS Fruits d'avoir financé le stage.

Un grand merci à Daniel Plénet pour m'avoir accordé sa confiance, m'avoir fait partager la richesse de ses connaissances et son enthousiasme tout au long du stage. Je le remercie également de m'avoir guidé dans la rédaction du mémoire, et de l'avoir relu avec minutie et patience.

Je tiens aussi à remercier Pierre Rouet pour son appui technique et son aide dans la réalisation des mesures sur le terrain ou au laboratoire. Je tiens à le remercier également pour m'avoir fait partager ses connaissances avec pédagogie sur la conduite et la gestion d'un verger de pêcher-nectarine, alors que je découvrais cette culture.

Merci à Raphaël Métral d'avoir répondu à mes questions tout au long du stage et d'avoir relu le rapport en apportant des commentaires constructifs sur la forme et le fond.

Mes remerciements s'adressent également à tout le personnel de l'unité PSH pour leur accueil et leur gentillesse.

Un grand merci aux stagiaires Jordan, Lorraine et Lucile et aux thésards Camille, Manon, Blanche, Coffi et Maxime pour tous les bons moments passés ensemble à PSH ou en dehors. Et surtout, merci particulièrement à Constance pour avoir partagé son bureau et pour toutes ces petites pauses/discussions/café nous avons eus. Un grand merci également à Ruoyin Long pour son sourire, et sa motivation tout au long du stage.

Enfin un grand merci à Lucile pour m'avoir supportée pendant ces six mois de vie commune. Merci à Lucie, Lucie, Jeanne, Sandrine et Marina pour leurs appels réguliers et leurs petits grains de folie. Et un grand merci à ma famille pour leurs messages et notamment à mes parents pour leur patience et l'aide apportée dans la relecture du mémoire.

## Sommaire

Résumé .....	3
Abstract .....	4
Remerciements.....	5
Sommaire.....	6
Table des figures.....	8
Table des tableaux.....	10
Liste des abréviations .....	11
Lexique.....	11
Introduction.....	12
I. Etat des connaissances scientifiques et techniques.....	14
I. 1. Croissance et fonctionnement du pêcher .....	14
I. 1. 1. Classification botanique et caractéristiques de l'arbre .....	14
I.1.2. Structure, développement et maturité du fruit .....	14
I.2. Gestion d'un verger de pêchers en condition potentielle.....	15
I.2.1. Constitution d'un verger et système de conduite .....	15
I.2.1.1 Choix du matériel végétal.....	15
I.2.1.2. Formes fruitières et densité de plantation.....	15
I.2.2 Les techniques de production .....	15
I.2.3. Gestion des bioagresseurs.....	16
I.2.4. Les techniques de cultures .....	16
I.2.4.1. Maitrise de l'irrigation au verger.....	16
I.2.4.2. Gestion de la fertilisation au verger .....	18
I.3. Vers des systèmes de culture à faible niveau d'intrants .....	18
I.3.1. Conception d'un système de culture : de l'efficience à la reconception .....	18
I.3.2. La démarche de conception d'un système de culture.....	19
I.3.3. Exemple de la création de vergers économes en intrants :cas d'Ecopêche.....	20
I.3.3.1. Projet Ecopêche .....	20
I.3.3.2. Les leviers d'actions mobilisés pour diminuer les intrants et les produits phytosanitaires au verger.....	20
I.4 Problématique et hypothèses de travail .....	21
II. Matériel et méthodes .....	24
II.1. Description des sites expérimentaux.....	24
II.1.1 Description générale des sites expérimentaux.....	24
II.1.2. Description du site d'Avignon (variété Nectarlove) .....	24
II.2. Mesures expérimentales .....	25
II.2.1. Description et choix des indicateurs de performances .....	25
II.2.2. Mesures des indicateurs de développement agro-physiologique sur le site d'Avignon.....	26
II.3. Méthodes d'analyse des indicateurs .....	27
II.3.1. Logiciel statistique et notations.....	27
II.3.2. Analyse statistique des indicateurs agro-physiologiques.....	27
II.3.3. Analyse multicritère des performances.....	28
II.3.3.1. Identification des Systèmes de cultures Economes et Performants.....	28
II.3.3.2. Analyses factorielles .....	28
III. Résultats .....	30
III.1. Analyse monosite : essai système Avignon .....	30
III.1.1. Effet des Systèmes sur le fonctionnement des vergers.....	30

III.1.1.1. Bilan des pratiques .....	30
III.1.1.2. Croissance végétative .....	30
III.1.1.3. Nouaison et croissance des fruits .....	31
III.1.1.4. Etat sanitaire des vergers .....	33
III.1.2. Analyse multicritère des performances.....	33
III.1.3. Analyse pluriannuelle .....	34
III.1.3.1. Etat sanitaire.....	34
III.1.3.2. Performances du verger .....	34
III.1.4. Discussion .....	35
III.1.4.1. Synthèse des principales tendances.....	35
III.1.4.2. Effet de la densité de plantation entre les vergers .....	36
III.1.4.3. Analyse des différences entre REF et Eco1.....	36
III.1.4.4. Ouverture : outils d'aide à la décision et thérapie .....	37
III.2. Analyse multisite et pluriannuelle des résultats d'Ecopêche .....	37
III.2.1. Les systèmes atteignent-ils leurs objectifs ? .....	37
III.2.1. Focus sur les jeunes vergers entrant en production (3 <sup>ème</sup> feuille).....	37
III.2.1.2. Bilan global des 4 années sur les systèmes en production .....	38
III.2.1.3. Etude des systèmes en production depuis plusieurs années.....	39
III.2.2. Relations entre la performance des vergers et les autres indicateurs.....	40
III.2.2.1. Identification des ScEP et trajectoires des systèmes.....	40
III.2.2.2. Répartition des ScEP selon quelques indicateurs simples.....	41
III.2.2.3. Répartition des ScEP à partir d'analyses factorielles.....	42
III.2.2. Discussion .....	45
III.2.2.1. Synthèse générale de l'analyse multisite .....	45
III.2.2.2. Retour sur l'analyse des jeunes vergers et perspectives.....	46
III.2.2.2. Proposition d'introduction de nouveaux indicateurs.....	46
IV. Critique de la méthode.....	48
IV.1. Les incertitudes et approximations liées aux indicateurs choisis .....	48
IV.1.1 IFT de référence : indicateur central des essais systèmes économes en produits phytosanitaires .....	48
IV.1.2 Choix de la standardisation des prix.....	49
IV.1.3 Biais liés aux indicateurs de pressions des intrants .....	49
IV.1.4 Biais du à l'utilisation de marge partielle .....	49
IV.2. Méthodologie d'analyse utilisée et perspectives pour la suite du projet.....	50
IV.2.1. Choix du format et de la représentation des données .....	50
IV.2.2. Méthode de classification en ScEP.....	50
IV.2.3. Utilisation des analyses factorielles .....	50
Conclusion .....	51
Bibliographie.....	52
Articles.....	52
Livre/Revue/Guide/Thèse .....	54
Sites internet .....	55
ANNEXES.....	1

## Table des figures

FIGURE 1 UNE DEMARCHE DE CONCEPTION ET D'EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE POUR DES VERGERS PLUS DURABLES.....	19
FIGURE 2 GESTION D'UN VERGER ECONOMIE EN INTRANTS A L'INRA D'AVIGNON .....	22
FIGURE 3 SCHEMA DECISIONNEL D'UN SYSTEME DE CULTURE ECONOMIE EN PRODUITS PHYTOSANITAIRES ; ECOPECHE, 2015 .....	23
FIGURE 4 BILAN DES PRATIQUES DE PROTECTION, DE FERTILISATION ET D'IRRIGATION ENTRE MARS 2016 ET JUILLET 2016 (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016).....	30
FIGURE 5 CROISSANCES DES TRONCS MESUREES ENTRE MARS ET FIN JUILLET 2016 (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016).....	30
FIGURE 6 CROISSANCE DES POUSSERES (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016) .....	31
FIGURE 7 APPARITION DES FEUILLES (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016) .....	31
FIGURE 8 SUIVI DE LA CROISSANCE DIAMETRALE DES FRUITS (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016).....	32
FIGURE 9 CROISSANCE JOURNALIERE DES CHARPENTIERES MESUREE PAR DENDROMETRIE (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016) .....	33
FIGURE 10 RATIO D'EFFICIENCE CALCULES A PARTIR DES PRINCIPAUX INDICATEURS DE PERFORMANCES (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	35
FIGURE 11 PERFORMANCES CUMULEES DES VERGERS EN % DU SYSTEME DE REFERENCE (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	35
FIGURE 12 COMPARAISON DES SITES ECO ET BIO SUR 3 ANNEES : INDICATEURS EN CUMULE (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION DE L'INRA DE GOTHERON DE ET LA SERFEL, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	39
FIGURE 13 IDENTIFICATION DES SCEP A PARTIR DES DONNEES BRUTES DE MARGE PARTIELLE ET DE DONNEES BRUTES D'IFT MISE EN INDICE PAR RAPPORT AU SYSTEME DE REFERENCE (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016). CODE DES COULEURS : VERT SCEP 1, BLEU SCEP 2 ET ORANGE SCENP .....	41
FIGURE 14 RELATIONS ENTRE L'INDICE D'IFT ET L'INDICE DE RENDEMENT COMMERCIALISABLE (FIGURE GAUCHE) ET LES COUTS DE PRODUCTION (HORS CHARGES DE MECANISATION) (FIGURE DROITE) DANS LES ESSAIS ECOPECHE (SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016). CODE DES COULEURS : VERT SCEP 1, BLEU SCEP 2 ET ORANGE SCENP .....	41
FIGURE 15 RELATION ENTRE L'INDICE D'IFT ET L'INDICE DE LA QUANTITE D'EAU APPORTEE (100 EST LA VALEUR DES SYSTEMES DE REFERENCE) (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) CODE DES COULEURS : VERT SCEP 1, BLEU SCEP 2 ET ORANGE SCENP .....	42
FIGURE 16 GRAPHIQUE DES CORRELATIONS LINEAIRES ENTRE DEUX VARIABLES (AUGMENTATION DE LA TAILLE DU CERCLE AVEC LA CORRELATION / LA COULEUR INDIQUE LE SENS DE LA CORRELATION) (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	44
FIGURE 17 ACP DES INDICATEURS DE PERFORMANCES ET DE PRATIQUES (LES VARIABLES ILLUSTRATIVES SONT NOTEES EN PLUS SUR L'AXE 1) (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	44
FIGURE 18 COMPARAISON IFT MOYEN PAR SITES AVEC L'IFT REGIONAL (70EME PERCENTILE) (D'APRES AGRESTE, 2012) .....	48
FIGURE 19 CONDUITE DE L'IRRIGATION A L'AIDE DE TENSIOMETRE, D'APRES LA SOCIETE DU CANAL DE PROVENCE, HILAIRE ET GIAUQUE, 2003 .	2
FIGURE 20 CONDUITE DE L'IRRIGATION A L'AIDE DE DENDROMETRE ; GENDRIER ET AL., 1999 .....	3
FIGURE 21 DESCRIPTION DES DONNEES EN RATIO D'EFFICIENCE SUR LES TROIS ANNEES POUR DEUX SITES EN PRODUCTION (ESSAI ECOPECHE, , INRA GOTHERON ET SERFEL B.I., CAMPAGNE 2013 A 2015) .....	14
FIGURE 22 ACM DES PRATIQUES, REPARTITION DES VARIABLES SUR LES DEUX PREMIERS AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	15
FIGURE 23 ACM DES PRATIQUES, REPARTITION DES MODALITES SUR LES DEUX PREMIERS AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	15
FIGURE 24 ACM DES PRATIQUES : ELLIPSES DE CORRELATION DISTINGUANT LES INDIVIDUS ECO ET BIO (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	16
FIGURE 25 ACM DES PRATIQUES : ELLIPSES DE CORRELATION DISTINGUANT LES INDIVIDUS SCEP (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	16
FIGURE 26 CAH DES PRATIQUES : REPARTITION DES VARIABLES SUR LES DEUX PREMIERS AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	17
FIGURE 27 ACM DES PERFORMANCES : DISTINCTIONS DES GROUPES SUR LES AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	17
FIGURE 28 ACM DES PERFORMANCES : ELLIPSES DE CORRELATION DISTINGUANT LES INDIVIDUS ECO ET BIO (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	18
FIGURE 29 CAH DES PERFORMANCES : REPARTITION DES VARIABLES SUR LES DEUX PREMIERS AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	18

FIGURE 30 ACP DES PRATIQUES * PERFORMANCES : DISTINCTION DES INDIVIDUS ECO ET BIO (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	19
FIGURE 31 ACP DES PRATIQUES * PERFORMANCES : DISTINCTION DES INDIVIDUS SCEP I, SCEP II ET SCENP (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	20
FIGURE 32 ACM DES PRATIQUES * PERFORMANCES : DISTINCTIONS DES GROUPES SUR LES AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	20
FIGURE 33 ACM DES PRATIQUES * PERFORMANCES : REPARTITION DES MODALITES SUR LES DEUX PREMIERS AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	21
FIGURE 34 ACM DES PRATIQUES * PERFORMANCES : ELLIPSES DE CORRELATION DISTINGUANT LES INDIVIDUS ECO ET BIO (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	21
FIGURE 35 ACM DES PRATIQUES * PERFORMANCES : REPARTITION DES VARIABLES SUR LES DEUX PREMIERS AXES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	22

## Table des tableaux

TABLEAU 1 TAILLES DU PECHER (D'APRES HILAIRE ET GIAUQUE, 2003) .....	16
TABLEAU 2 GESTION DES BIOAGRESSEURS DANS UN VERGER DE PRODUCTEUR (D'APRES BORIOLI ET AL., 2011 ; AUER ET ROHRER, 2012 ; SUDARBO, 2014) .....	17
TABLEAU 3 REGLES POUR ETABLIR LES BESOINS EN ELEMENTS MINERAUX SELON L'AGE DU VERGER (SOING, 2004) .....	18
TABLEAU 4 LEVIERS ALTERNATIFS A LA LUTTE CHIMIQUE « CLASSIQUE » CONTRE LES RAVAGEURS (D'APRES LAGET ET AL., 2016) .....	21
TABLEAU 5 LEVIERS ALTERNATIFS A LA LUTTE CHIMIQUE « CLASSIQUE » CONTRE LES MALADIES (D'APRES LAGET ET AL., 2016) .....	21
TABLEAU 6 DESCRIPTION DES SYSTEMES DE CULTURE DU SITE D'AVIGNON : ESSAI AVEC LA VARIETE NECTASWEET © NECTARLOVE (COV) ....	24
TABLEAU 7 CHOIX DES INDICATEURS UTILISES DANS L'ANALYSE MULTICRITERE EN FONCTION DES OBJECTIFS ET DES SEUILS PREDEFINIS.....	25
TABLEAU 8 PROTOCOLE DES MESURES EXPERIMENTALES, SITE INRA D'AVIGNON 2016.....	26
TABLEAU 9 METHODOLOGIE D'ANALYSE DES INDICATEURS AGRO-PHYSIOLOGIQUES .....	27
TABLEAU 10 CHARGE, NOMBRE DE FRUITS ET POIDS MOYEN D'UN FRUIT (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016) .....	32
TABLEAU 11 MAXIMUM DE DEGATS PAR BIOAGRESSEUR EN INDICE (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016) .....	33
TABLEAU 12 TABLEAU DES INDICATEURS DE PERFORMANCES DES SYSTEMES DE CULTURE (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2016) EN VERT LES OBJECTIFS ATTEINTS ET EN ROUGE LES OBJECTIFS SUPERIEURS AU SEUIL. ....	34
TABLEAU 13 MAXIMUM DE DEGATS PAR BIOAGRESSEURS EN INDICE (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	34
TABLEAU 14 SECTIONS DE TRONCS DES SYSTEMES DE 3 ANS, MESURES PRISES APRES LA PERIODE DE CROISSANCE (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	38
TABLEAU 15 RESULTATS DE L'ACM SUR LES INDICATEURS DE PRATIQUES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	43
TABLEAU 16 SYNTHESE DU CLASSEMENT DES SYSTEMES ECONOMES ET PERFORMANTS (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	45
TABLEAU 17 DESCRIPTION DES SYSTEMES ASSOCIES A CHAQUE SITE EXPERIMENTAL.....	4
TABLEAU 18 DESCRIPTION DES LEVIERS D'ACTIONS UTILISES SUR LES SYSTEMES D'ECOPECHE AINSI QUE LE NIVEAU D'EFFICACITE ASSOCIE A CHAQUE LEVIER (NOTE 0 : ABSENCE D'EFFICACITE A 3 : BONNE EFFICACITE ET REDUCTION DES IFT).....	6
TABLEAU 19 DESCRIPTION DES INDICATEURS DU PROJET ECOPECHE .....	8
TABLEAU 20 CLASSEMENTS PERFORMANCES DANS LE TABLEAU DE BORD .....	11
TABLEAU 21 INDICATEURS CUMULES DEPUIS LA PLANTATION (ESSAI ECOPECHE, INRA AVIGNON, CAMPAGNE 2013 A 2016) .....	11
TABLEAU 22 TABLEAU DE BORD DES PERFORMANCES (ESSAI ECOPECHE, TOUS LES SYSTEMES, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	12
TABLEAU 23 DESCRIPTION DES DONNEES EN CUMULE SUR LES TROIS ANNEES POUR DEUX SITES EN PRODUCTION (ESSAI ECOPECHE, , INRA GOTHERON ET SERFEL B.I., CAMPAGNE 2013 A 2015).....	13
TABLEAU 24 DESCRIPTION DES DONNEES EN MOYENNE SUR LES TROIS ANNEES POUR DEUX SITES EN PRODUCTION (ESSAI ECOPECHE, , INRA GOTHERON ET SERFEL B.I., CAMPAGNE 2013 A 2015).....	13
TABLEAU 25 RESULTATS DES ACM SUR LES INDICATEURS DE PERFORMANCES (TOUTES LES ANNEES*SITES EN PRODUCTION).....	19
TABLEAU 26 RESULTATS DE L'ACM SUR LES INDICATEURS DE PRATIQUES ET DE PERFORMANCES (ESSAI ECOPECHE, SYSTEMES EN PRODUCTION, CAMPAGNE 2013 A 2016).....	22
TABLEAU 27 METHODE DESCRIPTIVE D'ANALYSE DE DONNEES SUR UNE OU PLUSIEURS ANNEES, SUR UN OU PLUSIEURS SITES .....	23

## Liste des abréviations

**AB** : Agriculture Biologique  
**IFT** : Indice de Fréquence de Traitement  
**PB** : Produit Brut  
**PFI** : Production Fruitière Intégrée  
**RDD** : Règles De Décision  
**SdC** : Système de Culture  
**ScEP** : Système de culture Econome et Performant  
**ScEnP** : Système de culture Econome et non Performant

## Lexique

**IFT** : L'IFT comptabilise le nombre de traitements effectués pour une campagne culturale, en prenant pour chaque traitement la valeur correspondant à la dose appliquée, divisée par la dose homologuée la plus faible pour l'espèce fruitière considérée (doses/ha), soit une valeur de 1 pour 1 traitement appliqué en plein à la dose homologuée (définition utilisée jusqu'à début 2016 ; DGAL, 2015).

**Indicateur** : une grandeur qui fournit une information au sujet d'une variable plus difficile d'accès ou d'un système plus complexe, afin d'aider un utilisateur dans son action (prise de décision, modélisation,...) (Riley, 2001).

**Méthode alternative ou moyen de lutte alternatif(ve)** : Moyen d'action contre les bioagresseurs autre que la lutte chimique, comprenant le contrôle génétique, les méthodes culturales, la lutte biologique, la lutte biotechnique, la lutte physique et les produits appartenant à la catégorie «produits divers» (Laget et al., 2015). Méthode non chimique au sens de l'article 3 du Règlement 1107/2009 et utilisation des produits de biocontrôle.

**Méthode non chimique (art. 3 du Règlement 1107/2009)** : méthode de substitution aux pesticides chimiques pour la protection phytosanitaire et la lutte contre les ennemis des cultures, fondées sur des techniques agronomiques telles que celles visées au point 1 de l'annexe III de la directive 2009/128/CE, ou les méthodes physiques, mécaniques ou biologiques de lutte contre les ennemis des cultures (DGAL, 2015).

**Production intégrée** : Production économique de haute qualité, donnant la priorité à des méthodes écologiquement plus sûres, minimisant l'utilisation et les effets secondaires indésirables des produits agrochimiques, afin d'améliorer la protection de l'environnement et la santé humaine (Boller et al., 2004).

**Système de culture** : Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par la nature des cultures et leur ordre de succession et par les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés (Sébillotte, 1990). Dans le cadre de la production fruitière, le SdC est défini comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles gérées de manière identique. Chaque SdC se définit par la nature des cultures (espèces et caractéristiques variétales), son mode de conduite (forme fruitière, distance de plantation, gestion de l'arbre) et les itinéraires techniques à ces cultures appliqués en fonction de leurs objectifs (agronomiques, commerciaux). Le SdC peut donc être vu comme un ensemble de parcelles partageant des objectifs similaires et répondant aux mêmes règles de décision (Laget et al., 2015).

## Introduction

Grands fruits de l'été, les pêches et les nectarines sont très appréciées des consommateurs et sont considérées comme les « fruits du soleil » par excellence, évoquant les souvenirs estivaux grâce à leurs caractères sucrés, parfumés et juteux (Defossez, 2014). En deuxième position derrière la pomme (Interfel, 2016), les pêches et les nectarines représentent actuellement 7,7 % du volume total d'achat des fruits des ménages (4 % pour les nectarines et 3,7 % pour les pêches) (RNM, 2015). Un reproche important vient cependant nuancer ce constat : la pêche suscite une très forte attente dans l'esprit des consommateurs et la qualité est alors souvent jugée inégale par 83 % d'entre eux (Giauque et *al.*, 1997). Cette déception des consommateurs est à l'origine de l'érosion de la consommation de pêches en France depuis les années 90 (2% par an en moyenne) (Sauphanor et *al.*, 2009b; FranceAgriMer, 2015), que ce soit en quantité (-1,3 % entre 1990 et 2015) et en fréquence d'achat (-1,8 %) (RNM, 2015). Hors la filière repose avant tout sur le marché intérieur (FranceAgriMer, 2015).

En parallèle de cette diminution de la consommation, les contraintes réglementaires françaises ou européennes, les arrachages successifs dus à des problèmes sanitaires (sharka) et la forte concurrence des pays limitrophes ont accentué le déclin de la production française conduisant à une baisse drastique des surfaces et des quantités produites ces dernières années. Ainsi les surfaces en vergers ont régressé de moitié depuis 2000 (- 53 % des surfaces entre 2000 et 2014) pour atteindre 9 500 ha en 2016, soit une production estimée à 207 000 tonnes (RNM, 2015). Malgré cette forte réduction, la France conserve sa place de 4<sup>ème</sup> pays producteur européen en 2016. La production française est majoritairement localisée dans le Sud-Est : 49 % du volume nationale de nectarines provient du Languedoc-Roussillon et respectivement 29 % et 19 % des volumes nationaux de pêches proviennent de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et Rhône-Alpes (RNM, 2015).

Afin de rester compétitif, les producteurs se sont alors orientés vers des systèmes de culture intensifs permettant de compenser les coûts de production élevés liés aux investissements et aux temps de travaux (Plénet et *al.*, 2010). Ces systèmes de culture performants d'un point de vue agronomique mais favorables aux bioagresseurs, sont basés sur une utilisation importante d'intrants de synthèse. Les exigences du marché des fruits frais (fruits sans défauts visuels et sanitaire, gros calibre...) ayant un fort impact sur l'accès au marché et sur le prix de vente, poussent les producteurs à minimiser leurs risques par des pratiques de protection pouvant être assez intensives (Lauri, 2014) générant une forte consommation de produits phytosanitaires en mode de production conventionnel (IFT compris entre 15 et 35 ; Sauphanor et *al.*, 2009b). Une enquête récente (Agreste, 2012) indique une utilisation moyenne de 19,2 traitements phytosanitaires en vergers de pêche-nectarine dont 56 % de fongicides et 35 % d'insecticides.

Le contexte économique de ces dernières décennies a privilégié les critères de qualité ayant un fort impact sur la valeur marchande (calibre, aspect visuel et conservation des fruits), plutôt que la qualité gustative (Plénet et *al.*, 2010), ce qui tend à augmenter l'inadéquation avec la demande actuelle des consommateurs et des circuits de distribution pour des fruits sains et de qualité (Serrurier, 2015). Afin de répondre à cette demande croissante, la filière s'est engagée dans une stratégie de valorisation de la qualité et de production de fruits sains provenant de systèmes préservant l'environnement (Reau et Doré, 2008 ; Plénet et *al.*, 2010). De très nombreux producteurs s'inscrivent maintenant dans une démarche de production fruitière intégrée (PFI), se voulant économiquement viable et utilisant préférentiellement la prophylaxie et les méthodes alternatives à la lutte chimique dans le but de limiter les risques pour la santé humaine et pour l'environnement (Boller et *al.*, 2004 ; OILB-SROP, 1993).

Le plan Ecophyto renforce cet objectif de réduction d'usage des produits phytosanitaires en France grâce à un ensemble de mesures réglementaires. Pour cela, il devient nécessaire de développer des systèmes de culture offrant des solutions aux producteurs et permettant de répondre aux enjeux de la production fruitière intégrée et du développement durable dans le but de concilier performance économique, qualité et efficacité écologique, dans un contexte de marchés de commercialisation soumis à de fortes concurrences (Sauphanor et *al.*, 2009b; Plénet et *al.*, 2010). Cela passe par la conception, le test et l'adoption de systèmes de culture innovants permettant de répondre à ces enjeux (Reau et Doré, 2008). Le dispositif DEPHY du plan Ecophyto a été mis en œuvre pour documenter et accompagner cette transition avec comme objectif d'éprouver, de valoriser et de déployer les techniques et systèmes agricoles économes en produits phytopharmaceutiques.

Dans cette démarche de conception-évaluation de systèmes de culture, le projet Ecopêche vise à « concevoir, évaluer et transférer les bases de systèmes de culture innovants de vergers de pêche-nectarine conciliant une réduction importante des produits phytosanitaires et des intrants, l'obtention de fruits de haute qualité et des performances technico-économiques assurant la durabilité des exploitations agricoles ». Sept sites d'essais ont été implantés de 2010 à 2013. Le projet Ecopêche compte maintenant trois années d'expérimentations et de résultats sur la gestion des vergers dans leur phase juvénile ou en début de production de fruits. Il devient alors intéressant de réaliser une première analyse et synthèse des résultats de ces premières années sur les différents sites. La démarche d'essai système étant encore peu utilisée en production fruitière et les résultats étant encore peu valorisés, il convient de définir une méthode d'analyse permettant la valorisation des résultats d'Ecopêche sur les trois dernières années et servant de base d'analyse pour les prochaines années. Pour aborder cette problématique, nous réaliserons dans un premier temps un état des connaissances des méthodes de cultures et de gestion d'un verger de pêche-nectarine en situation potentielle et des techniques alternatives à la lutte chimique existantes et utilisées dans les systèmes économes. Après avoir exposé les bases des méthodes de conception de systèmes de culture, nous étudierons la démarche et les protocoles suivis pour analyser un essai système. Enfin nous présenterons et analyserons les résultats de l'essai systèmes conduit à l'INRA d'Avignon, puis nous réaliserons une première synthèse pluriannuelle des résultats obtenus sur les sept sites du projet EcoPêche.

## I. Etat des connaissances scientifiques et techniques

### I. 1. Croissance et fonctionnement du pêcher

#### I. 1. 1. Classification botanique et caractéristiques de l'arbre

Le pêcher, *Prunus persica* (L.) Batsch, appartient au genre *Prunus*. Il existe des centaines de variétés classées en plusieurs groupes selon les caractéristiques du fruit : peau veloutée (type pêche) ou lisse (type nectarine), noyau adhérent à la chair ou se détachant librement, couleur de la chair : blanche, jaune ou sanguine (Hilaire et Giauque, 2003) et forme plate ou arrondie du fruit.

Le pêcher est un arbre fruitier à écorce lisse, à port étalé ou érigé selon les variétés, pouvant atteindre 2 à 7 m de haut. A l'état spontané, le pêcher est un arbre buissonnant. Les rameaux de l'année portent deux types de bourgeons, d'où le nom de rameaux mixtes : les bourgeons à bois, qui donneront des rameaux l'année suivante et les bourgeons à fleurs ou boutons, qui donneront les fleurs puis les fruits. La fleur du pêcher est hermaphrodite à cinq pétales. Cet arbre fruitier rentre en production en 2<sup>ème</sup> feuille et le niveau de production est croissant jusqu'à la 5<sup>ème</sup> feuille puis décroissant après la 10<sup>ème</sup> feuille, avec une longévité moyenne de 15-20 ans (Guihéneuf, 1998 ; Hilaire et Giauque, 2003).

La croissance des organes végétatifs commence au mois de mars et s'achève vers la fin octobre : chute des feuilles et entrée en dormance des bourgeons végétatifs. Le maximum de croissance des rameaux mixtes est observé entre mai et juillet. L'induction florale débute après l'arrêt de croissance des rameaux et la différenciation des ébauches foliaires s'établit entre août et octobre. Enfin la floraison se déroule de fin février à fin mars et dure entre 8 et 15 jours pour une variété donnée. L'intervalle floraison-maturité des fruits varie entre 80 et 180 jours selon les variétés. La durée de récolte par variété est de 15 à 20 jours avec 3 à 6 cueilles (Hilaire et Giauque, 2003).

#### I.1.2. Structure, développement et maturité du fruit

Le fruit du pêcher est charnu et correspond à une drupe de forme arrondie, dont le péricarpe interne (endocarpe) est lignifié (noyau) (Guihéneuf, 1998 ; Hilaire et Giauque, 2003). La courbe de croissance du diamètre des fruits, en double sigmoïde, peut être divisée en trois périodes (Génard et Hugué, 1996) :

- Phase I : période de développement rapide par multiplication cellulaire correspondant à la phase de nouaison et de développement du noyau ;
- Phase II : période de ralentissement de la croissance durant laquelle le noyau se lignifie. Plus les variétés mûrissent tard et plus cette phase est prononcée ;
- Phase III : période de croissance rapide par élongation cellulaire de la pulpe. Pendant l'ultime phase de grossissement, le fruit va accumuler 65% de sa masse sèche et 80% de sa masse fraîche (Bollard, 1970).

Les flux d'eau influencent fortement la composition et donc la qualité des fruits (Souty et *al.*, 1999) en modifiant le niveau de dilution des sucres et des acides dans le fruit (Génard et *al.*, 2003). Le saccharose, le glucose, le fructose et le sorbitol sont les principaux sucres rencontrés chez la pêche et déterminent le caractère sucré du fruit. Leurs teneurs s'accroissent au fur et à mesure que la maturité s'approche ; elles représentent alors au moins 8 à 10 % de la masse du fruit frais (Monet, 1983). La teneur en sucre ainsi que le poids moyen du fruit à la récolte dépendent fortement de la charge en fruits de l'arbre et de la position photosynthétique des feuilles environnantes (Génard, 1992 ; Monestiez et *al.*, 1989).

## I.2. Gestion d'un verger de pêchers en condition potentielle

### I.2.1. Constitution d'un verger et système de conduite

#### I.2.1.1 *Choix du matériel végétal*

Il existe actuellement plus de 300 variétés cultivées en France (AOP Pêche et Nectarine de France, 2015) et chaque année les programmes de créations variétales français ou étrangers aboutissent à la diffusion commerciale de plusieurs dizaines de nouvelles variétés (Hilaire et Giauque, 2003). Sur les exploitations spécialisées en production de pêche, les producteurs cultivent de 30 à 60 variétés différentes pour échelonner les récoltes pour les différentes catégories de pêches-nectarines sur toute la période de commercialisation (Hilaire et Giauque, 2003).

Le choix du matériel végétal (porte-greffe et variété) correspond aux objectifs de production et de commercialisation. Le type de sol et la vigueur influencent le choix du porte-greffe. Tandis que le choix de la variété dépend des caractéristiques du fruit, de la période de maturité (précoce, saison ou tardive) et des performances agronomiques (potentiel de rendement et de calibre et facilité de conduite).

Jusqu'à ces dernières années, la sensibilité aux bioagresseurs était un critère relativement peu pris en considération, excepté dans le cas des problématiques sanitaires non contrôlables par la lutte chimique. De plus, les variétés résistantes ou ayant une forte tolérance aux principaux bioagresseurs sont inexistantes dans le catalogue variétal même si les programmes d'amélioration et de création variétale en France s'intensifient dans ce domaine (Hilaire et Giauque, 2003 ; Végétale, 2016). De fait, le matériel végétal n'apparaît pas à l'heure actuelle comme un levier très important pour réduire l'usage des pesticides.

#### I.2.1.2 *Formes fruitières et densité de plantation*

Le pêcher est une espèce assez plastique. Il est capable de s'adapter à de nombreuses méthodes de conduites (gobelet, double Y, dôme, haie fruitière...) et à des distances de plantations variées (420 à 1500 arbres/ha ; Hilaire et Giauque, 2003). La forme dominante actuelle est le gobelet ou le double Y avec une densité de 555 arbres à l'hectare.

Le choix d'un type de forme fruitière s'inscrit dans une logique et une cohérence globale du système en fonction du rendement, de la qualité des fruits et des coûts de production visés par le producteur. En effet, la forme de l'arbre est l'un des éléments majeurs de la maîtrise des coûts : les formes piétonnes ou semi-piétonnes permettent d'effectuer un maximum de tâches depuis le sol (sans assistance d'escabeau) et ainsi de réduire les temps de travaux et les coûts de main d'œuvre. Le choix de la densité de plantation est également primordial : les faibles densités de plantation sont positives pour la gestion des problèmes de monilia et le vieillissement du verger, par contre elles ont un impact négatif pour la rapidité du retour sur investissement ainsi qu'en cas de mortalité d'arbres (Sharka). Ainsi, les types de conduites actuels cherchent à favoriser au maximum la vigueur pour obtenir rapidement de bonnes performances agronomiques tout en maîtrisant la hauteur des arbres grâce à des techniques adaptées de taille et d'arcure (Blanc et *al.*, 2003).

### I.2.2 Les techniques de production

Du fait du matériel végétal et des formes de conduite utilisés actuellement, la croissance végétative des arbres est importante et nécessite de nombreuses interventions de taille pour maîtriser la vigueur conférée aux arbres. L'obtention de fruits de calibre et de qualité intéressants sur le plan commercial exige ainsi un contrôle précis de la charge en fruits par arbre. Ce contrôle du nombre de fruits se fait par des interventions de taille hivernale et d'éclaircissage manuel du fait de l'absence d'éclaircissant chimique sur le pêcher (Tableau 1). Une charge excédentaire pénalise

directement la qualité gustative (les fruits contiennent moins de sucres, d'arômes et de jus) et la qualité commerciale en favorisant des fruits de petits calibres. De nombreux travaux montrent la corrélation négative entre la charge en fruits par arbre (exprimée par exemple en nombre de fruits par cm<sup>2</sup> de section de tronc) avec le diamètre du fruit (Jimenez et *al.*, 2002 ; Lescourret et Génard, 2003). Une charge trop faible augmente par contre les fruits de gros calibres et certains problèmes physiologiques (noyaux fendus, cracking...) rendant ainsi les fruits plus fragiles et plus sensibles aux maladies de conservation (Gendrier et *al.*, 1999).

Tableau 1 Tailles du pêcher (d'après Hilaire et Giaouque, 2003)

	TECHNIQUES	EFFETS ATTENDUS
<b>Taille d'hiver : taille de fructification</b>	Privilégier les rameaux mixtes. Eliminer les rameaux trop faibles ou trop ombrés.	Qualité du bois porteur Fructification
<b>Taille d'été : taille en vert</b>	Eliminer les gourmands ou les rameaux en excédent. Améliorer la pénétration et la répartition de la lumière au sein de l'arbre.	Qualité du bois porteur Coloration des fruits Limiter maladies ou insectes
<b>Effleurage : éclaircissage</b>	Gestion de la charge : laisser un certain nombre de fruit par arbre en fonction du potentiel de production.	Taux de floraison ou de nouaison

### 1.2.3. Gestion des bioagresseurs

Les producteurs essayent de plus en plus de se tourner vers une approche de Protection fruitière Intégrée (PFI), afin de réduire les risques environnementaux et de garantir la satisfaction des consommateurs. En réalité, les contraintes économiques pesant sur les producteurs limitent leur marge de manœuvre. S'ils veulent s'assurer un revenu suffisant, ils doivent produire un volume suffisant de fruits répondant aux critères du marché (aspect et calibre). D'autant plus que les techniques alternatives actuelles ne sont pas encore suffisamment développées pour leur garantir une production de qualité. Ainsi, les systèmes actuels sont inspirés de la PFI, mais la lutte chimique y est encore fortement mobilisée en 1<sup>er</sup> recours, comme le montre le tableau ci-dessous (tableau 2). Il existe des valeurs seuils au verger pour les ravageurs mais, il n'en existe actuellement pas pour les maladies fongiques ou bien elles sont encore peu utilisées.

### 1.2.4. Les techniques de cultures

#### 1.2.4.1. Maitrise de l'irrigation au verger

Les besoins en eau du pêcher peuvent atteindre jusqu'à 7000 m<sup>3</sup>/ha/an (700 millimètres) dans la principale zone de culture (sud de la France). Actuellement, deux techniques d'irrigation prédominent en vergers : micro-aspersion et irrigation localisée par goutte à goutte.

Le raisonnement des apports d'eau est basé sur le calcul du bilan hydrique (ANNEXE1). Cette méthode fournit des résultats approximatifs (dus à des estimations des paramètres de réserve utile (RU), du coefficient cultural (Kc) et du drainage) concernant l'estimation de l'offre en eau par le sol et les besoins de l'arbre mais apporte les données de bases permettant d'établir un programme d'arrosage adapté au type de sol et au climat concernés. De nombreux producteurs utilisent des méthodes complémentaires au bilan hydrique pour mieux piloter l'irrigation, notamment l'utilisation de tensiomètres ou de sondes Watermark, informant sur la disponibilité réelle de l'eau dans le sol (Hilaire et Giaouque, 2003).

Tableau 2 Gestion des bioagresseurs dans un verger de producteur (d'après Borioli et al., 2011 ; Auer et Rohrer, 2012 ; SudArbo, 2014)

Bioagresseurs	Périodes à risque	Stratégies de gestions	Seuils	Types de produits	Nombre d'interventions	Problématique
<b>Cloque</b>	Période sensible de février à mars : débourement et allongement des bourgeons à bois.	Interventions préventives en fonction des conditions climatiques : renouvellement tous les 20mm de pluie et en fonction de la vitesse d'apparition des feuilles		Cuivre, Zirame, Dodine, Thirame	2 à x interventions	Epidémie difficilement maîtrisable en AB
<b>Oïdium</b>	Période sensible d'avril à juin : fin de la nouaison à la fin du durcissement du noyau.	Interventions préventives et régulières tous les 10j en alternant les familles chimiques	2 % de fruits attequés (100 fruits)	Soufre, Pyrimidine, Strobilurine	2 à x interventions	Lutte uniquement préventive.
<b>Monilia</b>	Période sensible à la floraison et à l'approche de la maturité des fruits.	Sur variété précoce 1 traitement si nécessaire en fonction des conditions climatiques ; variété de saison : 2 à 3 traitements ; variété tardive et/ou sensibles : 3 à 4 traitements. A renouveler en cas de lessivage.		Famille des Phénylpyrrole, I.B.S., Imides cycliques	1 à 4 interventions 1 fois par semaine	Pas de matières actives autorisées en AB
<b>Puceron vert, noir, brun, farineux, cigarier</b>	Maximum d'infestation en mai. Les pucerons sont vecteurs de la sharka.	1 traitement préventif en février-mars ; 1 traitement en avril ;	7 % de rameaux occupés (100 pousses)	Nicotinoïdes,	1 traitement minimum	Insecticide toxique sur les abeilles, cas de résistances aux Nicotinoïdes
<b>Tordeuse orientale</b>	Première génération de papillons au printemps. Dégâts larvaires et succession des générations jusqu'en octobre.	Piégeage sexuel au cours de la saison. Traitement suivant les bulletins ou en fonction des piégeages et des dépassements de seuil.	1 % de pousses et/ou de fruits occupés (100 pousses ou 500 fruits)	Confusion sexuelle, Chloronicotyle, Organophosphoré, Pyréthrinoides, Carbamates	Confusion sexuelle et x traitements	Diminution des doses de certains produits.
<b>Thrips</b>	Première génération en mai. 5 à 7 générations par an.	Traitements sur nectarines et pêches à épiderme fin si présence. Traitement entre juin et la récolte si présence sur fruits.	10 % de fleurs occupées (100 fleurs) ou 50 % de pousses occupées ou fruits piqués (100 pousses ou fruits)		En mars de 1 à 2 traitements en fonction de la durée de la floraison. De 2 à x traitements avant la récolte.	Produits toxiques pour les abeilles. Diminution des doses de certains produits.
<b>Forficule</b>	Ponte en automne et en fin d'hiver. Adultes de mai à septembre.	Pose de la Glu en avril. Sur les vergers non protégés : intervenir dès les premiers dégâts sur fruits.		Deltaméthrine.	De 1 à x traitements si pas de Glu.	Forficules sont aussi des auxiliaires : prédateurs des pucerons.

### 1.2.4.2. Gestion de la fertilisation au verger

Les besoins importants du pêcher concernent principalement l'azote et le potassium. La plupart des nutriments (N, P, K, Mg, B, Mn) sont stockés dans les bourgeons, le tronc et les racines. Ces éléments sont remobilisés après l'hiver pour alimenter la reprise de la croissance végétative (émission des premières feuilles) et la croissance reproductive (débourement, floraison, nouaison). Le maximum des besoins est atteint avant le ralentissement de la croissance des pousses et la maturation des fruits, soit début juillet pour l'azote et le potassium (40 à 60% des besoins totaux ; Soing, 2004). Les besoins concernant les oligo-éléments (principalement fer, manganèse, zinc et cuivre) sont faibles et souvent peu pris en compte car le sol est généralement capable d'y subvenir (Hilaire et Giaque, 2003).

Pour contrôler le statut nutritionnel du verger et corriger les pratiques de fertilisation d'une année sur l'autre, des analyses foliaires sont couramment préconisées avec des prélèvements de feuilles réalisés 75 ou 105 jours après la floraison : par exemple, une teneur inférieure au seuil de 2,5 % de matière sèche est signe d'une carence en azote (Panine, 1984).

Tableau 3 Règles pour établir les besoins en éléments minéraux selon l'âge du verger (Soing, 2004)

Unités/ha	N	P2O5	K2O	MgO
1 <sup>ère</sup> feuille	35	30	0	0
2 <sup>ème</sup> feuille	70	40	90	0,2 à 0,3 N
Arbre adulte	90+1,3*rendement	40 à 60	1,2 à 1,5 N	0,2 à 0,3 N

### 1.3. Vers des systèmes de culture à faible niveau d'intrants

#### 1.3.1. Conception d'un système de culture : de l'efficacité à la reconception

La conception d'un nouveau système repose sur la mise en cohérence de l'ensemble des éléments du système en intégrant de manière optimale les différents niveaux d'actions relatifs au modèle conceptuel d'Efficiency-Substitution-Reconception (ESR). Ce modèle proposé par Hill et MacRae en 1996 est un modèle d'analyse pour l'évaluation de l'agriculture durable (Estevez et *al.*, 2000) qui permet de décrire des niveaux de transitions vers une agriculture écologique (Lamine et Bellon, 2009). Ce modèle est applicable à l'évaluation de la stratégie phytosanitaire et a été repris dans Ecophyto R&D (Ricci, 2010) pour définir des niveaux de ruptures par rapport à une situation conventionnelle initiale fondée sur un usage important des intrants issus de l'agrochimie (Butault et *al.*, 2010) ou reproduisant les pratiques locales des agriculteurs ou les recommandations actuelles (Plénet et Simon, 2015).

Dans le premier cas (**Efficiency**), l'utilisation des intrants peut être optimisée par une meilleure synchronisation des traitements aux risques d'infestations (Navarrete et *al.*, 2011) notamment grâce à l'utilisation d'outils d'aide à la décision (ex. : Modèle de prévision des risques de tordeuses orientales du pêcher ; Sauphaunor et *al.*, 2009) mais également par une réduction des doses de substances actives en les adaptant au volume des arbres.

Dans le deuxième cas (**Substitution**), les produits phytosanitaires de synthèse peuvent être substitués par des pratiques ou des stratégies de contrôles avec un impact environnemental moindre. Beaucoup de ces méthodes ont des effets seulement partiels, ne donnant des résultats intéressants qu'à condition de les combiner pour bénéficier « d'effets additifs, voire synergiques, tout en évitant d'éventuels effets antagonistes » (Ricci, 2010).

Enfin, la **reconception** passe par la conception d'un nouveau système moins vulnérable aux bioagresseurs et donc, moins dépendant de l'usage des produits phytopharmaceutiques (Ricci, 2010) en jouant sur des choix structurels (densité de plantation, matériel végétal, systèmes d'irrigation...)

et la combinaison de pratiques de prévention, souvent à effets partiels et non spécifiques d'un bioagresseur) avec des moyens de lutte alternative directe et de rattrapage souvent plus ciblés sur un bioagresseur donné.

### I.3.2. La démarche de conception d'un système de culture

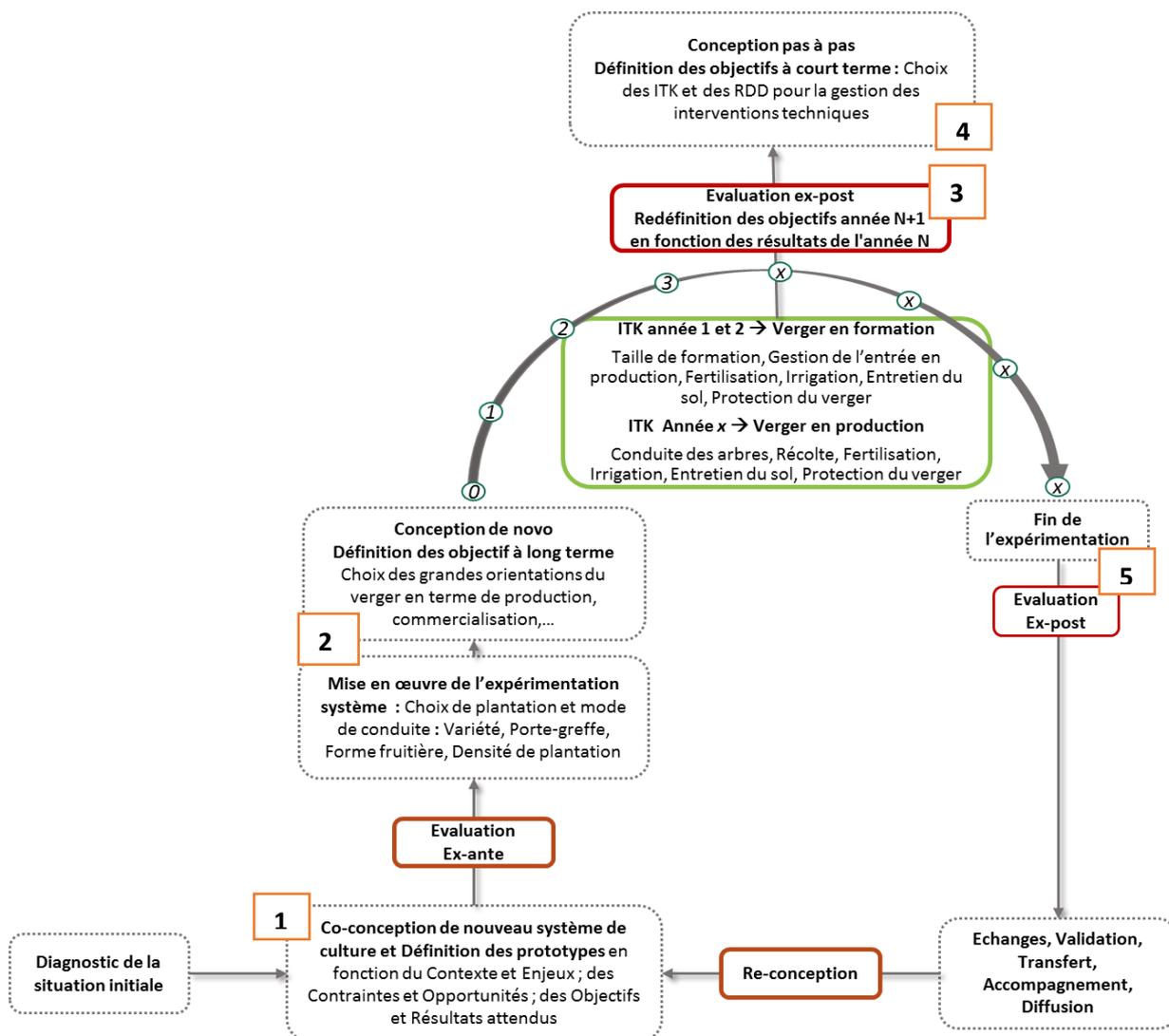


Figure 1 Une démarche de conception et d'évaluation de systèmes de culture pour des vergers plus durables

Le processus de conception-évaluation passe par différentes étapes comme définies dans le schéma ci-dessus (figure 1) et mobilise différentes compétences, connaissances, méthodologies et outils (Loyce et Wéry, 2006).

Cette démarche nécessite de concevoir en premier lieu des prototypes de systèmes de culture (1, Figure 1), de formaliser des règles de décision (RDD du protocole expérimental) qui permettent d'adapter les choix techniques successifs aux événements climatiques et à l'évolution de l'état des cultures (Meynard, 2012), de définir des méthodes de raisonnements pour gérer les intrants, ainsi que des règles de déclenchement des interventions (Laget et al., 2015).

Dans un second temps, les systèmes de culture prometteurs sont expérimentés au champ (2, figure 1) afin d'évaluer (en ex post ; 3-5 figure 1) et de valider les hypothèses établies lors de l'étape de conception aussi bien en termes de faisabilité technique et de cohérence agronomique qu'en termes de résultats agronomiques, techniques et de performances économiques, sociales et environnementales (Deytieux, 2012 ; Plénet et Simon, 2015). Cette seconde étape correspond à

l'expérimentation-système, un mode d'expérimentation initié dans les années 90 (Capillon et Fleury, 1986 ; Meynard et *al.*, 1996), et qui se développe aujourd'hui (Deytieux et *al.*, 2012). Cette méthode expérimentale permet de « construire des dispositifs évolutifs basés sur l'utilisation de règles de décision intégrant des variables multiples (agronomiques, écologiques, économiques et sociales)» (Meynard et *al.*, 1996 ; Lauri, 2014), et permettant de tester la combinaison des techniques mise en œuvre en considérant les interactions entre ces techniques à une échelle annuelle et pluriannuelle et leurs effets sur les différentes composantes de l'agroécosystème (Reau et *al.*, 1996 ; Nolot et Debaeke, 2003).

Ce processus étant évolutif, il faut nécessairement une démarche de réadaptation du système au fur et à mesure que les essais apportent des éléments de réponse et que le contexte évolue (Lauri, 2014 ; 3 Figure 4), d'autant plus dans le cadre d'essais sur des cultures pérennes comme le pêcher (Plénet et Simon, 2015).

### 1.3.3. Exemple de la création de vergers économes en intrants : cas d'Ecopêche

#### 1.3.3.1. *Projet Ecopêche*

Le projet Ecopêche a débuté en janvier 2013, et porte sur l'évaluation et la conception multisite de vergers de pêches-nectarines économes en produits phytosanitaires et en intrants. Ce projet regroupe 7 partenaires : INRA PSH, INRA UERI Gotheron, INRA Bordeaux, CTIFL, Stations régionales d'expérimentation : SEFRA, Sud Expé SERFEL et Sud Expé Sica CENTREX. Les systèmes créés visent à concilier une réduction de 50 % de l'usage des produits phytopharmaceutiques et des intrants avec l'obtention de fruits de haute qualité ainsi que des performances technico-économiques assurant la durabilité du système. Le second objectif d'Ecopêche est le transfert des connaissances acquises grâce aux expérimentations systèmes vers les acteurs de la filière.

La démarche utilisée et les méthodes alternatives mobilisées pour concevoir les nouveaux systèmes sont celles décrites dans le Guide Ecophyto Fruits (Laget et *al.*, 2015). Dans tous les sites, les dispositifs sont basés sur la reconception de vergers nécessitant de nouvelles plantations afin d'agir dès les choix de plantation et les années de formation des arbres. Les orientations stratégiques des systèmes sont assez identiques sur tous les sites mais les règles de décision tactiques peuvent différer pour intégrer les spécificités et les contraintes locales. Ainsi chaque système combine différents leviers d'actions (tableau 18 ANNEXE 2) pour atteindre les objectifs de réduction de l'utilisation de pesticides.

#### 1.3.3.2. *Les leviers d'actions mobilisés pour diminuer les intrants et les produits phytosanitaires au verger*

- La diminution des quantités d'eau apportées au verger

De nombreux travaux ont montré l'influence de l'irrigation et surtout des rationnements hydriques (par rapport à un témoin irrigué confortablement) sur le contrôle de la vigueur de l'arbre et de la qualité des fruits. La croissance n'étant pas linéaire de la fécondation à la récolte, un rationnement hydrique peut avoir des conséquences plus ou moins favorables à certaines périodes dites critiques (Vaysse et *al.*, 1990). La phase II de durcissement du noyau est assez tolérante à un stress (Li et *al.*, 1989 ; Boland et *al.*, 1993). Par contre une restriction hydrique pendant la dernière phase de croissance du pêcher a une influence déterminante en diminuant le calibre mais en augmentant le taux de matières solubles (teneur en sucres augmentée) et en limitant également la sensibilité des fruits aux maladies de conservation (Gibert et *al.*, 2007). Ainsi c'est durant ces deux dernières phases qu'une gestion précise de l'irrigation peut permettre de réduire la sensibilité aux maladies de conservation et augmenter la qualité, tout en essayant d'éviter une perte de calibre

(Plénet *et al*, 2009). Ce pilotage précis de l'irrigation peut être réalisé en à l'aide de tensiomètres et de dendromètres (Bussi, 1999) (ANNEXE 1-2 et ANNEXE 1-3).

- Les leviers d'actions utilisables sur les bioagresseurs

De nombreux leviers d'actions utilisables contre les bioagresseurs existent. Ces techniques peuvent n'être que partiellement efficaces mais la combinaison des leviers est intéressante à utiliser (tableau 4 et 5). Dans le projet Ecopêche, les systèmes de culture se différencient par l'utilisation et la combinaison de ces leviers d'actions en fonction des objectifs de chaque système. Dans une approche de PFI, les traitements sont déclenchés selon des seuils d'acceptabilité et un niveau de risques supérieurs à celui de producteurs en conventionnel.

Tableau 4 Leviers alternatifs à la lutte chimique « classique » contre les ravageurs (d'après Laget *et al.*, 2016)

	Tordeuse orientale du pêcher	Forficules	Thrips	Puceron vert
<b>Confusion</b>	X			
<b>Barrière physique</b>		X		(X)
<b>Virus de la granulose</b>	(X)			
<b>Bacillus thuringiensis</b>	X			
<b>Prédateurs, auxiliaires par conservation ou introduction</b>	X	X	X	X
<b>Taille en vert</b>			X	
<b>Suppression des fruits ou bouquets attaqués</b>	X			
<b>Gestion de l'enherbement</b>		X	X	

Tableau 5 Leviers alternatifs à la lutte chimique « classique » contre les maladies (d'après Laget *et al.*, 2016)

	Monilia	Oïdium	Bactériose	Sharka
<b>Gestion des fonds de cueille</b>	X			
<b>Application de SDP, engrais foliaire</b>	X		(X)	
<b>Application de Kaolin, Talc, Badigeon</b>			X	
<b>Gestion de la charge</b>	X			
<b>Suppression manuelle des organes contaminés</b>	X	X	X	X
<b>Gestion de l'enherbement</b>	X			
<b>Gestion de l'alimentation hydrominérale</b>	X		X	
<b>Taille en vert ou hors risque de gel</b>	X		X	
<b>Thermothérapie post-récolte</b>	X			

Le schéma décisionnel (figure 6) explique l'itinéraire technique pour contrôler les bioagresseurs (maladies, ravageurs et adventices) par une combinaison de méthodes, ainsi que les règles de décision suivies en relation avec les résultats et les performances du verger attendus pour un système dit économe en intrants. La figure 2 résume les méthodes alternatives utilisées dans Ecopêche sur le verger de l'INRA d'Avignon pour gérer les bioagresseurs et limiter les intrants (eau, fertilisants, énergie et produits phytosanitaires).

#### I.4 Problématique et hypothèses de travail

Le projet Ecopêche compte maintenant trois années d'expérimentations et de résultats sur la gestion des vergers dans leur phase juvénile ou en début de production de fruits. L'objectif de l'étude est (i) de participer à une expérimentation système conduite à l'INRA Avignon et d'en analyser les résultats et (ii) de réaliser une première synthèse des résultats des trois premières années (2013 – 2015) basée sur une analyse multicritère des performances des différents systèmes de culture au sein du réseau.

La bibliographie révèle que peu d'essais systèmes ont été dédiés à la reconception de vergers avec un suivi dans le temps (Peck et al. 2006 ; Bertschinger et al. 2004 ; Simon et al, 2011), alors que la technique de l'expérimentation système s'est largement développée pour l'étude des cultures annuelles (Debaeke et al. 2009). En effet, l'évaluation agronomique et environnementale des vergers a généralement été effectuée en comparant les vergers commerciaux préexistants en agriculture biologique, en protection intégrée et/ou en conventionnel, sur la seule base de la diversité observée d'un ou de plusieurs ravageurs spécifiques, sans prendre en compte les aspects sociotechniques (Suckling et al. 1999 ; Ricci et al. 2009). De plus, peu de travaux font références à des méthodes d'analyses de données provenant d'expérimentations systèmes multisites, notamment dans le cas de jeunes vergers. La réalisation des premières analyses d'essais multisites nécessite de réfléchir à une démarche permettant de prendre en compte les différentes phases de la vie d'un verger (jeunes vergers et vergers en production).

Dans un premier temps, nous analyserons les résultats d'une expérimentation système (site Inra Avignon) sur une (2016) et plusieurs années (2013-2016). La démarche d'analyse multisite et pluriannuelle est développée dans un second temps sur les vergers entrant en production. Grâce à ces différentes analyses, nous essayerons de spécifier si les systèmes atteignent leurs objectifs : sont-ils atteints tous les ans et/ou après combien d'années ? Comment expliquer les écarts de performances observés, notamment en lien avec la pression en bioagresseurs ?

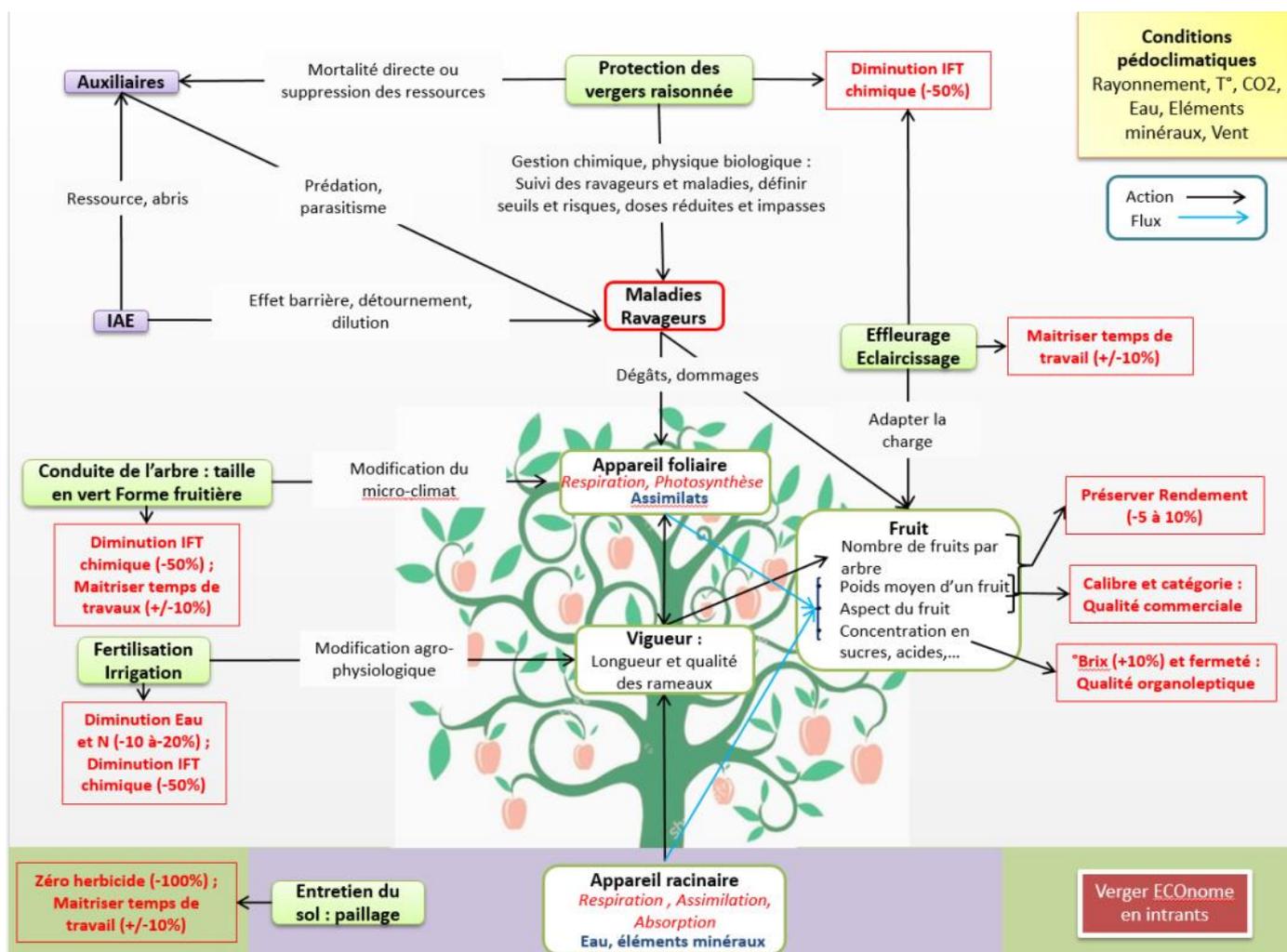
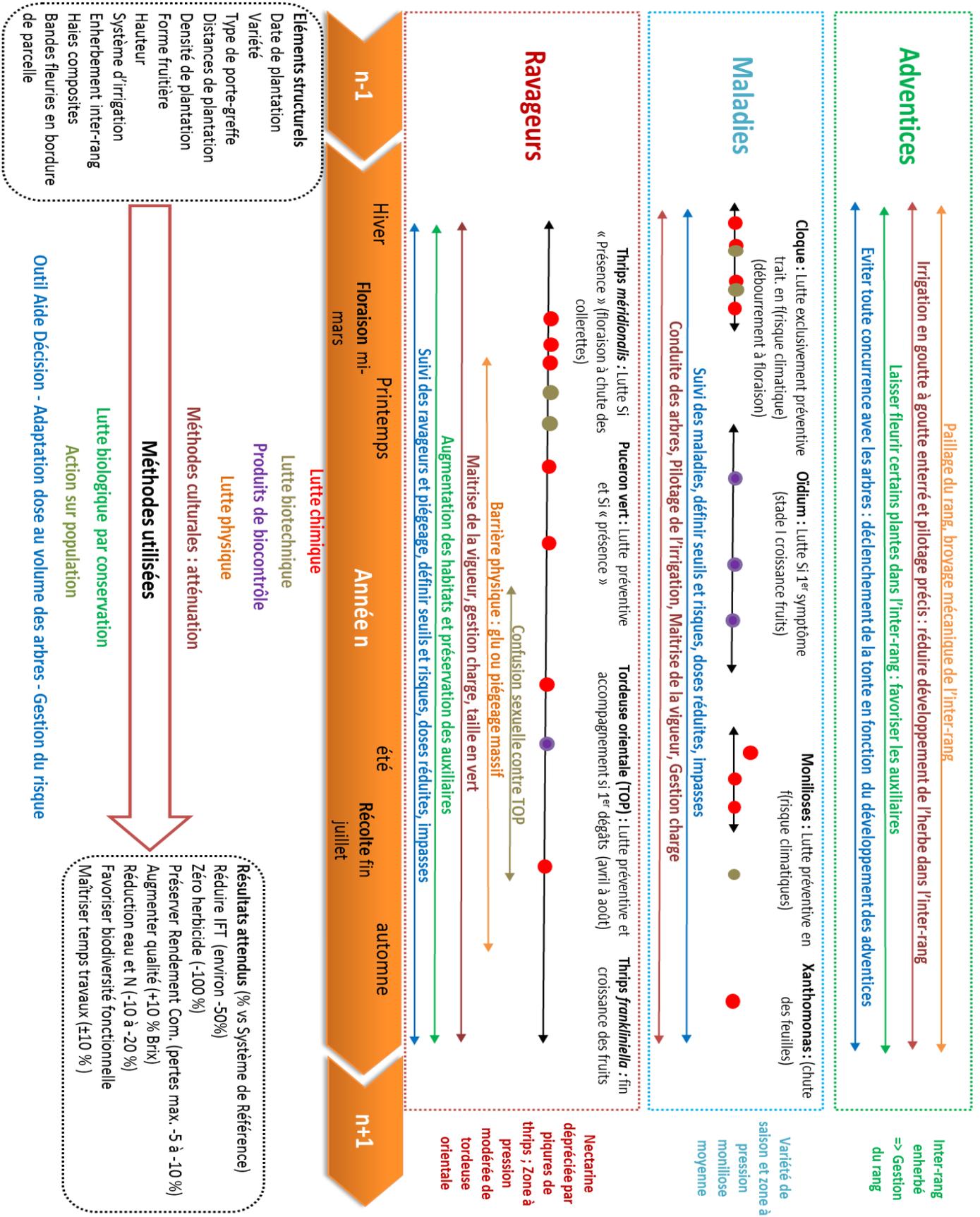


Figure 2 Gestion d'un verger économe en intrants à l'INRA d'Avignon

Figure 3 Schéma décisionnel d'un système de culture économe en produits phytosanitaires ; Ecopêche, 2015



## II. Matériel et méthodes

### II.1. Description des sites expérimentaux

#### II.1.1 Description générale des sites expérimentaux

Le projet Ecopêche associe sept partenaires afin de prendre en compte la diversité des conditions pédoclimatiques rencontrées dans les principaux bassins de production de pêches/nectarines et de tester la robustesse des systèmes proposés dans ces différents milieux (Mercier et *al.*, 2016). La création de ces prototypes de vergers a nécessité la co-conception et la formalisation de règles de décision pour définir la conduite de chacun de ces systèmes sur chacun des sites de plantation (Plenet et *al.*, 2013). Dans les vergers de pêchers, les systèmes de production sont différenciés par les combinaisons de méthodes culturales (ferti-irrigation, enherbement total, méthode de conduite des arbres) avec pour objectifs d'atténuer la sensibilité du verger aux bioagresseurs et de diminuer la consommation des intrants (eau d'irrigation, fertilisation azotée...). La description plus précise des sites se situe tableau 17 ANNEXE 2 (description des sites) et tableau 18 ANNEXE 2 (description des leviers d'action alternatifs). Les règles de décision associées à chaque système s'appuient sur :

- Le cahier des charges de l'agriculture raisonnée (cahier des charges de la charte PFI ou de distributeurs comme GlobalGap) pour les système de référence (REFérence), correspondant aux préconisations actuellement diffusées pour la conduite d'un verger conventionnel dans chacune des régions, en respectant et en minimisant les risques de pertes de récolte (nombre de fruits, calibres et dommages sur les fruits).
- Une réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires et d'intrants (entre 30 % et 50 % d'IFT par rapport à la référence) dans les systèmes économes (Eco) afin de limiter l'impact environnemental, tout en préservant au maximum les marges économiques et en assurant l'obtention de fruits sains et de haute qualité.
- Le cahier des charges AB pour les systèmes en Agriculture Biologique (Bio).

#### II.1.2. Description du site d'Avignon (variété Nectarlove)

Le tableau 6 présente les orientations stratégiques des trois systèmes de culture expérimentés à l'INRA Avignon avec la variété commerciale NECTASWEET® Nectarlove (cov) et les éléments structurels fixés lors de la plantation du verger. Les leviers d'action alternatifs mobilisés dans les itinéraires techniques sont présentés tableau 18 ANNEXE 2.

Tableau 6 Description des systèmes de culture du site d'Avignon : essai avec la variété NECTASWEET © Nectarlove (cov)

	<b>S1 : REFérence (Raisonné)</b>	<b>S2 : ECONome 1 Forme en volume</b>	<b>S3 : ECONome 2 Forme haie fruitière</b>
<b>Orientations stratégiques : production, qualité, environnement,...</b>	Intensification raisonnée : haut rendement, bonne qualité commerciale, temps de travail maîtrisé	Minimisation des pertes économiques, haute qualité gustative, réduction utilisation intrants eau et N	Minimisation des pertes économiques, haute qualité gustative, réduction utilisation intrants eau et N Entrée rapide en prod.
<b>Variété porte-greffe</b>	Nectarlove GF 677	Nectarlove GF 677	Nectarlove GF 677
<b>Forme des arbres</b>	Double Y	Double Y aéré	Simple Y oblique
<b>Densité (arbres/ha)</b>	571	571	909
<b>Infrastructures agro-écologiques (IAE)</b>	Haie de cyprès + gazon	Haie composite + gazon + bandes fleuries	Haie composite + gazon + bandes fleuries
<b>Système d'irrigation</b>	Micro-jets au sol	Goutte à goutte enterré	Goutte à goutte enterré
<b>Entretien du sol sur le rang</b>	Désherbage chimique	Paillage avec bâche horticole	Paillage avec bâche horticole

## II.2. Mesures expérimentales

Dans les essais systèmes, un certain nombre de variables servant d'indicateurs sont mesurées. Ces indicateurs sont utilisés soit pour piloter les systèmes en référence aux RDD propres à chaque système, soit pour suivre et comprendre le fonctionnement du verger relatif à son développement et à son état sanitaire, et afin d'évaluer la performance et la durabilité de chacun des systèmes. Sur chaque site, les indicateurs sont mesurés et calculés selon des protocoles similaires. La description des différents indicateurs mesurés et calculés dans Ecopêche se trouve tableau 19 ANNEXE 3.

### II.2.1. Description et choix des indicateurs de performances

Les indicateurs donnent une description succincte du système et permettent la comparaison avec le système de référence afin de déterminer des niveaux de rupture. Les indicateurs sont sélectionnés en fonction des objectifs de l'essai (figure 7) : « concilier une réduction de 50 % de l'usage des produits phytopharmaceutiques et des intrants avec l'obtention de fruits de haute qualité ainsi que des performances technico-économiques assurant la durabilité du système ».

Les abréviations indiquées pour chaque indicateur seront utilisées dans les résultats à la place du nom de chaque variable.

Tableau 7 Choix des indicateurs utilisés dans l'analyse multicritère en fonction des objectifs et des seuils prédéfinis

	Indicateurs de performances choisis	Abréviations	Unités	En % du système de REF
Indicateurs des pratiques : pression environnementale	IFT chimique	IFT ch.	IFT/ha	-30% ou -50% suivant les systèmes
	IFT chimique par tonnes commercialisables	IFT ch.	IFT/t com.	
	IFT chimique : herbicide	IFT H.	IFT/ha	-100% des herbicides
	Quantité eau irrigation	Eau Irr.	m <sup>3</sup> /ha	-10 à -20% quantité d'eau
	Quantité d'eau d'irrigation par tonnes commercialisables	Eau Irr.	m <sup>3</sup> /t com.	
	Apport N minéral	N min.	kg/ha	-10 à -20% quantité de fertilisants
	Apport P2O5	P2O5	kg/ha	
	Apport K2O	K2O	kg/ha	
Quantité de fertilisants apportée par tonnes commercialisables	N min. / P2O5 / K2O	Unités/t com.		
Indicateurs agronomiques	Rendement commercialisable en frais	Rdt Com.	t/ha	-10% de rendement
	Pertes	Pertes	t/ha	+5 à 10% de pertes
Indicateurs de qualité	%Brix - IR	IR	% Brix	+10% IR
	% de calibre A et plus	%A et plus	%	+ % Calibre A et plus
Indicateurs sociotechniques	Heures hors récolte	h. HR. tot	h/ha	+ ou -10% du temps de travail
	Heures totales	h.tot.	h/ha	
	Heures totales par tonnes commercialisables	h.tot. / h. HR. Tot	H/t com.	
Indicateurs économiques	Chiffre d'affaire bord verger	PB	€/ha	Améliorer la rentabilité du système
	Charge de production	Charge	€/ha	
	Marge partielle	Marge	€/ha	
	Indicateurs Eco par tonnes de fruits commercialisables	PB / Charge / Marge	€/t com.	

Ces indicateurs se regroupent en différentes familles :

- **Indicateurs d'utilisation des intrants et des performances environnementales** correspondent aux indicateurs de pratiques effectuées au verger. Ils permettent d'estimer la pression exercée par l'utilisation de produits phytosanitaires et d'intrants sur l'environnement (en termes d'impact potentiel et/ou d'utilisation de ressources). Le terme « IFT chimique » indique les IFT

comptabilisant les traitements hors produits de biocontrôle. Le terme IFT Vert comptabilise seulement les produits de biocontrôle.

- **Indicateurs agro-physiologiques** permettent un diagnostic du fonctionnement du verger, de son état nutritionnel et de caractériser la montée en production d'un jeune verger. Cependant, ces indicateurs ne sont pas pour l'instant mesurés sur tous les sites et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse multicritère entre les sites.
- **Indicateurs agronomiques** regroupent les résultats en terme quantitatif à la récolte.
- **Indicateurs de la qualité des fruits** regroupent les résultats en terme qualitatif à la récolte.
- **Indicateurs sociaux, techniques et de santé** comprennent les indicateurs liés à la charge de travail sur une campagne soit le temps alloué aux différentes tâches à effectuer dans les vergers (taille d'hiver et d'été, conduite, éclaircissage, récolte,...). La quantité de résidus en produits phytosanitaires appartient au volet santé.
- **Indicateurs économiques** sont calculés à partir des autres indicateurs décrits dans les paragraphes précédents et sont standardisés sur la base d'un référentiel de prix. Le prix de vente variant fortement dans le temps, un prix fixe par calibre a été choisi correspondant à la moyenne des prix donnés par les sites. De même pour les prix en AB sont fixés de façon similaire. Les charges opérationnelles de mécanisation ne sont pas encore calculées et ne sont donc pas intégrées aux résultats actuels dans le calcul du coût et de la marge.

## II.2.2. Mesures des indicateurs de développement agro-physiologique sur le site d'Avignon

Tableau 8 Protocole des mesures expérimentales, site INRA d'Avignon 2016

Indicateurs agronomiques		Individus suivis	Variables mesurées	Fréquence des mesures
Dynamique de croissance	Croissance végétative	12 arbres par système : - 4 pousses par arbre - 2 gourmands par arbre	Longueur des pousses et gourmands (cm) Nombre de feuilles (Nb)	Mesures au verger tous les 14 jours, jusqu'à la récolte
	Croissance des fruits	12 arbres par système : - 4 fruits par arbre	Diamètre des fruits (cm)	Mesures au verger tous les 7 jours, jusqu'à la récolte
	Croissance des arbres	12 arbres par système : - Circonférence des troncs	Section des troncs (cm <sup>2</sup> )	Mesures au verger fin février (reprise de la croissance); fin juillet (fin récolte) ; fin octobre (entrée en dormance)
Dynamique de la mise en place de la surface foliaire et de la quantité d'azote prélevée		12 arbres par système : - 7 feuilles par arbre	Surface moyenne d'une feuille (cm <sup>2</sup> ) Masse surfacique (mg/cm <sup>2</sup> ), Teneur en chlorophylle (SPAD) Teneur en carbone et azote (g/100g MS)	Prélèvements tous les mois
Statut hydrique et azoté	Statut hydrique	Dendromètres sur 5 arbres par système	Croissance journalière des charpentières Amplitude de Contraction Diurne (ACD) (μm)	Suivi des variations micromorphométriques une à plusieurs fois par semaine
	Statut azoté	Teneur en azote des feuilles (feuilles prélevées une fois par mois, même échantillon que pour mesurer la surface foliaire)		
Suivi des ravageurs et des maladies	Bioagresseurs au verger	Moitié des arbres par système	Notation de l'intensité des dégâts par bioagresseur	Observations au verger tous les 7 jours
	Suivi Monilia avant récolte	12 arbres par système	Nombre de fruits tombés ou pourris	Avant la première récolte et à chaque récolte
	Suivi Monilia après récolte	12 arbres par système	Nombre de fruits pourris	Observation des fruits mis en conservation une fois par jour pendant 15 jours après la récolte
Rendement et qualité des fruits		12 arbres par système	Masse de fruits commercialisable en frais (kg/arbre), répartition en calibre, poids moyen des fruits (g), taux de sucre (% Brix) par calibre	A chaque cueille

Des données permettant de caractériser le fonctionnement agro-physiologique ont été recueillies tout au long de la campagne 2016 dans l'objectif de définir l'état nutritionnel, sanitaire et physiologique des arbres dans les trois systèmes testés sur le site Inra d'Avignon (tableau 8). Certaines mesures réalisées sur ce site ont pour objectif d'alimenter la construction d'un modèle de culture qui pourra ensuite être mobilisé pour analyser le fonctionnement des différents systèmes.

### II.3. Méthodes d'analyse des indicateurs

#### II.3.1. Logiciel statistique et notations

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R Studio (R Core Team, 2014), et les packages FactoMineR (Husson et al., 2013), car (Fox & Weisberg, 2011), agricolae (Mendiburu, 2014) et ade4 (Chessel et al., 2004).

Le risque de première espèce était fixé à 5% pour toutes les analyses. Les tests sur les hypothèses ont été effectués pour chaque analyse mais ne seront pas présentés dans ce rapport. Lorsque l'hypothèse H0 était rejetée, un test de comparaison multiple a été effectué (Honestly Significant Difference test) au seuil de 5%. La notation a, b, c sur les graphiques et histogrammes indique que la moyenne a est significativement supérieure à la moyenne b qui est significativement supérieure à la moyenne.

#### II.3.2. Analyse statistique des indicateurs agro-physiologiques

Tableau 9 Méthodologie d'analyse des indicateurs agro-physiologiques

Indicateur agro-physiologique	Variables	Analyse statistique	Hypothèse
<b>Croissance végétative</b>	Longueur des pousses et gourmands	ANOVA à un facteur (Système) pour chaque date	H0 : la variabilité intra-système est du même ordre de grandeur que la variabilité inter-système, effet peu probable des systèmes
	Nombre de feuilles		
	<b>Croissance des fruits</b>		
<b>Croissance des arbres</b>	Section des troncs		
<b>Rendement et qualité des fruits</b>		ANOVA à un facteur (Système) entre les trois systèmes pour chaque récolte	
<b>% Brix</b>		ANOVA à un facteur (Date de récolte) pour chaque système	
<b>Répartition par calibre</b>		ANOVA à un facteur (Système) pour chaque date	
<b>Suivi bioagresseurs</b>	Nombre de fruits pourris	Calcul d'un indice moyen par verger par bioagresseur : note d'intensité des dégâts par le nombre d'arbre ayant ces dégâts pondéré par le nombre d'arbre suivi. Note élevée (>2) signe de dégâts importants et d'un grand nombre d'arbre touchés.	
	Notation des dégâts par bioagresseur		
<b>Statut hydrique et azotée</b>	mm eau apportés par verger	Pas d'analyse statistique associée : permet de comprendre les différences obtenues dans les analyses précédentes entre les systèmes.	
	mm eau apportés par arbre		
	Teneur en azote des feuilles		
<b>IFT</b>	IFT non produits de biocontrôle		
	IFT produits de biocontrôle		
	IFT par bioagresseurs		

Comme il n'y a pas de répétition spatiale de chacun des systèmes dans chaque site, il y a possibilité de confusion d'effets entre l'effet système et un effet lié au sol ou à d'autres conditions du milieu. De ce fait, une véritable comparaison statistique inter-système n'est pas possible. Cependant, pour la plupart des variables des répétitions de mesures ont été réalisées pour connaître

la variabilité intra-système. Les analyses de variances (ANOVA) réalisées en utilisant ces « pseudo-réplifications » ont pour objectif de visualiser les ordres de grandeur des variances intra et inter systèmes afin de pondérer l'interprétation des résultats (tableau 9).

### II.3.3. Analyse multicritère des performances

Différentes représentations des données ont été utilisées pour chercher à contrôler l'hétérogénéité introduite par l'effet « site » (pédoclimat, variété, dates de plantation, etc.) dans cette analyse multisite. Les données sont donc utilisées soit en valeur brute, soit en valeur cumulée ou en moyenne sur plusieurs années, en % ou en indice par rapport au système de référence ou en ratio d'efficience par unité de production (kg de fruits).

Des tableaux de bord résumant les performances (en indice du système de référence à 100 en lien avec les objectifs d'EcoPêche) sont également utilisés afin de résumer les performances de nombreux sites à l'aide d'icônes de couleur. La méthode utilisée pour classer les indicateurs dans le tableau de bord se trouvent tableau 20 ANNEXE 4.

#### II.3.3.1. Identification des Systèmes de cultures Economes et Performants

Comme EcoPêche est un projet du plan Ecophyto, il est important d'analyser l'impact de la réduction des pesticides sur la performance globale des systèmes. Un système de culture est considéré économe en produits phytosanitaires et performant économiquement (ScEP) quand son IFT est inférieur de 50 % à l'IFT du système de référence et quand sa marge partielle (en valeur absolue) est positive. Une fois les ScEP identifiés, nous avons cherché à les caractériser.

#### II.3.3.2. Analyses factorielles

Le nombre d'individus (Système\*Année) à partir duquel sont effectuées les analyses factorielles est faible : 53 individus (toutes années) dont 21 individus correspondant aux systèmes de référence, soit seulement 32 individus Eco et Bio sur les quatre années d'analyse. De plus la répartition des individus n'est pas similaire entre les années : en 2013, 10 individus dont 4 systèmes de référence ; en 2014, 13 individus dont 5 systèmes de référence ; en 2015, 25 individus dont 10 systèmes de référence ; en 2016, 5 individus dont 2 systèmes de référence.

Les analyses factorielles seront donc à étudier au regard de ce que ce type d'analyse peut apporter dans l'analyse d'un essai système multisite et multi-année, que par leurs résultats mêmes.

- **Analyse des Correspondances Multiples**

Une Analyse des Correspondances Multiples puis une Classification Ascendante Hiérarchique des indicateurs permet de distinguer des groupes de systèmes (un individu correspond à une année\*un site\*un système) en fonction :

- de la structure des vergers : densité de plantation, distance entre les arbres, âge du verger, forme des arbres.
- des pratiques : en terme de gestion des bioagresseurs (IFT chimique ou vert), d'irrigation (type d'irrigation et quantité d'eau apportée), de fertilisation (apport d'azote minéral ou organique, apport sur le rang ou par fertigation) et de gestion des adventices (désherbage chimique, paillage, désherbage mécanique ou enherbement contrôlé).
- et des performances (besoins de créer des classes de variables) agronomiques, sociotechniques et économiques.

Les données utilisées pour l'analyse correspondent aux performances transformées en indice par rapport au système de référence fixé à un indice 100. Les systèmes de référence sont enlevés de l'analyse afin de spécifier les résultats sur les systèmes Eco et Bio. Les catégories de ScEP identifiées

seront utilisées comme variables illustratives dans l'analyse, afin de voir si les groupes se distinguent par leurs performances. Les conclusions tirées de ces analyses sont à mettre au regard du pourcentage d'inertie expliqué par les deux premiers axes.

- [Analyse en Composantes Principales](#)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet de décrire le jeu de données, de le résumer, d'en réduire la dimensionnalité. Au vu du nombre de variables en jeu dans la base de données, il est intéressant de comprendre les relations entre les indicateurs de performances et de pratiques. L'ACP nous permet de résumer les performances des individus (un individu est une année\*un site\*un système) par un petit nombre de variables et d'étudier les liens entre les individus (deux individus sont proches dans le plan s'ils ont des résultats similaires).

### III. Résultats

#### III.1. Analyse monosite : essai système Avignon

##### III.1.1. Effet des Systèmes sur le fonctionnement des vergers

###### III.1.1.1. Bilan des pratiques

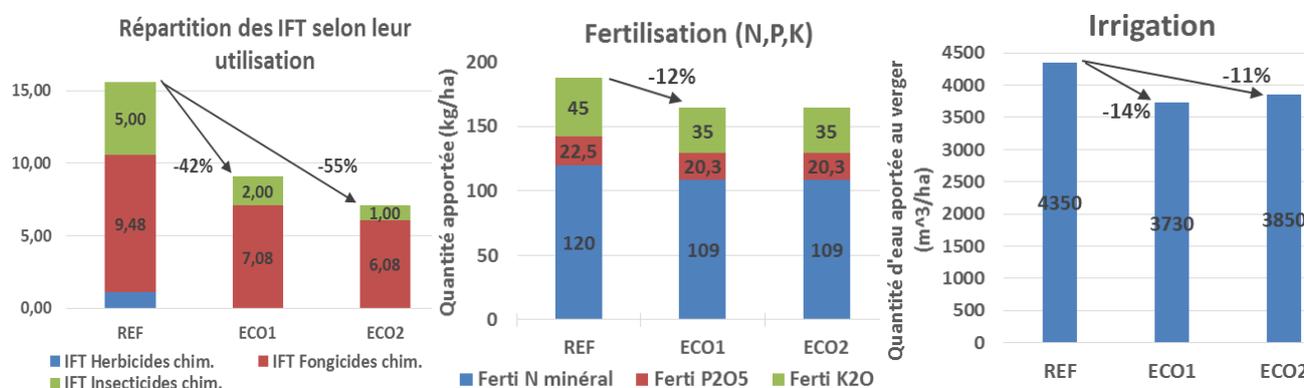


Figure 4 Bilan des pratiques de protection, de fertilisation et d'irrigation entre mars 2016 et juillet 2016 (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

Les objectifs de réduction des intrants sur les systèmes économes ont été atteints pour l'année 2016 avec - 42 % à - 55 % de produits phytosanitaires (objectifs de réduction de 30 % à 50 %), -12 % de fertilisants (objectifs de 10 à 20 % d'azote) et -11 % à -14 % d'eau d'irrigation (objectifs de 10 % à 20 %). Il s'agit maintenant de voir si la réduction des intrants a pénalisé les systèmes économes.

###### III.1.1.2. Croissance végétative

L'effet sur la croissance végétative est appréhendé par l'intermédiaire de plusieurs indicateurs.

- Croissance des arbres

La croissance des sections de tronc est un indicateur qui intègre l'ensemble des processus de croissance à l'échelle de l'arbre. Les troncs sont significativement moins volumineux sur les systèmes Eco ( $P < 0,0001$ ) lors de la dernière mesure de section fin juillet. De plus, les croissances mesurées entre mars et fin juillet 2016 sont significativement inférieures dans les systèmes Eco ( $P < 0,0001$  ; figure 5).

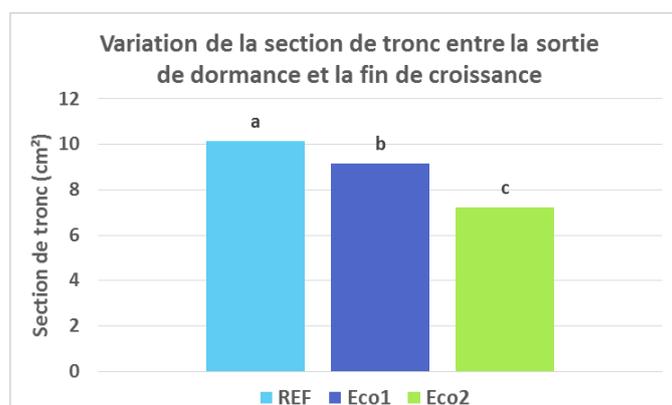


Figure 5 Croissances des troncs mesurées entre mars et fin juillet 2016 (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

- Croissance des pousses et de la surface foliaire

Le nombre de rameaux mixtes présents sur les arbres en début de campagne est significativement supérieur ( $P = 0,019$ ) sur le système REF (101 rameaux/arbre) par rapport aux

systèmes Eco (75 rameaux sur Eco1 et 78 rameaux sur Eco2) ce qui indique a priori un potentiel de production plus important sur REF.

La qualité des rameaux (croissance des rameaux et floribondité) ne semble pas avoir été affectée par la conduite de l'année précédente : en effet la floribondité et la croissance des pousses après la reprise de croissance sont similaires entre les systèmes. Les pousses du système de référence sont significativement plus grandes que les pousses des systèmes Eco1 et Eco2 ( $P=0,040$ ) seulement en début de campagne (date du 10 mai ; figure 6).

Le nombre de feuilles se différencie par contre significativement en fin de campagne avec plus de feuilles sur les systèmes économes que sur le système de référence ( $P=0.026$  le 27 juin et  $P=0.0036$  le 06 juillet ; figure 7). Ces résultats semblent indiquer que globalement la croissance végétative n'a pas été impactée par la réduction des intrants puisqu'elle se situe à un niveau similaire voir supérieure au système de référence.

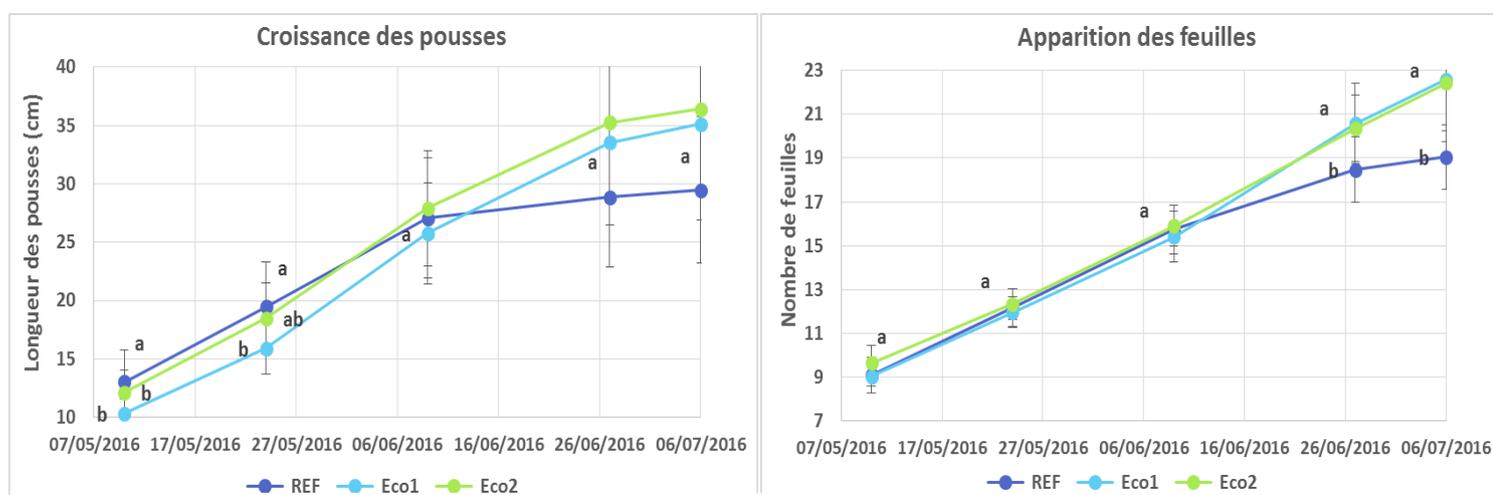


Figure 6 Croissance des pousses (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

Figure 7 Apparition des feuilles (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

- Etat nutritionnel des arbres

En l'absence des résultats des teneurs en azote des feuilles, le diagnostic de l'état nutritionnel des arbres est réalisé à partir de l'indicateur « chlorophyll-meter, SPAD 502 » qui mesure la concentration en chlorophylle. Celle-ci est fortement corrélée à la teneur en azote. Nous observons des valeurs assez faibles sur tous les systèmes le 27 avril et le 2 mai. Des valeurs de SPAD supérieures à 40 semblent indiquer une alimentation azotée optimale (Rubio-Covarrubias et al., 2009 ; Soing et al., 2002) et des valeurs inférieures à 35 pourraient être le signe d'un déficit azoté (Soing et al., 2002). En attendant confirmation par les teneurs en azote des feuilles, nous pouvons émettre l'hypothèse que le statut nutritionnel était satisfaisant sur tous les systèmes sur une grande partie de la campagne, mais avec une période peut-être un peu limitante au cours du printemps.

### III.1.1.3. Nouaison et croissance des fruits

Les arbres du système Eco2 portaient plus de fruits par arbre (tableau 10), soit environ 121 fruits par charpentière (ou 5,79 fruits /cm<sup>2</sup> section de tronc) alors que les deux autres systèmes comptaient 75 fruits par charpentière pour le système de référence (5,30 fruits/cm<sup>2</sup> de section de tronc) et 67 fruits par charpentière pour le système Eco1 (5,30 fruits/cm<sup>2</sup> de tronc), illustrant la différence observée entre le système Eco2 et les systèmes Eco1 et REF en termes de diamètre moyen (figure 7) et de poids moyen d'un fruit.

Le % de calibre A et plus est similaire entre les systèmes. Les arbres étaient sans doute en sous-charge cette année due au manque de froid cet hiver ayant diminué le nombre de bourgeons floraux. De plus, la variété *Nectarlove* a un fort potentiel de croissance des fruits, ce qui a favorisé l'obtention de gros fruits sur tous les systèmes.

Tableau 10 Charge, nombre de fruits et poids moyen d'un fruit (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

	Densité de plantation	Forme fruitière	Nombre de charpentières	Nb de fruits récoltés /ha	Nb de fruits par arbre	Nb de fruits par charpentière	Nb de Fruits/cm <sup>2</sup> de section de tronc	Poids moyen d'un fruit (g)	% de calibre A et plus	Diamètre moyen d'un fruit avant récolte (mm)
REF	571	2Y	4	172394	302	75	5,3	202,2	93%	69,3 (a)
Eco1	571	2Y	4	153314	269	67	5,3	209,3	95%	69,7 (a)
Eco2	909	Y oblique	2	220433	243	121	5,8	196,9	93%	64,9 (b)

Les fruits du Système Eco2 sont significativement plus petits que les fruits du système de référence et du système Eco1. Il est intéressant de remarquer que cette différence apparaît à partir de mi-juin (figure 8).

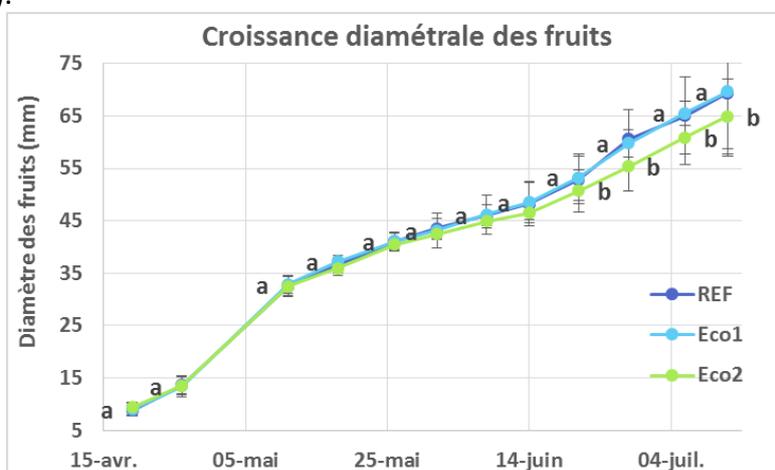


Figure 8 Suivi de la croissance diamétrale des fruits (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

Le suivi de la croissance des charpentières par dendrométrie met en évidence trois périodes de ralentissement ou d'arrêt de croissance sur tous les systèmes, essentiellement pour des raisons d'arrêt d'arrosage (début mai et mi-mai) ou une réduction de l'intensité d'irrigation afin de limiter les risques de maladies de conservation (phase pré-récolte vers le 10 juillet). Les données dendrométriques confirment un ralentissement important de la croissance sur le système Eco2 à partir de fin mai (figure 9).

Ceci pourrait être lié à une restriction hydrique, malgré des apports en quantité comparable au système Eco1, combinée à une charge en fruits trop importante. Ces résultats semblent confirmer un effet probable d'une plus forte compétition inter-arbre du fait de la forte densité de plantation sur le système Eco2, impliquant une adaptation des règles de pilotage dans le futur.

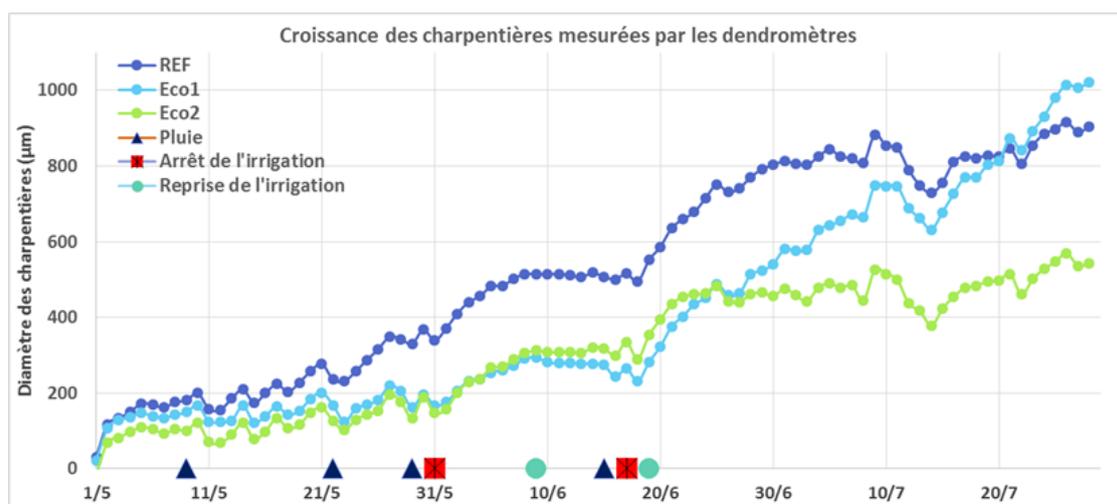


Figure 9 Croissance journalière des charpentières mesurée par dendrométrie (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

### III.1.1.4. Etat sanitaire des vergers

La faible pression des bioagresseurs ainsi que le bon positionnement des traitements et l'efficacité des techniques alternatives expliquent le peu de différence obtenu en termes de dégâts sur les vergers (tableau 11). Cependant, en fin de campagne, les dégâts en monilia ont augmenté très rapidement, en partie par l'impossibilité de réaliser un traitement prévu du fait d'une période de fort mistral (respect réglementaire).

Tableau 11 Maximum de dégâts par bioagresseur en indice (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2016)

Dégâts	Bioagresseur	Dates	REF	Eco1	Eco2
Dégâts sur les organes végétatifs	Cloque	Début avril	0,30	0,13	0,10
	Puceron vert	Mi-avril	0,00	0,00	0,03
	Thrips	Mi-avril	0,13	0,03	0,00
Dégâts sur les organes végétatifs et les fruits	Tordeuse	Fin avril	0,00	0,00	0,07
		Début juillet	0,17	0,27	0,17
	Oidium	/	0,00	0,00	0,00
Dégâts sur les fruits	Escargot	Début juin	0,30	0,17	0,27
	Monilia	Mi-juillet	0,45	0,10	0,00

L'obtention de très gros fruits a sans doute favorisé l'apparition de microfissures à la surface des fruits, voie d'entrée des monilioses conduisant à plus de fruits pourris par arbre dans le système de référence et dans le système Eco1 que dans le système Eco2.

### III.1.2. Analyse multicritère des performances

Les meilleurs résultats de performances agronomiques et technico-économiques (tableau 12) du système Eco2 s'expliquent essentiellement par la plus forte densité de plantation qui accélère la « montée en production » d'un jeune verger en occupant plus rapidement l'espace disponible. De plus, la forte densité ne favorise pas, pour le moment, les dégâts de bioagresseurs, sans doute car certaines techniques préventives (paillage horticole combiné au goutte à goutte pour réduire le microclimat humide favorisant les contaminations de monilioses, conduite de l'irrigation, etc.) permettent de les contrôler parallèlement.

Les différences de performances observées en 2016 entre le système de référence et le système Eco1 sont attribuables essentiellement aux pertes de récolte plus importantes sur le verger de référence malgré une protection chimique plus importante. Plusieurs éléments éclaircissent ces résultats. Comme déjà signalé, l'obtention de très gros fruits liée à la sous-charge, a dû fortement sensibiliser les fruits aux monilioses par la formation de microfissures à la surface de l'épiderme. Le système d'irrigation utilisé dans le verger de référence (micro-jets) crée aussi un microclimat plus humide par rapport au goutte à goutte enterré, ce qui accentue sans doute le risque épidémiologique. Enfin sur Eco1 (et Eco2), malgré une mise en place avec un mois de retard, l'utilisation de la méthode alternative à base de glu posée autour des troncs pour se préserver des forficules a pu réduire le nombre de morsure sur les fruits, dégénéralant très rapidement en fruits pourris.

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%

### III.1.3. Analyse pluriannuelle

#### III.1.3.1. Etat sanitaire

Les dégâts de cloque ont été particulièrement importants sur les systèmes économes en 2015 (tableau 13). Nous remarquons que la gestion des bioagresseurs est plus difficile en fin de campagne sur les deux années. Le faible résultat en Monilia en 2016 est lié à la date de mesure comparativement au niveau de maturité des fruits. Une mesure effectuée proche de la date de récolte en 2016 aurait fourni des résultats similaires aux mesures de 2015.

Tableau 13 Maximum de dégâts par bioagresseurs en indice (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2013 à 2016)

Années	Systèmes	Dégâts sur les organes végétatifs		Dégâts sur les organes végétatifs et les fruits			Dégâts sur les fruits		Pertes en fruits % du Rdt Brut
		Cloque	Puceron vert	Tordeuse	Oidium	Escargot	Monilia		
2015	REF	3,60	0,00	0,07	0,27	0,13	0,27	2,33	40%
	Eco1	4,60	0,50	0,23	0,20	0,47	0,87	4,14	56%
	Eco2	4,47	0,00	0,27	0,30	0,50	0,90	2,81	60%
2016	REF	0,30	0,00	0,00	0,17	0,00	0,30	0,45	36%
	Eco1	0,13	0,00	0,00	0,27	0,00	0,17	0,10	26%
	Eco2	0,10	0,03	0,07	0,17	0,00	0,27	0,00	21%

#### III.1.3.2. Performances du verger

Le rendement cumulé est inférieur de 8 % dans le système Eco1 (figure 11 ; ANNEXE 5), mais la réduction des intrants permet d'augmenter l'efficacité technique et économique sur ce système (figure 10). Ainsi après quatre années, le système Eco1 obtient des résultats sensiblement inférieurs en termes de quantité de fruits au système de référence et de marge (-5 %), mais avec une diminution

de 56 % des IFT, de 18 % des quantités d'azote apportées et de 26 % de la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation.

Après quatre années, le système Eco2 se démarque du système Eco1 (figure 11 ; ANNEXE 5) par un rendement cumulé supérieur de 26 %, jouant sur les résultats économiques. A charges égales, la marge augmente de 35 %. Les quantités d'intrants et de produits phytosanitaires sont les mêmes entre les systèmes Eco1 et Eco2. L'amélioration de l'efficacité du système Eco2 est donc induite par la différence de rendement.

Ces premiers résultats montrent que les systèmes économes répondent pour l'instant aux objectifs fixés : réduction des IFT supérieure à 50 %, réduction des intrants eau (- 24 %) et azote (- 16 %), une amélioration de la qualité (+1,6 Brix et pas de diminution du calibre A) et une maîtrise du temps de travail (+ 4 %).

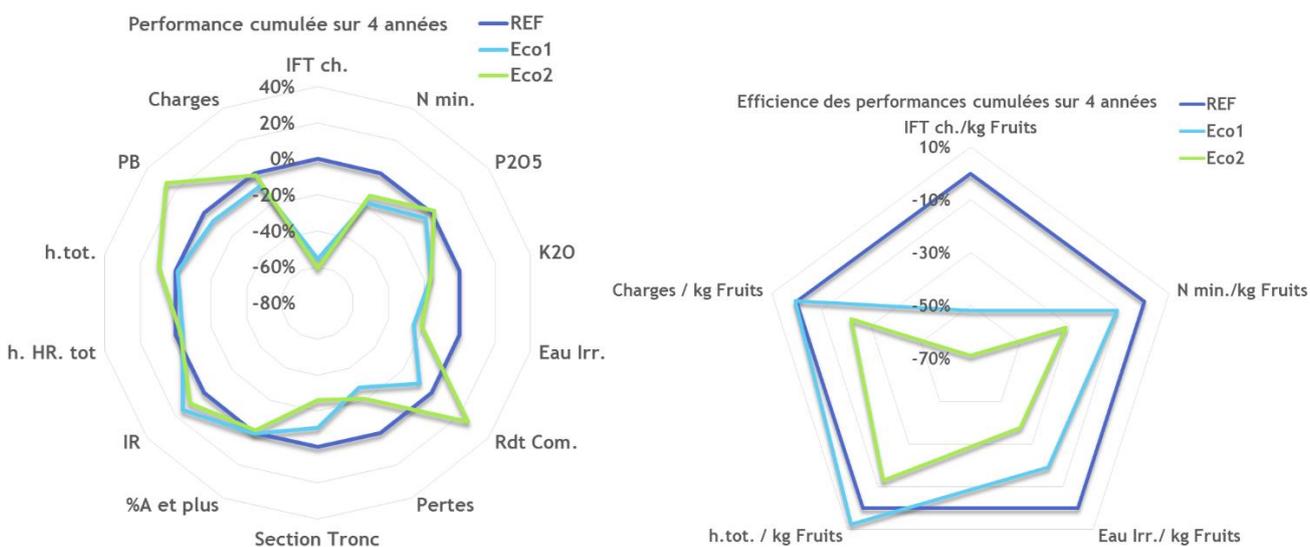


Figure 10 Ratio d'efficacité calculés à partir des principaux indicateurs de performances (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2013 à 2016)

Figure 11 Performances cumulées des vergers en % du système de référence (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2013 à 2016)

### III.1.4. Discussion

#### III.1.4.1. Synthèse des principales tendances

L'attaque de cloque de l'année précédente a affecté plus fortement les vergers économes. Ils ont perdu une part importante de leur surface foliaire en 2015 au cours du mois d'avril (enroulement des feuilles et suppression par une intervention de prophylaxie). Ceci a diminué la production d'assimilats par la photosynthèse et a impacté négativement la croissance des arbres : à partir de 2015, les sections de troncs sont significativement plus petites dans les deux systèmes économes. De plus des restrictions un peu sévères en eau et azote ont également pu avoir un impact sur la mise en réserve en fin d'année 2015 et donc sur la reprise de croissance, en début de saison 2016. Cela est confirmé par les résultats de teneurs en azote des feuilles de l'année précédente, et par une composition plus faible en azote et amidon des rameaux analysés au cours de l'hiver 2015 (résultats non présentés). Ainsi au début de la campagne 2016, les arbres du système de référence étaient plus vigoureux (section de tronc) et portaient significativement plus de pousses que les systèmes économes, favorisant une meilleure reprise de croissance. Par la suite, la faible charge en fruits, la fertilisation et l'irrigation apportées en cours de saison semblent avoir été suffisantes pour rétablir une croissance similaire des pousses en cours de saison entre les systèmes. Ainsi les résultats en termes de performances des vergers économes ont été positifs pour l'année 2016, notamment grâce

à une faible pression des bioagresseurs et à leur bon contrôle par les différentes stratégies de protection.

#### *III.1.4.2. Effet de la densité de plantation entre les vergers*

- *Méthode de comparaison des vergers*

Les indicateurs de performances exprimés par unité de surface et/ou par kg de fruits indiquent une nette supériorité du système Eco2 par rapport à Eco1 et même par rapport au système de référence. Nous le constatons particulièrement avec les résultats d'efficacité grâce aux bons rendements obtenus par Eco2 par rapport à REF et Eco1. En effet, suivant, la méthode employée pour analyser les indicateurs (par arbre, par unité de surface ou par kg de fruits), les résultats observés seront différents. La performance du point de vue de l'arbre est inférieure dans le cas d'Eco2, mais devient nettement supérieure à l'hectare. Les analyses d'efficacité doivent être cependant analysées avec attention : l'amélioration du ratio d'efficacité peut passer principalement par l'augmentation du rendement (« produire plus ») sans jouer sur la réduction des produits phytosanitaires et intrants.

- *Différence de performances*

Les vergers Eco1 et Eco2 ont subi les mêmes niveaux d'attaques de bioagresseurs durant ces quatre années. De plus, les pratiques (irrigation, fertilisation, gestion des bioagresseurs et paillage sur le rang) sont similaires entre ces deux vergers. La différence de croissance observée entre les arbres de ces deux systèmes est due à la densité de plantation supérieure dans le verger Eco2 provoquant une compétition inter-arbre plus forte pour l'eau et les nutriments (Hoying et *al.*, 2005).

La densité de plantation supérieure permet d'acquérir rapidement un niveau de production conséquent, mais risque de devenir négative du fait du vieillissement prématuré des vergers (Loreti et Massai, 2002). La production peut devenir irrégulière et une diminution de celle-ci dans les parties basses de l'arbre (Belluau et Lemaire, 1984 ; Blanc et *al.*, 200).

Le besoin en main d'œuvre est pour l'instant inférieur ou comparable entre les vergers. Hors, la densité de plantation et la forme fruitière du système Eco2 conduiront à l'obtention d'un verger semi-piéton (3m), nécessitant l'utilisation d'un escabeau lors des chantiers de taille et de récolte. De plus, la densité de plantation élevée augmente le temps de taille du fait de la croissance végétative plus importante observée dans les vergers à haute densité (DeJong et *al.* 1994 ; Loreti et Massai, 2002 ; Blanc et *al.*, 2003).

Les résultats économiques sont pour l'instant supérieurs pour le système Eco2 mais, du fait d'une possible diminution de productivité et d'une augmentation des charges de main d'œuvre, cette tendance pourrait s'inverser dans les prochaines années. De plus, les calculs économiques actuels ne prennent pas en compte les coûts d'amortissement liés à la plantation, supérieurs dans un système à haute densité (DeJong et *al.* 1994).

#### *III.1.4.3. Analyse des différences entre REF et Eco1*

Les vergers REF et Eco1 ont été gérés de manière différente (micro-jet vs goutte à goutte, désherbage chimique vs paillage, réduction des intrants et des IFT). La principale différence observée entre ces deux systèmes concerne la quantité de pertes significativement inférieure (- 30 % de pertes) dans le système Eco1, du fait de la différence de pratiques et de l'utilisation de techniques alternatives. Cet écart expose également une limite de la lutte chimique : impossibilité un traitement prévu sur REF du fait d'une période de fort mistral (respect réglementaire).

Dans le système Eco1, l'irrigation au goutte à goutte a joué sur l'humidité présente dans le verger, limitant la propagation de la maladie. Ceci a été couplé à une gestion restreinte des quantités d'eau apportées au verger afin d'essayer de réduire la vitesse de croissance des fruits et limitant les microfissures, voies d'entrées du monilia (Gibert et *al.*, 2007). Le pilotage de l'irrigation a permis d'augmenter légèrement la qualité globale des fruits : + 9% en Brix, en accord avec les données de la littérature (Mercier et *al.*, 2009 ; Plénet et *al.*, 2010). Sur une année à forte pression en monilia, est-ce que la combinaison de ces leviers serait suffisante, sachant le développement rapide de la maladie au sein du verger ? Les résultats des prochaines années pourront apporter des éléments de réponse.

Dans la suite du projet, la manipulation de l'architecture des arbres (Simon et *al.*, 2007) pourra être un levier d'action supplémentaire intéressant à intégrer dans la gestion du monilia. La technique de la branche fruitière (Navarro et Plénet, 2002 ; Plénet et *al.*, 2006) permet de réduire la sensibilité des vergers aux maladies (Bussi et *al.*, 2015) en contrôlant mieux l'équilibre vigueur-fructification (Lauri, 2002).

#### *III.1.4.4. Ouverture : outils d'aide à la décision et thermothérapie*

Les pertes concernent malgré tout 28 % du rendement brut en moyenne sur les trois systèmes, liées au développement de la pourriture au verger ou en post-récolte. En plus de la synergie possible de la technique d'irrigation et de la conduite de l'arbre, une autre méthode permet de limiter les pertes dues au monilia. La thermothérapie c'est à dire le trempage successif des fruits dans des bains de températures et dans un temps précis a montré une réduction de 60 % à 100 % des pertes post-récoltes (Lurol et *al.*, 2009). Cette technique est cependant lourde à gérer (Gomez et *al.*, 2004), mais a été adaptée au format industriel. Elle pourrait être employée par les coopératives avec un coût de traitement de 55 € par tonne de fruit (selon l'hypothèse que 250 tonnes de fruits sont traitées et vendues par la coopérative) et un amortissement possible en moins de deux ans, en partie grâce à la diminution des pertes (Gomez et *al.*, 2004). Cette méthode n'est pas utilisable par un producteur seul mais apporte de nouvelles solutions dans le cas de regroupements de producteurs, notamment à l'heure actuelle où les cahiers des charges de la grande distribution se tournent vers du « 0 résidus ».

Sous une faible pression de bioagresseurs, nous nous interrogeons sur la possibilité d'une réduction encore plus forte des IFT en pilotant mieux la protection avec des seuils d'intervention plus élevés. Sur pêcher, la plupart des maladies cryptogamiques sont gérées en préventif, sans seuils prédéfinis. La base de données sur les Outils d'Aide à la Décision (OAD) du GIS Fruits (2015) ne fait état d'aucun OAD existant pour la gestion des maladies en fruits à noyau. Cela démontre le besoin de la filière en outils d'aide à la décision concernant la gestion des maladies. Une approche comme celle utilisée par le modèle POD Mildium serait intéressante à adapter en arboriculture et a déjà fait ses preuves en viticulture avec une réduction significative du nombre de traitements de l'ordre 25% à 60% selon les années et le bioagresseur concerné (Delière et *et. al.*, 2008). Ce modèle nécessite par contre des observations quantifiées de symptômes pour décider des traitements, ce qui n'est pas ou peu fait actuellement par les producteurs.

### *III.2. Analyse multisite et pluriannuelle des résultats d'Ecopêche*

#### *III.2.1. Les systèmes atteignent-ils leurs objectifs ?*

##### *III.2.1. Focus sur les jeunes vergers entrant en production (3<sup>ème</sup> feuille)*

La réduction des produits phytosanitaires est supérieure à 50 % IFT sur 80 % des systèmes entrant en production (tableau 22 ANNEXE 6). La réduction des quantités d'eau est effective dans 87

% des systèmes Seulement 25 % des systèmes réduisent de plus de 20 % les quantités d'eau. Par contre seulement la moitié des systèmes mettent moins d'azote.

73 % des vergers de trois ans ont obtenu un rendement inférieur au système de référence, dont tous les systèmes Bio. Par contre 45 % des systèmes Eco ont obtenu de bons résultats de rendement, correspondant aux systèmes n'ayant pas ou peu réduits les quantités d'eau et/ou d'azote apportées au verger. Les pertes ont été réduites dans tous les vergers, et ne constituent pas un facteur explicatif à cet écart de rendement. Par contre, la diminution de la vigueur des arbres avec ses effets sur la croissance et la qualité des rameaux pourrait expliquer cette différence. Les mesures des sections de troncs sur les vergers de 3 ans (à densité de plantation égale) indiquent que les arbres des systèmes Bio ont des sections inférieures au système de référence. Concernant les systèmes Eco, cette réduction de vigueur ne s'observe pas dans tous les systèmes. Ayant peu de données, il est difficile de conclure sur ce point.

Tableau 14 Sections de troncs des systèmes de 3 ans, mesures prises après la période de croissance (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

Sites	Systèmes	Section de tronc	% de différence
INRA Gotheron	REF	29,0	0%
	Eco	27,6	-5%
	Bio	23,8	-18%
SEFRA	REF	41,0	0%
	Eco	35,0	-15%
	Bio	32,0	-22%
INRA Avignon 1	REF	17,7	0%
	Eco	20,2	2%

Un peu plus de la moitié des jeunes vergers (53 %) obtient des résultats de marge supérieurs au système de référence, grâce à une réduction des charges (diminution des chantiers de taille et de récolte liée à la diminution du rendement et de la vigueur des arbres) supérieure à la baisse de rendements.

Par contre la marge partielle en valeur absolue est négative dans 60 % des systèmes soit la moitié des systèmes Bio et 64 % des systèmes Eco. Les quatre systèmes ayant une marge positive se distinguent par une réduction soit moins importante des produits phytosanitaires, soit pas ou peu de réduction des intrants. Il est difficile de pouvoir vraiment tirer une conclusion de ce point avec seulement quatre sites.

### III.2.1.2. Bilan global des 4 années sur les systèmes en production

Les indicateurs de pratiques sont relativement stables au cours du temps sur la plupart des systèmes\*années (Tableau 22 ANNEXE 6) par comparaison aux systèmes de référence : réduction effective de l'IFT (7,3 IFT en moyenne vs 20,7 IFT dans les systèmes de référence) dans tous les systèmes\*années et plus de 50 % de réduction des IFT dans 72 % des systèmes, réduction de l'eau d'irrigation dans 72 % des systèmes sur toutes les années et enfin réduction de la quantité d'azote minérale dans 59 % des systèmes.

Les performances en terme de rendement commercialisable sont très variables entre les années du fait de la jeunesse des dispositifs (association de vergers qui rentrent en production et de vergers plus âgés). Elles sont inférieures aux systèmes de référence dans 76 % des systèmes\*années, ce qui impacte négativement le produit brut et la marge. Les coûts de production sont par contre réduits dans tous les sites. Les rendements obtenus dans tous les systèmes Bio sont largement

inférieurs au système de référence, qu'importe l'âge des vergers. Mais la bonne valorisation commerciale des fruits de ce mode de production permet à 30 % des sites d'obtenir une marge positive.

Le pourcentage de calibre A et plus semble impacté par la diminution des intrants. La diminution est vue dans 48 % des sites, particulièrement dans les systèmes Bio. Par contre la qualité organoleptique est légèrement augmentée dans 74 % des sites (11,8 % Brix vs 11,3 % Brix dans les systèmes de référence).

Enfin, les systèmes innovants se démarquent par une bonne maîtrise du temps de travail, due à la diminution du temps de récolte, chantier le plus important en verger de pêcher-nectarine. Le nombre d'heures hors récolte est réduit dans 88 % des systèmes\*années (277 heures en moyenne vs 316 heures dans les systèmes de référence). Les techniques innovantes (aération de l'arbre, prophylaxie,...) ne semblent pas pénaliser les temps de travaux en matière de conduite des arbres. Une analyse par poste permettrait d'identifier les chantiers nécessitant moins de travail.

### III.2.1.3. Etude des systèmes en production depuis plusieurs années

Le projet Ecopêche se base sur une reconception de vergers nécessitant de nouvelles plantations. Seulement deux sites INRA Gotheron et de la SERFEL Bas-Intrants, avaient des vergers déjà plantés au début du projet Ecopêche. L'analyse des performances sur plusieurs années ne portera donc que sur ces deux sites.

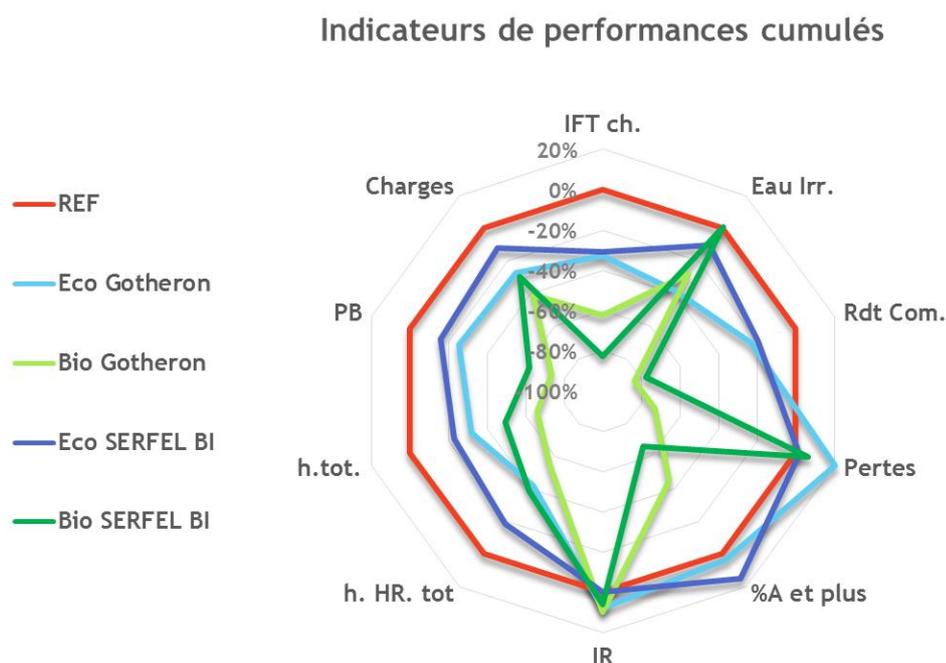


Figure 12 Comparaison des sites Eco et Bio sur 3 années : Indicateurs en cumulé (essai Ecopêche, systèmes en production de l'INRA de Gotheron de et la SERFEL, campagne 2013 à 2016)

Dans les deux sites, il y a une diminution des IFT. Les deux systèmes Eco réduisent de 30 % les IFT alors que ce chiffre atteint 70 % pour les systèmes Bio (figure 12 ; tableau 23 ANNEXE 7).

Un effet du site apparaît au niveau de la diminution de la quantité d'eau : le site de Gotheron réduit jusqu'à 40 % l'eau d'irrigation tandis qu'il n'y a pas de réduction voir même une augmentation sur le site de la SERFEL. Ceci est à relier aux objectifs internes à chaque site. Les systèmes Bio consomment légèrement plus d'eau (+ 12 %) que les systèmes Eco : les systèmes Eco sont en goutte

à goutte enterré, permettant une réduction des quantités d'intrants plus importante que les micro-jets utilisés sur les systèmes Bio.

La composition en sucres est globalement augmentée dans tous les systèmes (+ 0,6 Brix). Le pourcentage de calibre A et plus est, au contraire, amélioré dans les systèmes Eco (moyenne à 72 % vs 69 % dans REF ; tableau 24 ANNEXE 7), mais il est par contre fortement diminué dans les systèmes Bio (moyenne à 36 % de calibre A et plus). Certaines pratiques associées aux systèmes Bio (ANNEXE 2) pourraient constituer un premier élément d'explication : une fertilisation organique par épandage (minéralisation lente diminuant la vigueur des arbres), utilisation du désherbage mécanique (compétition avec les adventices possibles pour l'eau et les nutriments) et une irrigation par micro-jet (technique moins efficace que le goutte à goutte). En effet sur le site de Gotheron, la section des troncs des systèmes Bio est inférieure de 17 % en 2014 et de 19 % en 2015 au système de référence. Ces pratiques, combinées aux stratégies de protection du cahier des charges Bio, peuvent également expliquer la très forte réduction de la performance agronomique (réduction de 80 % des rendements en moyenne).

Dans les systèmes Eco, les rendements sont légèrement plus faibles (-20 %). Ceci pourrait être lié i) à la réduction des intrants eau et fertilisants, pouvant avoir eu un impact sur la vigueur des arbres ou ii) à des pertes plus importantes dues à une mauvaise gestion des bioagresseurs. Sur le site de Gotheron, la section des troncs entre le système Econome et le système de référence était similaire en 2014 et en 2015. La différence de rendement s'explique donc par des pertes plus importantes sur ce système.

Les données exprimées en ratio d'efficacité (figure 21 ANNEXE 7) montrent que les systèmes Bio sont largement moins efficaces que les deux autres systèmes du fait des faibles rendements. Les systèmes Eco ont une efficacité similaire voir meilleure que les systèmes de référence grâce à une diminution des intrants.

### III.2.2. Relations entre la performance des vergers et les autres indicateurs

#### III.2.2.1. Identification des ScEP et trajectoires des systèmes

La valeur de réduction des IFT de chaque système par rapport au système de référence varie entre chaque année pour les différents systèmes, signe d'une adaptation des traitements à la pression en bioagresseur ou d'un ajustement des règles de décision au sein de chaque système (figure 13). Nous distinguons trois groupes (ScEP 1, ScEP 2 et ScEnP : Système de culture Econome non Performant) selon l'indice d'IFT (supérieur ou inférieur à 50 %) et la marge partielle (positive ou négative). Il est important de noter que 37 % des systèmes étudiés dans Ecopêche sont considérés comme Econome et Performants

Les systèmes avec des indices d'IFT inférieurs à 50 % semblent avoir des marges partielles variant de façon importante selon les années. Les systèmes Bio (SerfelW\_Bio) et Eco (SerfelBr\_Eco) de la SERFEL ont des marges partielles positives en 2013 et 2014, puis marge négative en 2015. Au contraire, le système Bio de Gotheron se démarque par une augmentation entre la première année (attaque de cloque sévère en 3<sup>ème</sup> feuille) et la troisième année de production par une augmentation de la marge.

Les systèmes ayant un indice d'IFT compris entre 100 et 50 % (ScEP 2) ont tous une marge positive sauf un système (Goth\_Eco\_2013). En effet, ce système a subi une attaque de cloque sévère en 2013, mais par la suite ses résultats s'améliorent. A part ce cas, les résultats de marge semblent assez stables pour les systèmes du ScEP 2.

Par contre, lorsque l'indice IFT est inférieur à 50 %, la marge est négative dans 50 % des cas (ScEnP). En effet, les systèmes non performants économiquement sont majoritairement des systèmes en première année de production (3<sup>ème</sup> feuille).

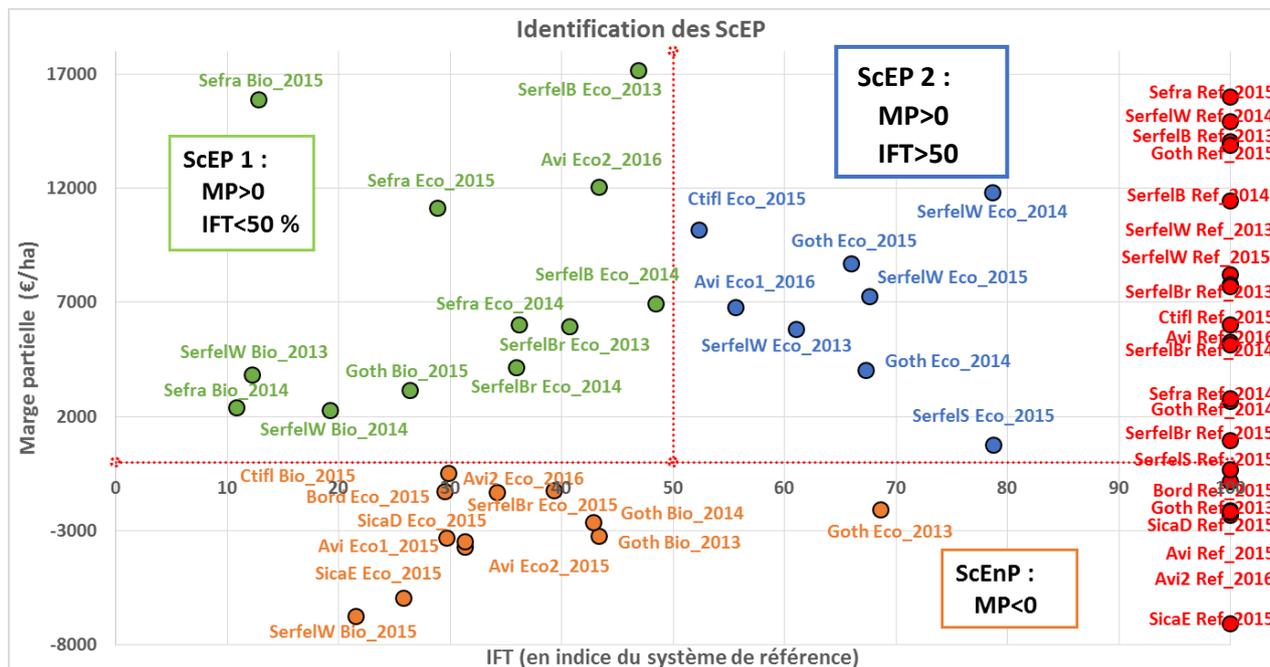


Figure 13 Identification des ScEP à partir des données brutes de marge partielle et de données brutes d'IFT mise en indice par rapport au système de référence (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016). Code des couleurs : vert ScEP 1, bleu ScEP 2 et orange ScEnP

### III.2.2.2. Répartition des ScEP selon quelques indicateurs simples

Les systèmes Eco appartenant au groupe ScEP 1 ou ScEP 2 ont des performances similaires en terme de rendement (figure 14). Les systèmes Bio ScEP 1 ont des valeurs de rendements comprises entre 40 % et 60 % du rendement de référence. Ces systèmes obtiennent des marges positives grâce à une bonne valorisation des fruits et des charges (figure 14), proportionnellement plus importante que la réduction du rendement.

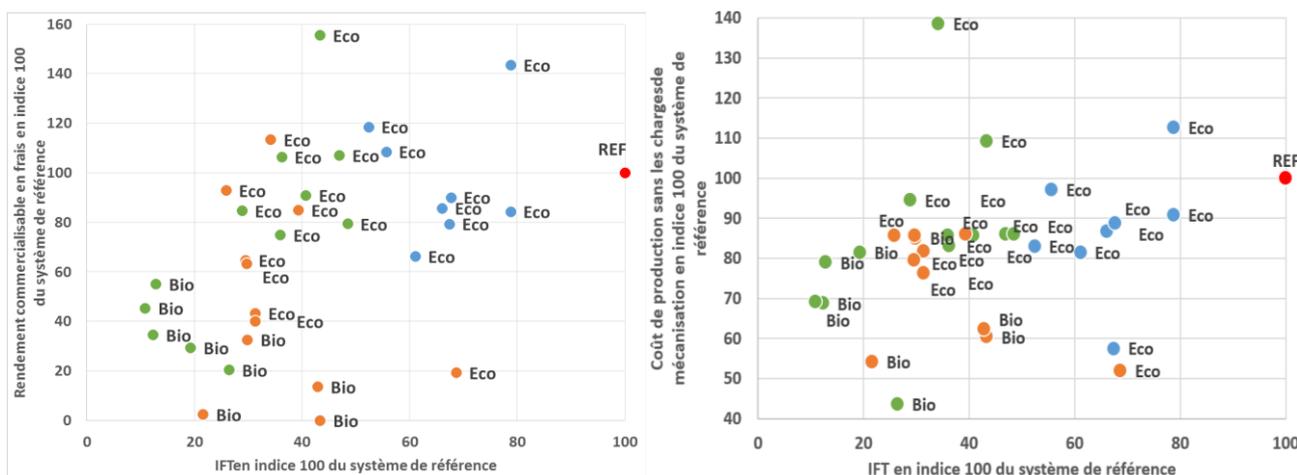


Figure 14 Relations entre l'indice d'IFT et l'indice de rendement commercialisable (figure gauche) et les coûts de production (hors charges de mécanisation) (figure droite) dans les essais EcoPêche (systèmes en production, campagne 2013 à 2016). Code des couleurs : vert ScEP 1, bleu ScEP 2 et orange ScEnP

Le critère seul de la performance agronomique ne permet pas de distinguer les systèmes dits performants (marge positive). Les ScEnP peuvent avoir un résultat de performance agronomique

équivalant aux autres systèmes, mais avoir en valeur absolue un rendement très faible jouant sur la valeur du PB et ne compensant pas les charges (figure 14).

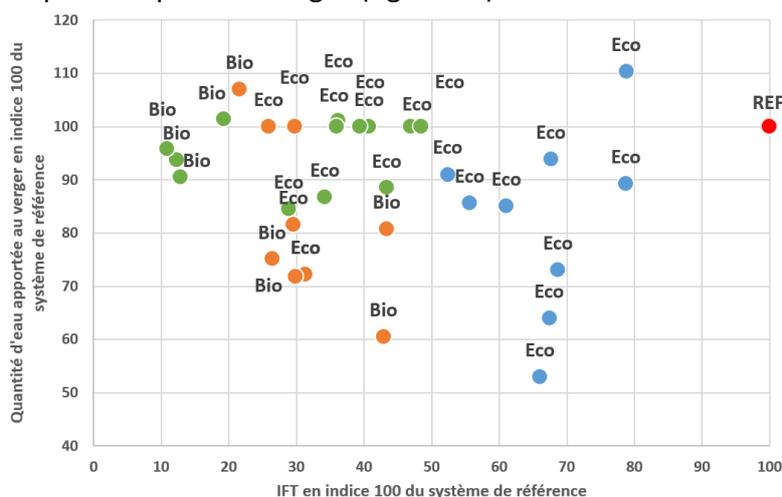


Figure 15 Relation entre l'indice d'IFT et l'indice de la quantité d'eau apportée (100 est la valeur des systèmes de référence) (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016) Code des couleurs : vert ScEP 1, bleu ScEP 2 et orange ScEnP

L'un des objectifs d'Ecopêche est aussi la réduction de l'utilisation de l'eau d'irrigation. Les systèmes Eco appartenant au groupe ScEP 2 (sauf un système) réduisent plus les quantités d'eau que les systèmes ScEP 1 (figure 15). Les quantités d'eau des ScEP 2 sont réduites en moyenne de 22 %. A la différence, les systèmes Eco ScEP 1 diminuent de 4 % les quantités d'eau. En effet, 67 % des systèmes Eco ScEP1 utilisent les mêmes quantités d'eau que le système de référence. De même, les systèmes Bio performants n'est que de 5 % dans les systèmes Bio. Ces résultats illustrent les différences de pratiques associées à chaque système, comme présenté dans la partie suivante.

### III.2.2.3. Répartition des ScEP à partir d'analyses factorielles

Les résultats d'Analyse de Correspondances Multiples (ACM) et d'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont pour le moment assez difficiles à exploiter du fait du nombre réduit d'individus (sites\* systèmes\* années) et du faible pourcentage d'inertie (part de la variance) expliquée par les deux premiers axes (entre 20 et 40 %). Ces analyses sont donc plutôt à considérer comme la présentation d'une démarche méthodologique utilisable dans les analyses d'essais systèmes.

- Effet du site, de l'année et de l'âge des vergers

Pour chaque analyse, il a été vérifié qu'il n'y avait pas d'effet « site », « année » ou « âge ». La transformation des données en indice ou en pourcentage par rapport au système de référence permet donc effectivement de contrôler ces effets.

- Effet des éléments structurels des vergers

L'ACM à partir des données d'éléments structurels n'apporte pas d'informations intéressantes. Peu de données décrivant la structure des vergers étaient disponibles.

- Distinction des systèmes par les pratiques culturales

Une ACM réalisée à partir des données de pratiques culturales nous permet de définir des groupes de systèmes selon leurs pratiques. Les deux premiers axes expliquent 43 % de l'inertie du système (ANNEXE 8-1). La distinction entre les systèmes Eco et AB est très marquée (ANNEXE 8-1).

L'ACM permet de classer les systèmes selon 4 groupes de pratiques : les trois premiers groupes caractérisent les pratiques des vergers Eco tandis que le quatrième groupe décrit les sites en AB (tableau 15).

Il semblerait que les ScEP 1 utilisent des pratiques similaires au système de référence en termes de fertilisation (sur le rang) et d'irrigation (micro-jet). Par contre la gestion des adventices se fait par un désherbage mécanique. Ces pratiques ne semblent pas permettre une diminution des quantités d'eau et d'intrants en plus de la forte diminution des quantités de phytosanitaires.

Les ScEP 2 utilisent du goutte à goutte enterré et gèrent les adventices par un paillage sur le rang. Ces systèmes semblent alors plus économes en intrants.

Tableau 15 Résultats de l'ACM sur les indicateurs de pratiques (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

Groupe	Pratiques	Indicateurs de pression / de pratiques	ScEP	Facteurs d'explication potentiels
1 : Eco	Paillage sur le rang Irrigation au goutte à goutte.	Réduction de la quantité d'azote utilisée, Réduction de la quantité d'eau utilisée (0 à - 20 %) Réduction des IFT chimiques inférieure à - 50 % Augmentation des IFT verts contre les ravageurs (jusqu'à 135%).	ScEP 2	<b>Systèmes économes en intrants :</b> Réduction plus importante des intrants grâce au Paillage et Irrigation au goutte à goutte <b>Systèmes moyennement économes en produits phytosanitaires</b>
2 : Eco	Présence d'une couverture végétale et tonte Irrigation au goutte à goutte Fertigation	Diminution des IFT verts contre les ravageurs Augmentation de la quantité d'azote minérale apportée	/	<b>Systèmes peu économes en intrants :</b> besoin d'effectuer plus d'apports en lien avec la couverture végétale présente sur le rang en compétition avec le verger.
3 : Eco	Fertilisation sur le rang Désherbage mécanique Irrigation par micro-jet.	Pas de réduction de la quantité d'eau et d'azote utilisée Réduction des IFT chimiques entre 50 % et 70 % Réduction des IFT verts contre les maladies	ScEP 1	<b>Systèmes réduisant de façon importante les IFT :</b> Mêmes pratiques que dans les vergers Bio <b>Systèmes peu économes en intrants :</b> lien avec les pratiques (micro-jet, Fertilisation sur le rang et désherbage mécanique).
4 : Bio	N organique Fertilisation sur le rang Irrigation micro-jet Désherbage mécanique	Réduction des IFT chimiques supérieures à 70 % Réduction de la quantité d'azote minérale utilisée	/	<b>Système Bio :</b> pratiques utilisées généralement en AB : Fertilisation sur le rang, Irrigation micro-jet, Désherbage mécanique.

- [Distinction des systèmes par leurs performances](#)

Une typologie des systèmes selon leurs performances a été réalisée à partir d'une ACM. 30 % de l'inertie est expliquée par les deux premiers axes (ANNEXE 8-2). Cette ACM n'apporte pas d'informations intéressantes (Tableau 25 ANNEXE 8-2).

- [Distinction des systèmes par leurs pratiques culturales et leurs performances](#)

- [Description du lien entre les indicateurs](#)

Le graphique des corrélations montre les relations linéaires existantes entre les variables deux à deux (figure 16). L'IFT vert est corrélé négativement à l'IFT chimique : les sites utilisant beaucoup de produits phytosanitaires n'utilisent pas ou peu de produits de biocontrôle, et inversement. Les produits de biocontrôle sont substitués aux produits de synthèse dans de nombreux sites mais à des niveaux de substitution différents.

Il existe une corrélation positive entre les indicateurs de pression phytosanitaires et des intrants avec les performances (figure 16) : rendement commercialisable, charges en fruits, % de calibre A et plus, les heures de travail, le produit brut et les charges opérationnelles. Les systèmes les plus intensifs mais exerçant une forte pression environnementale, obtiennent les meilleures performances. Au contraire les IFT verts sont corrélés négativement aux performances agronomiques et techniques. Nous pouvons voir que les pertes ne sont pas ou très peu corrélées aux autres indicateurs.

Une ACP permet de décrire le lien entre les variables de performances en utilisant seulement les variables quantitatives exprimées en indice du système de référence. Les deux premiers axes expliquent 52 % de l'inertie du système (figure 17 ; ANNEXE 8-3).

Le premier axe décrit les liens entre les pratiques de fertilisations et phytosanitaires avec les performances. Les sites utilisant plus d'azote minéral et de produits phytosanitaires ont de meilleurs rendements, ainsi qu'une qualité commerciale améliorée. Le nombre d'heures et les charges sont liés au rendement et évoluent proportionnellement. Ces variables décrivent principalement les systèmes Eco et les ScEP 2. La quantité de P2O5 et la qualité organoleptique décrivent l'autre partie de l'axe, mais ont un faible pouvoir explicatif sur cet axe.

Le deuxième axe décrit les autres indicateurs de pratiques. Les systèmes Eco et Bio, ainsi que les ScEP ne se distinguent pas sur cet axe.

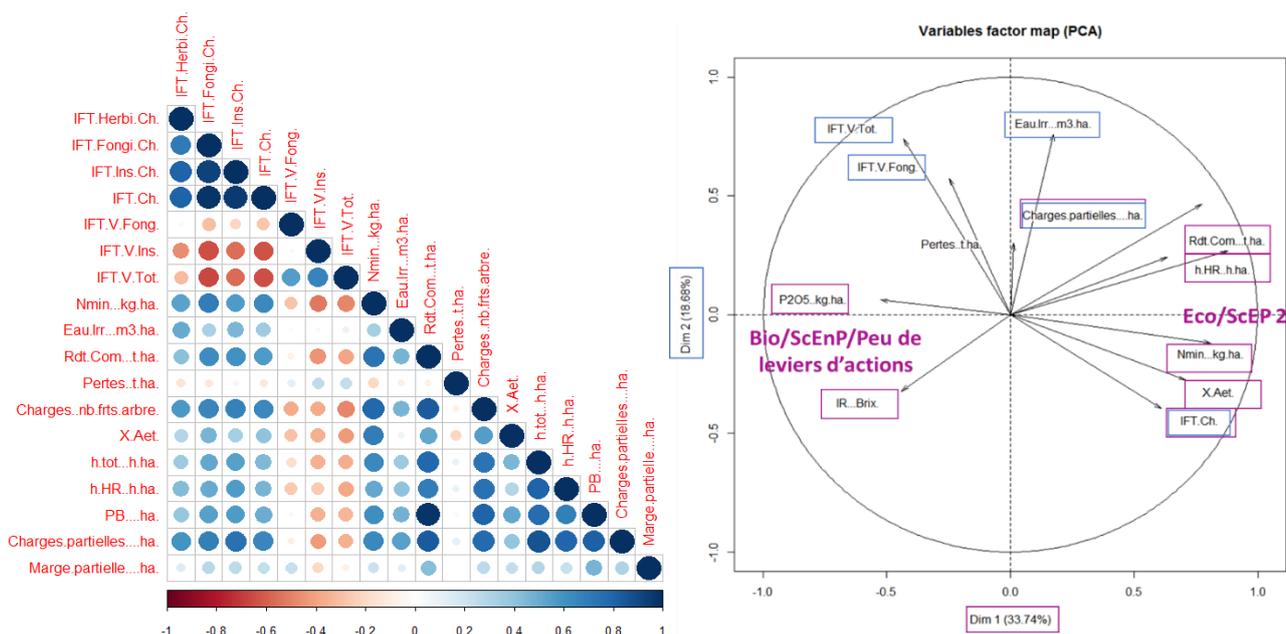


Figure 16 Graphique des corrélations linéaires entre deux variables (augmentation de la taille du cercle avec la corrélation / la couleur indique le sens de la corrélation) (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016).

Figure 17 ACP des indicateurs de performances et de pratiques (les variables illustratives sont notées en plus sur l'axe 1) (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

➤ Description des Systèmes de culture au travers de leurs performances et de leurs pratiques

En plus de l'analyse ACP, une ACM nous permet de traiter plus d'informations grâce à l'ajout de données qualitatives. Les deux premiers axes de l'ACM expliquent 30 % de l'inertie du système (ANNEXE 8-4). Cette ACM intègre plus de variables de performances, ainsi que les variables expliquant certaines pratiques (type de fertilisation, forme d'azote utilisée, gestion des adventices, irrigation ...).

Il en ressort que les systèmes Eco ScEP 1 utilisent très peu de produits phytosanitaires mais ne diminuent pas ou peu les quantités d'intrants eau et azote (Tableau 26 ANNEXE 8-4). Ces systèmes utilisent en général une irrigation au micro-jet, fertilisent sur le rang et gèrent les adventices par désherbage mécanique. De plus, les ScEP 1 se caractérisent également pas une bonne maîtrise du temps de travail.

Les systèmes Eco ScEP 2 sont également économes en intrants. Ces systèmes ont également des rendements stables allant au minimum jusqu'à 35 % du rendement de référence.

Les systèmes Bio se départagent par leurs pratiques et par la diminution en quantité et en qualité (% calibre A), mais ne se départagent pas vis-à-vis du classement ScEP.

Ces résultats sont descriptifs et apportent des premières conclusions qu'il sera intéressant de suivre et de revoir avec les résultats des années suivantes.

### III.2.2. Discussion

#### III.2.2.1. Synthèse générale de l'analyse multisite

Tableau 16 Synthèse du classement des systèmes Econome et Performants (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016).

Dispositif	Systèmes N	2013	2014	2015	2016
1 INRA Avignon 1	Eco			ScEnP	ScEP 2
1 INRA Avignon 1	Eco			ScEnP	ScEP 1
1 INRA Avignon 2	Eco				ScEnP
2 INRA Gotheron	Eco	ScEnP	ScEP 2	ScEP 2	
2 INRA Gotheron	Bio	ScEnP	ScEnP	ScEP 1	
3 INRA Bord.-Bourran	Eco			ScEnP	
4 CTIFL	Eco			ScEP 2	
4 CTIFL	Bio			ScEnP	
5 SEFRA	Eco		ScEP 1	ScEP 1	
5 SEFRA	Bio		ScEP 1	ScEP 1	
6 SERFEL 1 Bas intrants	Eco	ScEP 2	ScEP 2	ScEP 2	
6 SERFEL 1 Bas intrants	Bio	ScEP 1	ScEP 1	ScEnP	
6 SERFEL 2 EcoInnovant	Eco			ScEP 2	
6 SERFEL 3 EcoDirect	Eco	ScEP 1	ScEP 1	ScEnP	
6 SERFEL 3 EcoDirect	Eco	ScEP 1	ScEP 1		
7 Sica CENTREX	Eco			ScEnP	
7 Sica CENTREX	Eco			ScEnP	

Plus d'un système sur trois étudié dans Ecopêche peut être considéré comme Econome et Performants. Cela constitue un résultat vraiment intéressant à diffuser aux acteurs de la filière. Il faut cependant nuancer ce constat : 27 % des ScEP 1 ont une marge partielle supérieure au système de référence. Les ScEP 1 identifiés sont donc viables mais ne sont pas (encore ?) plus performants économiquement que les systèmes de référence.

Les ScEP 1 utilisent en moyenne les mêmes quantités d'eau que les systèmes de référence. En effet, les pratiques d'irrigation et de fertilisation de ces systèmes sont similaires au système de référence (micro-jet et épandage). La gestion des adventices s'effectue par contre par un enherbement total du rang ou par un désherbage mécanique. Les systèmes Bio obtiennent des résultats de marge positive grâce à une bonne valorisation des fruits (prix supérieur au prix de référence).

Les ScEP 2 se démarquent par une réduction des intrants. Il semble que ces systèmes suivent une trajectoire assez stable entre les années grâce à des rendements proches des systèmes de référence. De plus, les jeunes vergers en ScEP 2 semblent entrer en production plus rapidement. Une partie de ces systèmes ont un paillage sur le rang et utilisent du goutte à goutte enterré permettant un pilotage précis de l'irrigation et une fertilisation par fertigation réduisant les quantités d'intrants apportées au verger.

Nous pouvons nous demander s'il est possible d'obtenir des systèmes doublement économes i) en produits phytosanitaires et en intrants et ii) performants économiquement ? Cette première analyse ne nous a pas permis de mettre en avant ce type de système. En effet, cette analyse a été effectuée à partir de données constituées à 40 % de systèmes âgés de trois ans et n'étant pas encore performants économiquement. Ainsi les données de 2016 sur les vergers en deuxième année de production pourront peut-être apporter des éléments de réponse sur ce point.

De plus, la réduction des intrants observés dans certains systèmes pourrait être liée à un effet site. Les sites n'utilisent pas les mêmes leviers d'actions et peuvent avoir des objectifs différenciés :

- Certains sites ont favorisé le développement des jeunes arbres afin d'obtenir des systèmes entrant rapidement en production et ont donc choisi de ne pas ou de peu diminuer les quantités d'intrants comme l'eau et l'azote.
- Tandis que d'autres sites ont utilisé dès la plantation les différents leviers d'actions afin de réduire les IFT en jouant sur la diminution des intrants (exemple du site d'Avignon présenté précédemment diminuant les intrants pour réduire les pertes dues au monilia).

### *III.2.2.2. Retour sur l'analyse des jeunes vergers et perspectives*

Beaucoup de systèmes innovants en 3<sup>ème</sup> feuille ont réduit leurs IFT de plus de 50 %. La réduction importante du rendement observée dans ces systèmes pourrait être liée à une diminution de la vigueur des arbres, elle-même due à la baisse des intrants ou à des attaques de bioagresseurs. La diminution de la vigueur impacte négativement la charge des arbres en fruits mais également le calibre des fruits (Gendrier et *al.*, 1999).

Une synthèse récente sur les vergers Bas Intrants en pêcher indique qu'une réduction trop précoce des intrants serait en partie défavorable les premières années. Les arbres seraient affaiblis et alors plus sensibles aux attaques de bioagresseurs (Réussir Fruits et Légumes, 2014 ; Mercier et *al.*, 2016). La vigueur peut également être impactée mais sans « entamer les performances futures » des vergers du fait d'une « capacité importante de récupération de la vigueur suite à des incidents type restriction en eau et attaque parasitaire » remarquée sur les vergers Bas Intrants (Mercier et *al.*, 2016 Réussir Fruits et Légumes, 2014). En 2016, une partie importante des vergers d'Ecopêche sont dans leur deuxième année de production (4<sup>ème</sup> feuille). Il sera intéressant de comparer les performances obtenues entre les deux premières années (2015/2016) au regard de ces conclusions.

Les résultats de marges sont améliorés sur la moitié de ces jeunes systèmes, constituant un résultat intéressant pour la filière. Il faut relativiser ce résultat au regard du nombre de jeune verger ayant une marge négative en valeur absolue, soit appartenant à la catégorie ScEnP. Ceci met en avant la possibilité d'avoir de jeunes vergers économes en intrants et en produits phytosanitaires présentant une meilleure performance que les vergers de référence, et ce dès la première année de production.

Il aurait été intéressant d'évaluer les jeunes vergers en production en lien avec les pratiques des deux premières années. En l'absence de production de fruits, les critères mobilisables pour effectuer cette analyse des jeunes vergers sont peu nombreux : la vigueur de l'arbre mesurée par la section de tronc, les indicateurs de pressions phytosanitaires mesurés par les IFT, les indicateurs de pression des intrants eau et azote, et les coûts associés à l'entretien de ces vergers. Cependant, la base de données actuelle n'est pas complètement renseignée ce qui réduit la pertinence des analyses réalisées. De plus, l'aspect « formation de l'arbre » est un point essentiel pour la réussite des vergers mais il est difficile de définir un indicateur simple et robuste pour pouvoir prendre en compte ce critère.

### *III.2.2.2. Proposition d'introduction de nouveaux indicateurs*

Les indicateurs environnementaux utilisés expriment la pression de l'utilisation des intrants. Il serait intéressant de pouvoir ajouter des indicateurs décrivant la qualité du sol. La finalité de l'essai étant de diffuser les résultats aux producteurs. L'intégration d'indicateurs de qualité du sol favoriserait la prise en compte de cet aspect par les producteurs.

Le projet SolAB (2009-2011) propose 4 outils simplifiés d'évaluation de la fertilité des sols. Le test vers de terre est pertinent pour comparer différentes modalités sur un même site. Le test Beer

Kan présente une bonne corrélation entre l'infiltrométrie et le tassement du sol (Fourrié et *al.*, 2013). Ces indicateurs décriraient un objectif secondaire « améliorer la qualité des sols », sachant que le choix des mesures résulte d'un compromis entre les moyens disponibles et l'objectif final (Deytieux et *al.*, 2012). Les indicateurs proposés sont faciles à mettre en place et à mesurer par les expérimentateurs.

En relation avec les indicateurs de la qualité du sol, des indicateurs de biodiversité (dans le sol et dans l'environnement extérieur) pourraient être intéressants à intégrer dans la suite du projet Ecopêche. Les études concernant l'impact des pratiques en arboriculture fruitière sur la biodiversité sont peu nombreuses et offrent des résultats contradictoires selon les communautés étudiées (Sauphanor et *al.*, 2009a). En verger de pêcher, il semble qu'il existe une plus grande diversité d'auxiliaire en AB, comparativement aux autres modes de production (Pevern et *al.*, 2008). Il serait intéressant de comparer ces résultats avec des résultats obtenus dans les systèmes de référence, Eco et Bio sur des jeunes vergers et des vergers en production. Certains expérimentateurs d'Ecopêche effectuent des suivis de communautés d'araignées mais les données ne sont pas exploitées pour le moment.

Le projet IndRegArb : Indicateurs biologiques d'impacts liés à la régulation naturelle des ravageurs en arboriculture fruitière (2013-2015) va dans ce sens en développant des outils faciles d'utilisation qui permettent de suivre les impacts biologiques des traitements phytosanitaires à l'aide de mesures « du parasitisme et de la prédation sur des ravageurs et des variations de certains groupes de la faune auxiliaire, estimées en utilisant plusieurs de leurs traits fonctionnels faciles à qualifier » (INRA/PSH/projet PSE, 2014).

## IV. Critique de la méthode

L'évaluation des systèmes de culture pérenne doit être réalisée sur des durées de temps longues (dizaine d'années) pour intégrer la période d'installation du verger et dans l'idée, au minimum 5 à 6 années de pleine production (Simon et *al.*, 2012 ; Plénet et Simon, 2015). Cette durée est aussi le seul moyen de prendre en compte la variabilité due aux années climatiques et certains processus cumulatifs comme l'évolution de la fertilité du sol ou des populations de ravageurs et d'auxiliaires présents dans le verger. L'étude sur les vergers entrant en production apporte donc des lignes directrices sur une méthodologie qui pourra être appliquée sur les vergers plus âgés, sachant que le projet Ecopêche se termine en 2018 et/ou pourra peut-être reconduit sur 5 ans.

### IV.1. Les incertitudes et approximations liées aux indicateurs choisis

#### IV.1.1 IFT de référence : indicateur central des essais systèmes économes en produits phytosanitaires

Les résultats de performances sont obtenus en comparant les données des systèmes Economes ou Bio au système de référence, notamment l'IFT qui constitue une variable centrale dans les résultats de ce rapport. Dans quelle mesure le système de référence se rapproche-t-il alors des pratiques des producteurs ? Est-ce que les performances des systèmes économes sont « bonnes » parce que le système de référence ne l'est pas ?

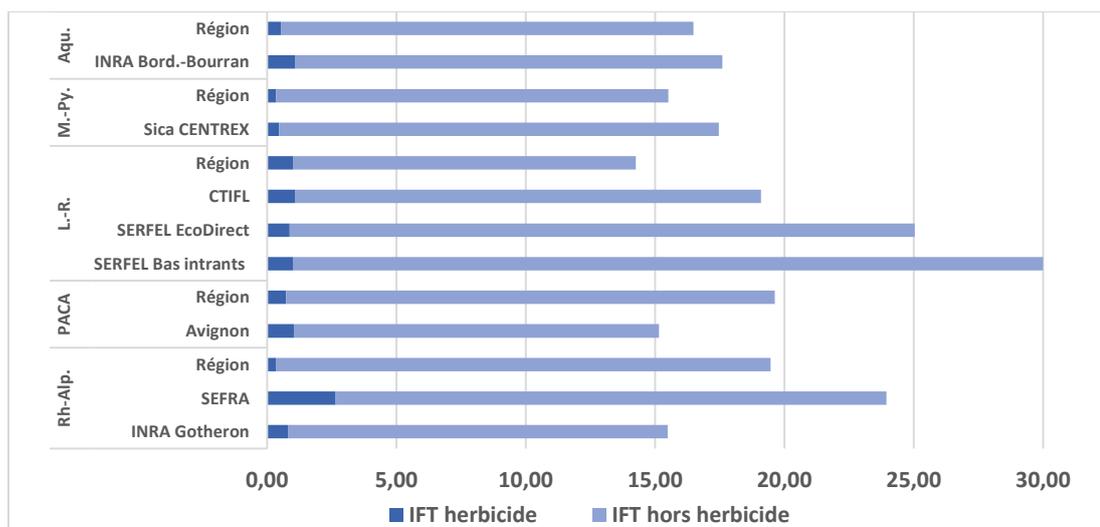


Figure 18 Comparaison IFT moyen par sites avec l'IFT régional (70ème percentile) (d'après Agreste, 2012)

L'IFT de référence se positionne près de l'IFT régional (figure 18) dans la plupart des sites. A dire d'experts, l'IFT moyen en pêche se situe autour de 25-30 pour les producteurs ayant des surfaces importantes en verger, chiffre largement supérieur au résultat des enquêtes SCEES, mais comparable aux pratiques de la SERFEL. La base EFI© pêche (base de données technico-économiques, Plénet et *al.*, 2009) pourrait également fournir des références. Alors quelle référence choisir si nous souhaitons utiliser une autre référence pour comparer les systèmes innovants ?

L'approche système peut se passer en théorie de référence puisque l'évaluation des performances peut s'effectuer par rapport à des objectifs visés définissant des seuils de résultats attendus. Ces résultats sont fixés au préalable (rendement visé, objectifs de marges) et peuvent être relativisés au regard de résultats obtenus sur un système de référence (Deytieux et *al.*, 2012). N'ayant pas ou peu de références sur les jeunes systèmes et sur le potentiel des différentes variétés présentes dans le projet Ecopêche ainsi que sur les effets prévisibles de fortes réductions d'usages de pesticides

en pêche-nectarine, il est difficile de fixer des objectifs chiffrés pour les systèmes innovants. L'évaluation à l'heure actuelle nécessite donc l'utilisation des systèmes de référence présents sur les sites. Une approche évaluant les systèmes à partir d'autres références économiques (utilisation de la base de données EFI© pêche) pourra être utilisée de manière complémentaire dans la suite du projet sur les vergers ayant atteint leur optimum de production (à partir de la 5<sup>ème</sup> feuille), soit en 2017 pour la plupart des systèmes.

#### IV.1.2 Choix de la standardisation des prix

Afin de pouvoir comparer les sites sur une même base, un prix par calibre a été fixé afin d'enlever l'effet de la date de récolte (pêche précoce vs pêche tardive), de l'état du marché et des conditions pédoclimatiques (attrait du consommateur pour les fruits de saison). Cette méthode est comparable à celle utilisée dans les réseaux DEPHY : le prix est fixé et ne tient pas compte de la stratégie d'équipement des exploitations et de la stratégie de commercialisation spécifique (vente directe,...) (Synthèse des résultats du Réseau DEPHY FERME, 2014).

Les prix varient énormément d'une année à l'autre et sur la saison : de 1€/kg à 1,60€/kg de fruits suivant la date de récolte, le type de fruit et le lieu de vente (RNM, 2015). Dans le projet Ecopêche, les groupes de précocité sont différents et les dates de récoltes s'échelonnent de début juillet à fin-août. En fixant un prix, les systèmes ayant des pêches de saison sont alors légèrement défavorisés (diminution du prix de vente bord verger) au contraire des systèmes ayant des pêches tardives (amélioration du prix).

Le choix du prix n'a pas d'impact pour les indicateurs exprimés en pourcentage ou en indice du système de référence. Mais cela a pu jouer sur les indicateurs utilisés en valeur absolue comme la marge partielle ou les ratios d'efficience coûts de production par kg de fruits.

#### IV.1.3 Biais liés aux indicateurs de pressions des intrants

Dans les différentes analyses, la quantité d'azote a été utilisée comme indicateur de la pression des intrants sur l'environnement. Les systèmes en Bio se caractérisent par l'utilisation d'azote organique. Ces systèmes sont alors considérés comme très performants du point de vue de l'utilisation de l'azote car la performance a été fixée par rapport au système de référence, n'utilisant que de l'azote minérale. Une solution serait alors de calculer l'azote biodisponible pour chaque système, à l'aide des références du COMIFER pour chaque type de produits organiques utilisés.

#### IV.1.4 Biais du à l'utilisation de marge partielle

Les analyses ont été effectuées à partir d'un coût opérationnel et d'une marge partielle. Hors certains systèmes pourraient se démarquer par des coûts de mécanisation beaucoup plus importants liés aux pratiques de désherbage mécanique ou de tonte sur le rang.

De plus les coûts des amortissements ne sont également pas encore comptabilisés pouvant jouer de manière importante dans la valeur de la marge finale. Cela pourrait se voir d'autant plus dans le cas des systèmes plantés à haute densité et/ou avec un système de goutte à goutte enterré.

Les premières conclusions pourraient être complètement modifiées par le calcul de la marge directe (incluant les amortissements et les charges de mécanisation)

## IV.2. Méthodologie d'analyse utilisée et perspectives pour la suite du projet

### IV.2.1. Choix du format et de la représentation des données

Le tableau 27 en ANNEXE 9 résume une méthode de choix du format des données (en valeur absolue, en indice ou pourcentage du système de référence, en ratio d'efficacité) pour une analyse monosite ou multisite en fonction des objectifs de l'analyse et de la représentation souhaitée. Suivant la méthode utilisée, les conclusions peuvent être complètement différentes. Il est intéressant d'utiliser les indicateurs en indice ou en pourcentage du système de référence afin de contrôler l'effet année, site et âge. Cela ne peut se passer de l'étude des indicateurs en valeur absolue. Un système plus performant que le système de référence peut avoir une marge très négative : ce système n'est donc pas viable. Les indicateurs en ratio doivent être utilisés avec attention : les différences observées entre les systèmes peuvent être dues à un accroissement du rendement et non à une diminution des IFT et intrants.

### IV.2.2. Méthode de classification en ScEP

La classification en ScEP est tirée de la méthodologie proposée par le réseau DEPHY FERME (synthèse des résultats du Réseau DEPHY FERME, 2014). La classification des systèmes Ecopêche en ScEP a été effectuée avec des valeurs absolues de marge partielle dans l'analyse car une part importante des systèmes (jeunes vergers notamment) a obtenu des valeurs de marges négatives, ne permettant pas la transformation des données en indice.

Dans les années à venir, la classification en ScEP pourrait s'effectuer à partir des données en indice ou en % du système de référence, se rapprochant alors de la méthode utilisée dans le réseau DEPHY (Synthèse des résultats du Réseau DEPHY FERME, 2014). Cette méthode permettrait de mieux visualiser les systèmes plus performants que les systèmes de référence. Les sites obtenant des marges négatives seront classés directement comme non performants.

De plus, il sera intéressant de visualiser la trajectoire suivie par chaque système dans les axes décrivant les ScEP (IFT\*Résultats Economiques). Est-ce que les performances des systèmes se stabilisent ? Comment expliquer les évolutions entre les années ?

### IV.2.3. Utilisation des analyses factorielles

L'ACM est un outil intéressant et permet de classer les sites en fonction de leurs pratiques et de leurs performances. Les résultats obtenus sur les données actuelles n'ont pas permis d'identifier de manière très pertinente des groupes de pratiques expliquant les performances des ScEP. Ces analyses donnent cependant des tendances globales entre les pratiques et les performances, qu'il sera intéressant d'affiner avec les résultats futurs, notamment en utilisant les systèmes de 5 ans et plus dans l'analyse (optimum de production atteint ; Guihéneuf, 1998 ; Hilaire et Giaouque, 2003) ou en enlevant de l'analyse les systèmes en première année de production.

Les pratiques ont été décrites de manière simple en distinguant les systèmes par leur gestion des adventices, leur méthode d'irrigation et de fertilisation. Les leviers d'actions (le nombre et le type de levier d'actions par verger) n'ont pas été utilisés comme variable pouvant décrire les systèmes. Il semble pertinent d'ajouter des variables décrivant l'intensité d'utilisation des leviers d'action sur chaque système dans les prochaines analyses.

## Conclusion

Après trois années d'expérimentations, les systèmes du projet Ecopêche sont encore jeunes et n'ont pas atteint leur optimum de production. La période juvénile a principalement permis d'affiner les règles de décision sur chacun des systèmes. Ainsi l'année 2015 a constitué la première année de production pour la plupart des systèmes âgés de trois ans.

Le second objectif d'Ecopêche est le transfert des connaissances acquises grâce aux expérimentations systèmes. Les résultats sont encore récents dû à la jeunesse des vergers mais un premier bilan peut être effectué pour être diffusé voir transféré aux acteurs de la filière.

La méthodologie d'analyse nécessitera d'être réadaptée à l'âge des vergers. L'analyse multisite permet de distinguer des grandes tendances en terme d'évolution des performances sur les systèmes innovants et de mettre en avant des classes de pratiques associées à certaines performances. L'analyse monosite permet de rentrer dans les détails de la conception des systèmes et de comprendre finement les relations entre les performances et l'état général du verger

Le suivi spécifique de l'essai système de l'INRA d'Avignon a mis en avant l'importance de l'utilisation des leviers alternatifs dans la gestion des bioagresseurs. La combinaison de l'irrigation au goutte à goutte, du paillage et de la réduction des quantités d'eau apportées au verger a réduit significativement les pertes. L'analyse met également en avant l'importance du choix de la structure initiale et de la forme fruitière du verger. Le système Econome planté à haute densité et selon une forme fruitière simple à gérer présente pour l'instant les meilleurs résultats.

L'objectif principal de réduction des produits phytosanitaires est atteint sur tous les sites. Cependant certains sites n'atteignent pas la barre symbolique des 50 % d'IFT comme défini dans le plan Ecophyto. Pourtant ces sites semblent présenter des résultats de performances intéressants à l'heure actuelle : des résultats économiques stables et positifs sur plusieurs années d'essai et une réduction des intrants grâce à l'irrigation au goutte à goutte et à la fertigation.

Il est plus difficile de conclure sur les systèmes réduisant de plus de 50 % les traitements phytosanitaires, une part importante de ces systèmes rentrait en production en 2015. Il peut cependant être noté que la trajectoire des systèmes réduisant fortement les IFT semble peu stable d'une année à l'autre (marge positive ou négative suivant les années). Les systèmes en AB ont des rendements inférieurs. La bonne valorisation économique associée à ce type de production permet à une partie de ces systèmes d'être économiquement performants.

Concernant les jeunes vergers, les résultats sont positifs et montre qu'il est possible d'avoir de jeunes vergers économes en intrants et en phytosanitaires présentant une meilleure performance que les vergers de référence, et ce dès la première année de production. Ce résultat sera à affiner avec les données de 2016 permettant de présenter la trajectoire en termes de marges de tous les nouveaux systèmes innovants sur deux années.

Dans la suite du projet, Il serait intéressant de voir si le dispositif Ecopêche pourrait évoluer vers l'évaluation de services ou d'aspects agro-écologiques. Les systèmes seraient alors évalués en fonction de leurs services globaux à travers des variables indicatrices de services ou de fonctions écosystémiques (séquestration du carbone, biodiversité, fertilité des sols,...) et non seulement en terme de production.

## Bibliographie

### Articles

- Belluau E., Lemaire A., 1984. Evaluation of nine years experimenting on high-density peach orchard in south east of France. In III International Symposium on Research and Development on Orchard and Plantation Systems 160. pp. 327-340.
- Bertschinger L., Mouron P., Dolega E., Höhn H., Holliger E., Husstein A., Schmid A., Siegfried W., Widmer A., Zürcher M., Weibel F., 2004. Ecological apple production: a comparison of organic and integrated apple-growing. *Acta Hort* 638 : 321–332
- Blanc, P., Arregui, M., Belluau, E., 2003. Les formes de conduite du pêcher : 15 ans d'expérimentation à la SERFEL. SERFEL, Saint Gilles, France.
- Boland A-M., Mitchell D.P, Jerie P., Goodwin I., 1993. The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth peach. *Journal of Horticultural Science* 68 : 261-274.
- Bussi C., Huguet J.G., Besset J., Girard T., 1999. Irrigation scheduling of an early maturing peach cultivar using tensiometers and diurnal changes in stem diameter. *Fruits* 54(1) : 57-66.
- Bussi C., Plenet D., Merlin F., Guillermin A., Mercie V., 2015. Limiting brown rot incidence in peach with tree training and pruning. *Fruits*, 70(5) : 303-309.
- Capillon A., Fleury A., 1986. Conception d'itinéraires techniques respectant la diversité des exploitations agricoles: les enseignements d'un essai. *Bulletin technique d'information, Ministère de l'agriculture*, 408 : 281-294.
- Daane K., Johnson R., Michailides T., Crisosto C., Dlott J., Ramirez H., Morgan D., 1995. Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects. *California Agriculture* 49(4) : 13-18.
- Day K.R., 1997. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. *HortScience* 32(5).
- DeJong T.M., Tsuji W., Doyle J.F., Grossman Y.L., 1999. Comparative economic efficiency of four peach production systems in California. *HortScience* 34(1), 73-78.
- Deliere I., Cartolaro P., Naud O., Leger B., Goutouly J.P., Davidou I., Brosse E., Guisset M., 2008. Conception et évaluation de Mildium, un processus opérationnel de décision pour la gestion fongicide coordonnée à apport réduit, *Phytoma* 621 : 20-24.
- Deytieux V., Vivier C., Minette S., Nolot J.-M., Piaud S., Schaub A., Lande N., Petit M.-S., Réau R., Fourrié L., Fontaine L., 2012. Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle, *Innovations Agronomiques* 20 : 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. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 41 : 97-104.
- Fourrié, L., Peigné, J., Védie, H., Garcin, A., & Goma Fortin, N. (2013). SolAB: Limiter le travail du sol et évaluer la fertilité des sols en agriculture biologique. *Innovations Agronomiques* 30 : 125-138.
- Génard M., 1992. Influence du nombre de feuilles et de la répartition des fruits sur la production et la qualité des pêches. *Canadian Journal of Plant Science* 72 : 517-525.
- Génard M., Lescourret F., Gomez L., Habib, R., 2003. Changes in fruit sugar concentrations in response to assimilate supply, metabolism and dilution. A modeling approach applied to peach fruit (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Tree Physiology* 23 :373–385.
- Gibert C., Chadeuf J., Vercambre G., Génard M., Lescourret F., 2007. Cuticular Cracking on Nectarine Fruit Surface: Spatial Distribution and Development in Relation to Irrigation and Thinning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132 : 583-591.
- Gomez C., Warlop F., Bompeix G., 2004. Thermothérapie contre les maladies de conservation des fruits à noyaux. In : GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon, Rapport d'expérimentation 2004.
- Hill S.B., MacRae R.J., 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of sustainable agriculture* 7(1) : 81-87.

- Jiménez C.M., Díaz J.B.R., 2002. Fruit distribution and early thinning intensity influence fruit quality and productivity of peach and nectarine trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127(6) : 892-900.
- Lamine C., Bellon S., 2009. Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. *Agronomy for sustainable development* 29(1) : 97-112.
- Lauri P.-E., 2002. From tree architecture to tree training - An overview of recent concepts developed in Apple in France. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 43 : 782-788.
- Lescourret F., Génard M., 2003. A multi-level theory of competition for resources applied to fruit production. *Ecoscience* 10(3) : 334-341.
- Li S-H., Huguet J-G., Schoch G. P, Orlando P., 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. *Journal of Horticultural Science* 64 : 541-552
- Loreti, F. and Massai, R. (2002). The high density peach planting system: present status and perspectives. *Acta Hort* 592 : 377-390
- Loyce C., Wery J., 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systems de culture. In *L'agronomie aujourd'hui*, Doré T. et al. (Coord.), Editions Quae, Paris, France, 77-95.
- Lurol S., Tabaries P., Buffet N., Sobas M.A., Portal, A., 2009. Post-harvest control of Monilia: application of hot water for peaches. *Infos-Ctifl* 250 : 32-36.
- Mercier V., Bussi C., Lescourret F., Génard M., 2009. Effects of different irrigation regimes applied during the final stage of rapid growth on an early maturing peach cultivar. *Irrigation Science* 27 : 297-306.
- Mercier V., Bussi C., Greil M.-L., Ricavy I., Blanc P., Charreyron M., Montrognon Y., Guerin A., Alaphilippe A., 2016. Evaluation de systèmes de cultures arboricoles à bas niveaux d'intrants et transfert aux arboriculteurs. *Innovations Agronomiques* 49 : 49-58.
- Meynard J.-M., 2012. La reconception est en marche ! *Innovations agronomiques* 20, 143-153.2011
- Monestiez P., Habib R., Audergon J.-M., 1989. Estimation de la covariance et du covariogramme pour une fonction aléatoire à support arborescent : application à l'étude des arbres fruitiers. In: *Geostatistics* (M Armstrong, eds) Kluwer Acad Publ, 1, 39-56
- Navarrete M., Bellon S., Geniaux G., Lamine C., Penvern S., Sauterau N., Tchamitchian M., 2011. L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherches. Presented at *Ecologisation des politiques et des pratiques agricoles*, Isle sur la Sorgue, FRA (2011-03-16 - 2011-03-18).
- Navarro E., Plénet D., 2002. Taille en vert du pêcher : L'arrachage manuel précoce des pousses végétatives est-il une technique alternative ? *Réussir Fruits & Légumes* 209 : 38-41.
- Nolot J.M., Debaeke P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cahiers Agricultures* 12(6) : 387-400.
- Panine M., 1984. Le pêcher. In : *Martin-Prével P., Gagnard J., Gautier P., 1984. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*, Lavoisier, Paris, 280-295.
- Peck G.M., Adrews P.K., Reganold J.P., Fellman J.K., 2006. Apple orchard productivity and fruit quality under organic, conventional, and integrated management. *HortScience* 41(1) : 99-107
- Plénet D., Navarro E., Besset J., Blanc P., Clauzel G., De Bruyne F., Fauriel J., Hillaire C., Mathieu V., Mercier V., 2006. Pêcher : Une alternative pour la Production Fruitière Intégrée. in *MAFCOT : Connaître l'arbre pour mieux le conduire*. *Réussir Fruits & Légumes Supplément* 247 : 24-25.
- Plénet, D., Simon, S., Vercambre, G., Lescourret, F., 2010. Systèmes de culture en arboriculture fruitière et qualité des fruits. *Innovations Agronomiques* 9 : 85-105.
- Plénet D., Guillermin A., Alaphilippe A., Simon S., 2013. Démarche et expérimentation systèmes de culture en arboriculture. Partage d'expériences autour de la méthodologie de l'approche système en arboriculture, (06/11/2013) Saint Marcel lès Valence (FRA).
- Plénet D., Simon S., 2015. Une démarche de conception et d'évaluation de systèmes de culture pour des vergers plus durables, *Revue L'ingénierie écologique au service de l'aménagement du territoire* 16 : 58-63.

- Réau R., Meynard J.M., Robert D., Gitton C., 1996. Des essais factoriels aux essais "conduite de culture". in Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation. ACTA, ministère de l'Agriculture, DERF, Paris, p. 52-62.
- Ricci B., Franck P., Toubon J.-F., Bouvier J.-C., Sauphanor B., Lavigne C., 2009. The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France. *Landsc Ecol* 24 : 337–349
- Ricci P., 2010. Economiser en pesticides: contrainte ou opportunité ? . *Innovations agronomique* 8 : 1-13.
- Riley J., 2001. The indicator explosion: local needs and international challenges. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87(2) : 119-120.
- Sauphanor B., Simon S., Boisneau C., Capowiez Y., Rieux R., Bouvier J. C., Toubon J. F., 2009a. Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers. *Innovations agronomiques* 4 : 217-228.
- Simon S., Sauphanor B., Lauri P.E., 2007. Control of fruit tree pests through manipulation of tree architecture. *Pest Technology* 1 : 33-37
- Simon S., Brun L., Guinaudeau J., Sauphanor B., 2011. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for sustainable development*, 31(3) : 541-555.
- Simon S., Alaphilippe A., Brun L., Gros C., 2012. Performances agronomiques et environnementales en verger de pommiers: 8 années d'expérimentation système. In Journées Techniques Légumes & Cultures Pérennes Biologiques, (11-12-2012 / 13-12-2012) Avignon (FRA).
- Sébillotte M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In L. Combe & D. Picard : Les systèmes de culture. Editions INRA, Paris, 165-196.
- Souty M., Génard M., Reich M., Albagnac G., 1999. Effect of assimilate supply on peach fruit maturation and quality. *Canadian Journal of Plant Science* 79 : 259-268.
- Suckling D.M., Walker J.T.S., Wearing C.H., 1999. Ecological impact of three pest management systems in New Zealand apple orchards. *Agric Ecosyst Environ* 73 : 129–140.
- Végétale, 2016. Dossier fruits à noyau : Quel avenir pour la filière française ? Construire sa différenciation. *Végétale, l'écho de la planète fruits et légumes* 333 : 29-38.

#### Livre/Revue/Guide/Thèse

- Auer J., Rohrer E., 2012. Revue Suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture : Guide arbo 2012-2013. Revue Suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture. Eds. AMTRA. 44(1). 78 p.
- Aulagnier M., 1996. Elaboration de la production du pêcher, application à l'étude du potentiel qualitatif dans la Drôme, Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris – Grignon : Paris. 100 p.
- Boller E.F., Avilla J., Joerg E., Malavolta C., Wijnands F.G., Esbjerg P., 2004. Integrated Production. Principles and Technical Guidelines. 3rd Edition, 2004. IOBC/OILB Bulletin 27(2). 49 p
- Borioli P., Géa A., Hucbourg B., Libourel G., Filleron E., Poulet L., Mouiren C., Navarro E., Reynold H., Ricaud V., Rouille B., Severac G., Siegwart M., 2011. Guide de protection fruitière intégrée. Objectifs Info Arbo 2011. Chambre régionale d'agriculture de Provence-Alpes-Côte d'Azur. 68 p.
- Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides? Synthèse du rapport d'étude, INRA Editeur, Paris, France, 90 p.
- FranceAgriMer, 2015. Book 2014. Etudes économiques fruits, légumes et pommes de terre réalisées et/ou financées par FranceAgriMer, 100 p.
- Gendrier J.P., Lichou J., Baudry O., Orts R., Rondeau S., Soing P., Mandrin J.-F., 1999. Outils de pilotage. Bonnes pratiques en arboriculture fruitière. Production raisonnée, intégrée. Eds. CTIFL, 191p.
- Giaque P., Moras P., Moreau-Rio M-A., Scandella D., Kraeutler E., 1997. La pêche : consommation et itinéraire qualité. Eds. CTIFL, 96 p.
- Hilaire C., Giaque P., 2003. Le pêcher. Eds. CTIFL, 281 p.
- Laget E., Guadagnini-Palau M., Plénet D., Simon S., Assié G., Billote B., Borioli P., Bourgouin B., Fratantuono M., Guérin A., Hucbourg B., Lemarquand A., Loquet B., Mercadal M., Parveaud C-E, Ramade L., Rames M-H., Ricaud V., Rousselou C., Sagnes J.-L., Zavagli F., 2015. Guide pour la conception de systèmes de

production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques. GIS Fruits - Ministère de l'agriculture, Paris, 264 p.

- Lauri P.-E., 2014. Conception de systèmes horticoles innovants : bases biologiques, écologiques et socio-économiques. Formasciences, 256 p.
- Monet R., 1983. Le pêcher: génétique et physiologie. 129 pp.
- Navarro E., 2005. Contribution à l'amélioration des performances agronomiques en verger de pêcher. Mémoire Ingénieur DPE, AgroM, Montpellier, p. 84.
- OILB/SROP, 1993. Production intégrée. Principes et directives techniques. Bulletin OILB 16(1) : 43-66.
- Réau R., Doré, T. (Coord.), 2008. Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer, Educagri éditions, Dijon, 175 p.
- Réussir Fruits et Légumes, 2014. Supplément Verger Bas Intrants. Réussir Fruits et Légumes 234, 15 p.
- Sauphanor B., Dirwimmer C., Volay T.E., Boutin S., Chaussabel A.-L., Dupont N., Fauriel J., Gallia V., Lambert N., Navarro E., Parisi L., Plénet D., Ricaud V., Sagnes J.-L., Sauvaitre D., Simon S., Speich P., Zavagli F., 2009b. Tome IV : Analyse comparative de différents systèmes en arboriculture fruitière. in Stengel P., Lapchin L., Dedryver C.-A., Reau R. (Eds). Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Edition INRA, Paris, 68 p.
- Serrurier M., 2015. Evolution du verger espagnol de fruits à noyau. Eds. CTIFL, 43 p.
- Soing P., 2004. Fertilisation des vergers. Environnement et Qualité. Eds. CTIFL, 95p.
- SudArbo, 2014. PFI 2014, Guide la protection raisonnée et biologique en Languedoc-Roussillon. Chambre régionale d'agriculture du Languedoc-Roussillon, 43p.

#### Sites internet

- Agreste, 2012. Pratiques culturales en arboriculture. Disponible sur : <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/pratiques-culturales/pratiques-culturales-en/> [consulté le 30/08/2016].
- DGAL, 2015. Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT). Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift> [consulté le 18/04/2016].
- GIS Fruits, 2015. Base de données sur les Outils d'Aide à la Décision, en particulier pour la filière fruits. Disponible sur : <https://iris.angers.inra.fr/BDDOADFruitsnCo/verification.php> [consulté le 25 aout].
- INRA PSH, 2014. Projet PSPE (Pour et Sur le Plan Ecophyto) IndRegArb (2013-2015) : Indicateurs biologiques d'impacts liés à la régulation naturelle des ravageurs en arboriculture fruitière. Disponible sur : <https://www6.paca.inra.fr/psh/Contrats-et-Projets/Projet-PSPE> [consulté le 20/08/2016].
- Réseau des Nouvelles du Marché, 2015. La pêche et la nectarine en 2015. Disponible sur : [https://www.rnm.franceagrimer.fr/bilan/pechnect\\_rnm.pdf](https://www.rnm.franceagrimer.fr/bilan/pechnect_rnm.pdf) [consulté le 15/04/2016].

# ANNEXES

## Table des Annexes

ANNEXES.....	1
Table des Annexes.....	1
ANNEXE 1 : Pilotage de l'irrigation .....	2
1. Méthode de calcul du bilan hydrique.....	2
2. Méthode d'utilisation des tensiomètres .....	2
3. Méthode d'utilisation des dendromètres .....	2
ANNEXE 2 : Présentation des systèmes du projet Ecopêche .....	4
ANNEXE 3 : Présentation des indicateurs de pilotage, d'évaluation et de diagnostic du projet Ecopêche.....	8
ANNEXE 4 : Méthode de classification des indicateurs dans les tableaux de bord .....	11
ANNEXE 5 : Description des indicateurs cumulés depuis la plantation (essai Ecopêche, INRA Avignon).....	11
ANNEXE 6 : Tableau de bord des performances (essai Ecopêche, tous les systèmes, 4 années).....	12
ANNEXE 7 : Description des indicateurs de performances pour deux sites en production (essai Ecopêche, INRA Gotheron et SERFEL B.I., campagne 2013 à 2015) .....	13
Tableau des indicateurs en cumulés sur les campagnes 2013 à 2015 .....	13
Tableau des indicateurs en moyenne sur les campagnes 2013 à 2015 .....	13
Graphique des indicateurs en ratio sur les campagnes 2013 à 2015.....	14
ANNEXE 8 : Analyses factorielles .....	15
1. ACM des pratiques .....	15
2. ACM des performances .....	17
3. ACP des pratiques et des performances.....	19
4. ACM des pratiques et des performances .....	20
ANNEXE 9 : Tableau descriptif de la méthode d'analyse des données .....	23

## ANNEXE 1 : Pilotage de l'irrigation

### 1. Méthode de calcul du bilan hydrique

Le raisonnement des apports d'eau est basé sur le calcul du bilan hydrique à partir des informations suivantes :

$$\text{Quantité d'eau à apporter par irrigation}_j = Kc_j * ETP_j + \text{Drainage}_j - (\text{Pluie}_j + RU_{j-1})$$

- la pluviométrie (P en mm)
- l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est calculée à partir de données météorologiques comme la vitesse du vent, le rayonnement, etc. La formule la plus utilisée est celle de Penman. Grâce aux réseaux de stations météorologiques, il est maintenant possible de connaître la demande climatique journalière (ETP, exprimée en mm). Par définition, cette demande climatique correspond à celle d'un gazon bien alimenté en eau.
- un coefficient cultural (kc) qui permet de calculer les besoins réels maximaux (ETRM ou ETM = kc \* ETP) de la culture à chaque période de son cycle végétatif.
- des capacités de réserve en eau du sol définies par la réserve utile (RU, en mm). La réserve utile correspond à la fraction de la quantité d'eau comprise entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement permanent. Sur le plan pratique, cette réserve utile est généralement estimée en fonction de la texture du sol et en tenant compte de la profondeur du sol prospectée par les racines (Gautier, 1974, Peyremorte, 1980).

### 2. Méthode d'utilisation des tensiomètres

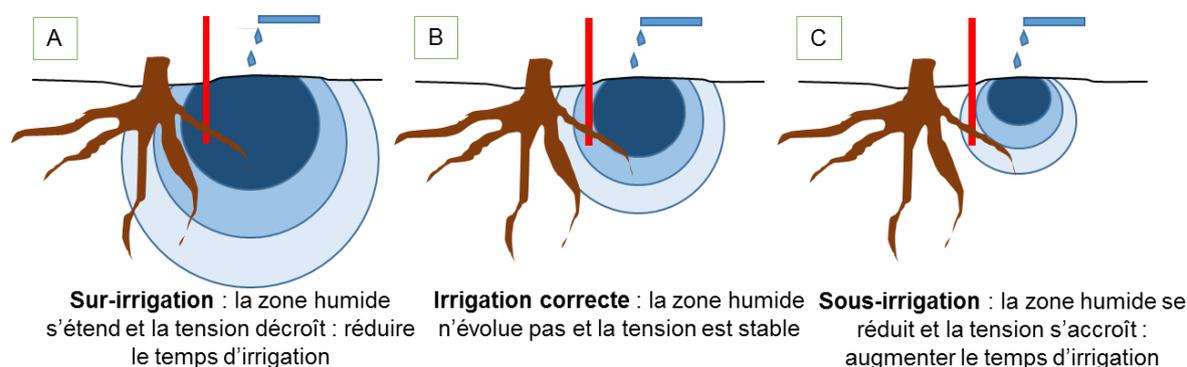


Figure 19 Conduite de l'irrigation à l'aide de tensiomètre, d'après la Société du Canal de Provence, Hilaire et Giaque, 2003

Les tensiomètres permettent de suivre l'évolution du bulbe d'irrigation (Figure 19) suivant les niveaux d'eau apportée et les conditions climatiques et d'ajuster en conséquence le temps d'irrigation. (Hilaire et Giaque, 2003, Gendrier et al., 1999, Giaque et al., 1997).

### 3. Méthode d'utilisation des dendromètres

Les dendromètres sont utilisés pour mesurer les variations micromorphométriques sur les charpentières : la mesure des variations de diamètre traduit l'équilibre qui existe entre les pertes en eau par transpiration de l'arbre et l'absorption de l'eau du sol. Lorsque l'absorption ne compense plus les pertes en eau par transpiration, il y a une perte de turgescence et un arrêt de la croissance (Bussi, 1999).

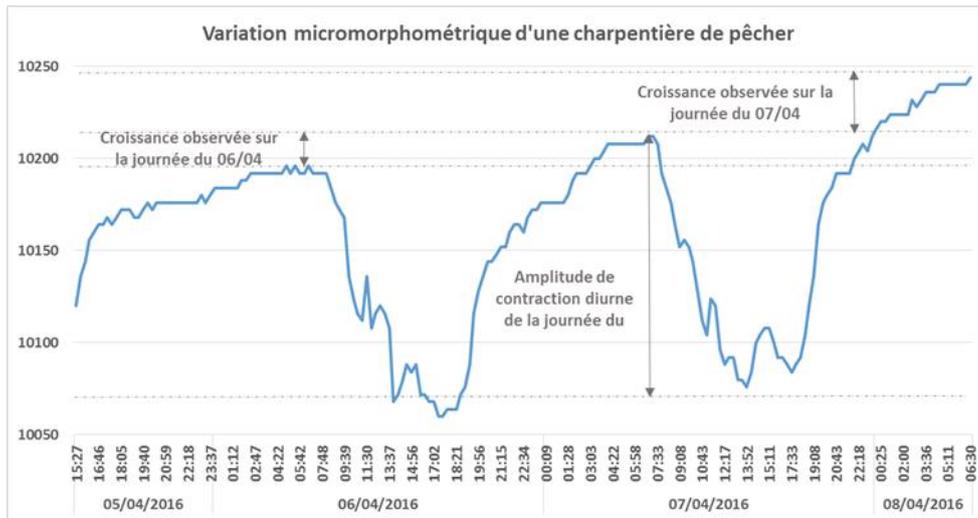


Figure 20 Conduite de l'irrigation à l'aide de dendromètre ; Gendrier et al., 1999

## ANNEXE 2 : Présentation des systèmes du projet Ecopêche

Tableau 17 Description des systèmes associés à chaque site expérimental

Sites	Dispositif	Systèmes	Variété	Type fruits	groupe précocité	année plantation	distance plantation	Densité plantation	Forme fruitière	Irrigation	Gestion_Adv	Type_Azote	Ferti.
INRA Avignon	InraAv1	REF	Nectarlove	NB	saison	2013	5 x 3.5	571	2Y	Micro-jets au sol	Désherbage Chimique	Min	Epan dage
		Eco1	Nectarlove	NB	saison	2013	5 x 3.5	571	2Y aéré	GàG enterré	Paillage	Min	Fertigation
		Eco2	Nectarlove	NB	saison	2013	5 x 2.20	909	Y oblique	GàG enterré	Paillage	Min	Fertigation
	InraA2	REF	Var. résistante	PPB	saison	2014	5 x 3.5	571	2Y	Micro-jets au sol	Désherbage Chimique	Min	Épan dage
		Eco	Var. résistante	PPB	saison	2014	5 x 3.5	571	2Y	GàG enterré	Paillage	Min	Fertigation
	INRA Gotheron		REF	Surprise	PB	saison	2011	5 x 3.75	533	gobelet	Micro-jets au sol	Désherbage Chimique	Min
Eco			Elise	PB	saison	2011	5 x 3.75	533	gobelet	GàG enterré	Couverture Végétale	Min	Fertigation
Bio			Elise	PB	saison	2011	5 x 3.75	533	gobelet	Micro-jet pendulaire	Désherbage Mécanique	Orga	Epan dage
INRA Bord.-Bourran		REF	Surprise	PB	saison	2012	6 x 3	555	gobelet	Micro-jet pendulaire	Désherbage Chimique	Min	Epan dage
		Eco	Surprise	PB	saison	2012	6 x 3	555	gobelet	GàG enterré	Couverture Végétale	Min	Fertigation
CTIFL		REF	Sweet Star	PB	tardive	2013	6 x 3.5	476	2Y	Micro-jet	Désherbage Chimique	Min	Fertigation
		Eco	Sweet Star	PB	tardive	2013	4.5 x 2.20	1010	Y oblique	Micro-jet pendulaire	Paillage	Min	Fertigation
		Bio	Sweet Star	PB	tardive	2013	4.5 x 2.20	1010	Y oblique	GàG enterré	Désherbage Mécanique	Orga	Fertigation
SEFRA		REF	Nectardream	NB	tardive	2012	6 x 3.5	476	2Y	Micro-jet	Désherbage Chimique	Min	Fertigation
		Eco	Nectardream	NB	tardive	2012	6 x 3	555	2Y	GàG enterré	Désherbage Mécanique	Min	Fertigation
		Bio	Nectardream	NB	tardive	2012	6 x 3	555	2Y	Micro-jet	Désherbage Mécanique	Orga	Epan dage
SERFEL	Serfel1	REF	Western Red	NJ	tardive	2011	6 x 3	556	2Y	Micro-jet	Désherbage Chimique	Min	Epan dage
		Eco	Western Red	NJ	tardive	2011	6 x 3	556	2Y	GàG enterré	Désherbage Mécanique	Min	Fertigation
		Bio	Western Red	NJ	tardive	2011	6 x 3	556	2Y	Micro-jet	Désherbage Mécanique	Orga	Epan dage
	Serfel2	REF	Sandine	NB	tardive	2013	6 x 3	556	2Y	Micro-jet	Désherbage Mécanique	Min	Epan dage
		Eco	Sandine	NB	tardive	2013	5 x 2.25	740	palmette	GàG enterré	Paillage	Min	Fertigation
	Serfel3	REF	Benedicte	NB	saison	2005	6 x 3	556	2Y	Micro-jet	Désherbage Chimique	Min	Epan dage
		Eco	Benedicte	NB	saison	2005	6 x 3	556	2Y	Micro-jet	Désherbage Mécanique	Min	Epan dage

Sica CENTREX	Centrex Dés herbé	REF	Orine	NJ	tardive	2013	5 x 3.5	571	gobelet	GàG suspendu	Couverture Végétale	Min	Fertigation
		Eco	Orine	NJ	tardive	2013	5 x 3.5	571	gobelet	GàG suspendu	Couverture Végétale	Min	Fertigation
	Centrex En herbé	REF	Orine	NJ	tardive	2013	5 x 3.5	571	gobelet	GàG enterré	Dés herbage Chimique	Min	Fertigation
		Eco	Orine	NJ	tardive	2013	5 x 3.5	571	gobelet	GàG enterré	Dés herbage Chimique	Min	Fertigation

Tableau 18 Description des leviers d'actions utilisés sur les systèmes d'Ecopêche ainsi que le niveau d'efficacité associé à chaque levier (note 0 : absence d'efficacité à 3 : bonne efficacité et réduction des IFT)

		Inra Avi. Nectarlove			Inra Avi. Var Resist.		Inra Gotheron			Inra Bord. Surprise		Ctifl Sweet Star			Sefra Nectardream			Serfel Western red			Serfel Sandine		Serfel Benedicte		Serfel Beryl	
		REF	Eco	Eco	REF	Eco	REF	Eco	Bio	REF	Eco	REF	Eco	Bio	REF	Eco	Bio	REF	Eco	Bio	REF	Eco	REF	Eco	REF	Eco
contrôle génétique	variété résistante / tolérante	1	1	1	2 ou 3	2 ou 3	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	pg résistant / interm / hauteur greff	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lutte physique	désherbage mécanique	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0	3	3	0	3	3	0	0	0	3	0	3
	fauche drageons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	paillage rang	0	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
	argile, talc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	glu	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lutte biotechnique	confusion sexuelle	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	piégeage massif	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lutte biologique	par conservation	1	2	2	1	2	1	2	2	0	0	1	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	micro-organismes (Bt, virus)	0	2	2	0	2	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	2
contrôle cultural par action sur la population	gestion irrigation	1	2	2	1	2	0	2	0	0	2	1	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	suppression organes contaminés	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
contrôle cultural par évitement	variétés précoces	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
contrôle cultural par atténuation	aération des arbres	1	1	2	1	1	1	2	1	0	2	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	gestion girobroyage	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	couvre sol	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	aération des fruits	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	maitrise de la vigueur	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	3	2	1	1	1	2	3	2	2	2	2	3	2	3

	Eclaircissage manuel et taille	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	égourmandage	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
efficience	réduction de dose	0	3	3	0	3	0	3	0	0	3	0	2	2	0	3	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	utilisation d'OAD (modèles)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
	raisonnement	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

### ANNEXE 3 : Présentation des indicateurs de pilotage, d'évaluation et de diagnostic du projet Ecopêche

Tableau 19 Description des indicateurs du projet Ecopêche

Catégorie	Indicateur	Type d'indicateur			Temporalité des suivis			Appréciation/Quantitatif	
		Pilotage	Evaluation	Diagnostic	Point 0	Dynamique	Annuel		Pluriannuel
Indicateurs Agronomiques	Dates de réalisation des Stades phénologiques	P		D		x		dates	
	Σ section Branche fruitière ou charpentière, section Tronc			D			x	Q	
	Nombre de Rameaux Fructifères (selon variété)	P		D			x	Q	
	Nombre de fruits / arbre	P	E	D			x	Q	
	Qualité des rameaux mixtes			D			x	Q ou A	
	Floribondité (régularité production))	P		D			x	Q ou A	
	Taux occupation espace ou volume productif			D			x	Q	
	Porosité de la frondaison			D			x	A	
	Volume haie foliaire et/ou m2 surface de feuille (LWA et/ou TRV)	P		D			x	Q	
	Croissance diamétrale des fruits	P		D		x		Q	
	Vitesses croissance pousses			D		x		Q	
	Etat visuel de la végétation	P		D		x		A	
	Poids Taille en vert, nombre gourmands supprimés			D		x		Q	
	Poids bois de taille hiver, nombre gourmands supprimés			D			x	Q	
	Analyse foliaire (stade105 j après F2) : OAD	P		D			x	Q	
	Analyse rameaux l'hiver	P		D			x	Q	
	Profil pédologique et répartition des racines			D	x			3 ans	A
	Etat structural			D	x			3 ou 5 ans	A
	Analyse physico-chimique du sol et taux de C sol (OAD)	P	E	D	x			3 ou 5 ans	Q
	N minéral du sol (NO3 + NH4 / Horizon)	P		D		x			Q
	Indicateurs état hydrique (sol et/ou plante) (OAD)	P		D		x			
	Activité biologique du sol			D					A ou Q
	Appréciation pression biotique des bioagresseurs et/ou OAD	P		D					A ou Q
% dégâts sur végétal / type bioagresseurs et mortalité	P	E	D		x	x	x	Q et A	

	<b>Couvert végétal</b>	Description type d'enherbement (rang / inter-rang)			D			x		<b>A</b>
		Composition de la flore (bandes fleuries)	P		D		x	x		<b>A ou Q</b>
		Niveau de salissement/compétition par adventices sur le rang	P		D		x			<b>A</b>
<b>Indicateurs de résultats agronomiques</b>		Rendement brut, commercial		<b>E</b>	D			x		<b>Q</b>
		Distribution calibres, catégories, ...		<b>E</b>	D			x		<b>Q</b>
		% Dommages liés aux bioagresseurs (fruits récoltés et fruits tombés)		<b>E</b>	D			x		<b>Q</b>
		Qualité des fruits à maturité		<b>E</b>	D			x		<b>Q</b>
		Conservation des fruits (% pertes post-récolte à 7 jours)		<b>E</b>	D			x		<b>A ou Q</b>
		Production d'énergie brute (MJ/ha) pour les fruits		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
<b>Indicateurs de pression d'utilisation des intrants et de performances Environnementales</b>	<b>Indic. Pression phytos</b>	IFT chimique (Total, fongicide, insecticide, herbicide, divers) hors biocontrôle		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		IFT produits de biocontrôle		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		IFT par cible (pour les principaux bioagresseurs)	P		D			x		<b>Q</b>
		IFU par cible et usage	P		D			x		<b>Q</b>
	<b>Indic. Pression intrants</b>	Quantité d'eau d'irrigation (m3/ha)		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		Quantité d'Engrais N, P, K (organique et minéral)		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		Consommation de carburant		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
	<b>Ind. Risques Environnementaux</b>	Indicateurs I-PHY Arbo (air, eau surface et profonde, Aux.)		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		Consommation d'énergie non renouvelable		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		Bilan hydrique simplifié ou sondes : périodes excès d'eau	P		D		x	x		<b>Q</b>
		Bilan : balance N P K (Engrais - Exportations)		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		Bilan N pour estimer risque lixiviation : Besoins - (FS + Engrais)		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		Gaz à Effet de Serre : GES (CO2, N2O, CH4, ...)		<b>E</b>				x		<b>Q</b>
		ETM (élément-trace métallique : Cu)		<b>E</b>			x		x fin essai	<b>Q</b>
	<b>Ind. Biodiversité fonctionnelle</b>	Description des habitats (nichoirs, haies, cultures env.)			D			x		<b>A ou Q</b>
Auxiliaires (certains taxons) : abondance, diversité		P	<b>E</b>	D	x	x	x		<b>Q ou A</b>	

		Dates d'arrivée Auxiliaires dans strates herbacées et frondaison ?	P		D		x			?
		Indicateurs biologiques : espèces indicatrices ?			D		x			?
		Indicateurs d'un niveau de régulation biologique ?			D		x			?
Indicateurs Economiques	Produits brutes	$\Sigma$ (Rendement x Prix de vente bord verger) par catégories ou prix moyen (PB)		E				x		Q
		Coûts des approvisionnements (intrants + irrigation)		E				x		Q
	Charges opérationnelles	Heures totales des principaux chantiers manuels + autres travaux	P	E	D			x		Q
		Coûts liés à la main d'œuvre des principaux chantiers (CMO)		E				x		Q
		Charges de mécanisation opérationnelle (CMeca)		E				x		Q
	Marges Brute et/ou Directe	Marge Brute : $MB = PB - (C_{\text{appro}} + CMO + CMeca)$	P	E	D			x		Q
		Ratio Coût MO / PB		E				x		Q
		Charges fixes (charges de structure : amortissement,...) voir CER		E				x		Q
		Coûts de station (si agréage sur exploitation ou voir chiffre CER)		E				x		Q
		Coûts et Amortissement de la plantation		E				x		Q
	Marge Nette Approchée : $MN = PB - CMO - CMeca - \text{Charges fixes}$		E				x		Q	
Indicateurs sociaux techniques et santé des consommateurs	Charge de travail / Pénibilité	Répartition du temps de travail (période de pointe)		E				x		Q
		Temps pour indicateurs de pilotage et contrôle		E				x		Q
	Santé	IFT : Exposition des travailleurs aux produits classés CRM		E				x		Q
		Résidus de produits phytosanitaires dans les fruits		E				x		Q
	Adoptabilité	nb de passage/ha		E				x		Q
		Accessibilité des informations pour pilotage et nbre OAD		E				x		A
		Prise de risque ?				D			x	A
Besoins en formation Agriculteur et main d'œuvre					D			x	A	

## ANNEXE 4 : Méthode de classification des indicateurs dans les tableaux de bord

Les indicateurs sont transformés en indice par rapport au système de référence noté à un indice 100. Le classement est effectué ensuite à partir de ces indices :

Tableau 20 Classements performances dans le tableau de bord

	IFT ch.	N Min.	Eau Irr.	Rdt Com.	Pertes	%A et plus	IR	h. HR. Tot.	h. tot.	PB	Charge	Marge
✓	<70	<80	<80	>100	<50	>120	>110	<75	<75	>100	<75	>100
●	<90	<90	<90	>90	<100	>90	>100	<110	<110	>90	<100	>90
⚠	<100	<100	<100	>75	<150	>75	>90	<130	<130	>75		>75
✗	>100	>100	>100	<75	>150	<75	<90	>130	>130	<75	>100	<75

## ANNEXE 5 : Description des indicateurs cumulés depuis la plantation (essai Ecopêche, INRA Avignon)

Tableau 21 Indicateurs cumulés depuis la plantation (essai Ecopêche, INRA Avignon, campagne 2013 à 2016)

	IFT ch.	U. N min.	U. P205	U. K20	Eau Irr.	Rdt Com.	Pertes	Section Tronc	%A et plus	IR	h. HR. tot	h. tot.	PB	Charges	Marge
REF	37,1	301	545	189	16 640	29,4	17,2	56,8	45,2	13,0	873	1 269	18 470	25 615	-15 145
Eco1	16,4	246	522	159	12 360	27,0	12,4	50,8	45,4	15,0	839	1 255	17 201	23 650	-14 450
Eco2	14,5	259	556	159	13 072	37,1	13,6	42,0	44,5	14,3	850	1 393	23 377	25 231	-9 854

## ANNEXE 6 : Tableau de bord des performances (essai Ecopêche, tous les systèmes, 4 années)

Tableau 22 Tableau de bord des performances (essai Ecopêche, tous les systèmes, campagne 2013 à 2016)

	IFT ch.	N Min.	Eau Irr.	Rdt Com.	Pertes	%A et plus	IR	h. tot.	h. HR. Tot.	PB	Charge	Marge partielle	Age des vergers
Ctifl.Bio	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	●	●	✗	●	✗	3
Goth.Bio	✓		●	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	
Sefra.Bio	✓	✓	●	✗	●	●	●	✓	✓	✗	✓	●	
SerfelBI.Bio	✓	✓	●	✗	●	✗	●	✓	✓	✗	✓	✗	
Goth.Bio	✓		✓	✗	✓	●	●	✓	✓	✗	✓	✗	4
Sefra.Bio	✓	✓	●	✗	●	●	●	●	✓	●	●	●	
SerfelBI.Bio	✓	✓	✗	✗	✗	✗	●	✓	✓	✗	●	✗	
Goth.Bio	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	●	✓	✗	✓	✗	5
SerfelBI.Bio	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	
Av.2.Eco	●	●	●	✓	●	●	●	●	●	✓	●	✓	3
Av.Eco1	✓	✓	✓	✗	●	●	✓	●	●	✗	●	✗	
Av.Eco2	✓	✓	✓	✗	●	●	✓	●	✓	✗	●	✗	
Bord.Eco	✓	✗	●	✗	●	✗	✓	✓	●	✗	●	✗	
Ctifl.Eco	●	✓	●	✓	●	●	●	●	●	✓	●	✓	
Goth.Eco	✓		✓	✗	✓	✓	●	✓	✓	✗	✓	●	
Sefra.Eco	✓	✓	✗	✓	●	●	●	●	●	✓	●	✓	
Serfel.Ecol	●	✗	✗	✓	●	●	✗	●	●	✓	✗	✓	
SerfelBI.Eco	✓	✓	●	✗	●	✓	●	●	●	●	●	✗	
SicaD.Eco	✓	✗	●	✗	●	●		●	●	✗	●	✗	
SicaE.Eco	✓	✗	●	●	●	●		●	●	●	●	✓	
Av.Eco1	✓	✓	●	✓	●	●	●	●	●	✓	●	✓	
Av.Eco2	✓	✓	●	✗	●	●	●	●	●	✓	✗	✓	
Goth.Eco	✓		✓	●	●	●	●	✓	✓	●	✓	✓	
Sefra.Eco	✓	✓	●	✓	●	●	●	●	●	●	●	✗	
SerfelBI.Eco	●	✓	●	●	✗	●	●	●	●	●	●	●	
Goth.Eco	✓	✗	✓	●	✗	●	✓	●	●	●	●	✗	5
SerfelBI.Eco	✓	✓	●	●	✗	●	●	✓	●	●	●	●	
SerfelB.EcoD	✓	✗	●	✓	●	●	●			✓	●	✓	10
SerfelB.EcoD	✓	✗	●	●	✗	●	●			✗	●	✗	
SerfelBr.EcoD	✓	✗	✗	✗	✗	✓	●			●	●	●	
SerfelBr.EcoD	✓	✗	✗	●	●	●	●			●	●	✗	
SerfelZ.EcoD	✓	✗	●	●	●	●	●			●	●	✗	

ANNEXE 7 : Description des indicateurs de performances pour deux sites en production (essai Ecopêche, INRA Gotheron et SERFEL B.I., campagne 2013 à 2015)

Tableau des indicateurs en cumulés sur les campagnes 2013 à 2015

Tableau 23 Description des données en cumulé sur les trois années pour deux sites en production (essai Ecopêche, , INRA Gotheron et SERFEL B.I., campagne 2013 à 2015)

		IFT ch.	U. N min.	U. P2O5	U. K2O	Eau Irr.	Rdt Com.	Pertes	h. HR. tot	h.tot.	PB	Charges
2_INRA Gotheron	REF	46,5	378	124	408	16361	65,7	10,8	646	1601	38936	27498
	Eco	31,3	350	84	278	10043	50,4	13,0	374	1088	28946	19976
	Bio	17,5	0	154	274	11737	10,7	2,9	290	544	10351	16144
6_SERFEL 1 Bas intrants	REF	90	460	165	725	20499	129,5	6,8	1610	2598	71183	43630
	Eco	62	362	89	581	18370	104,1	6,9	1314	1997	59898	38390
	Bio	16	0	200	500	20690	29,0	7,2	992	1312	27002	30556

Tableau des indicateurs en moyenne sur les campagnes 2013 à 2015

Tableau 24 Description des données en moyenne sur les trois années pour deux sites en production (essai Ecopêche, , INRA Gotheron et SERFEL B.I., campagne 2013 à 2015)

		IFT ch.	U. N min.	U. P2O5	U. K2O	Eau Irr.	Rdt Com.	Pertes	%A et plus	IR	h. HR. tot	h.tot.	PB	Charges
2_INRA Gotheron	REF	15,5	126	41	136	5454	21,9	3,0	69	9	215	534	12979	9166
	Eco	10,4	117	28	93	3348	16,8	3,0	71	10	125	363	9649	6659
	Bio	5,8	0	51	91	3912	3,6	3,0	38	10	97	181	3450	5381
6_SERFEL 1 Bas intrants	REF	30	153	55	242	6833	43,2	3,0	63	12	537	866	23728	14543
	Eco	21	121	30	194	6123	34,7	3,0	73	12	438	666	19966	12797
	Bio	5	0	67	167	6897	9,7	3,0	21	12	331	437	9001	10185

Graphique des indicateurs en ratio sur les campagnes 2013 à 2015

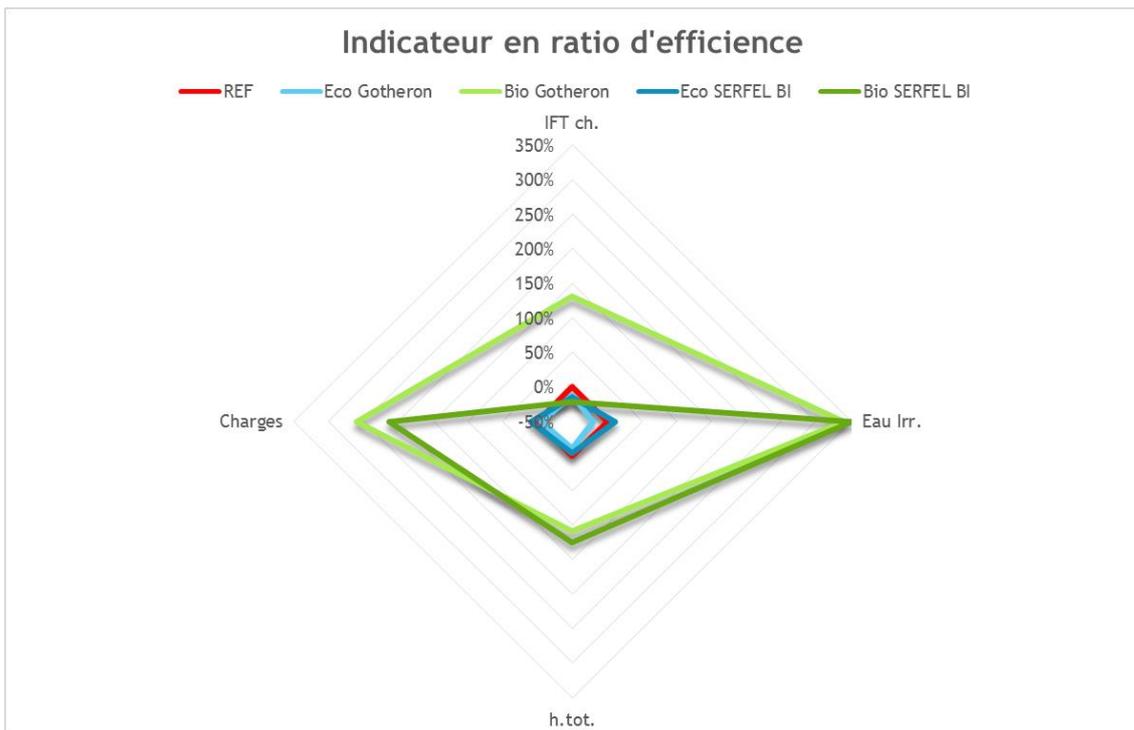


Figure 21 Description des données en ratio d'efficience sur les trois années pour deux sites en production (essai Ecopêche, INRA Gotheron et SERFEL B.I., campagne 2013 à 2015)

## ANNEXE 8 : Analyses factorielles

### 1. ACM des pratiques

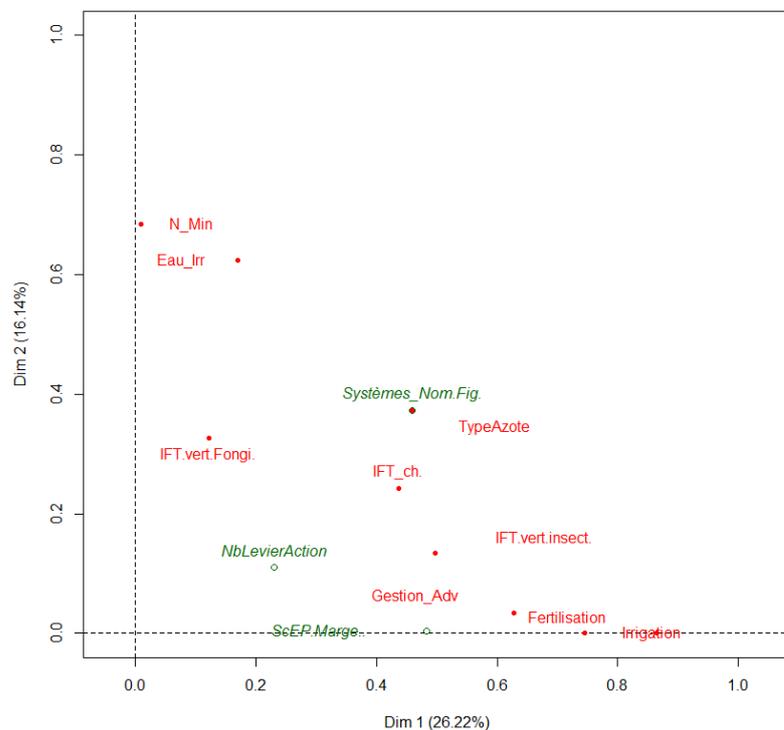


Figure 22 ACM des pratiques, répartition des variables sur les deux premiers axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

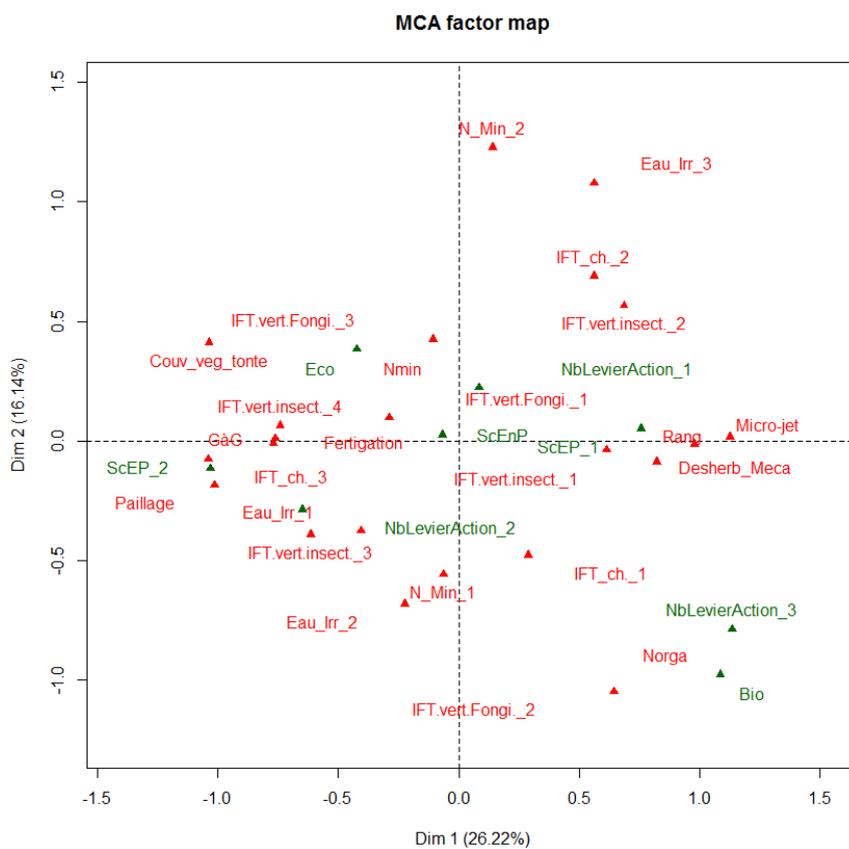


Figure 23 ACM des pratiques, répartition des modalités sur les deux premiers axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

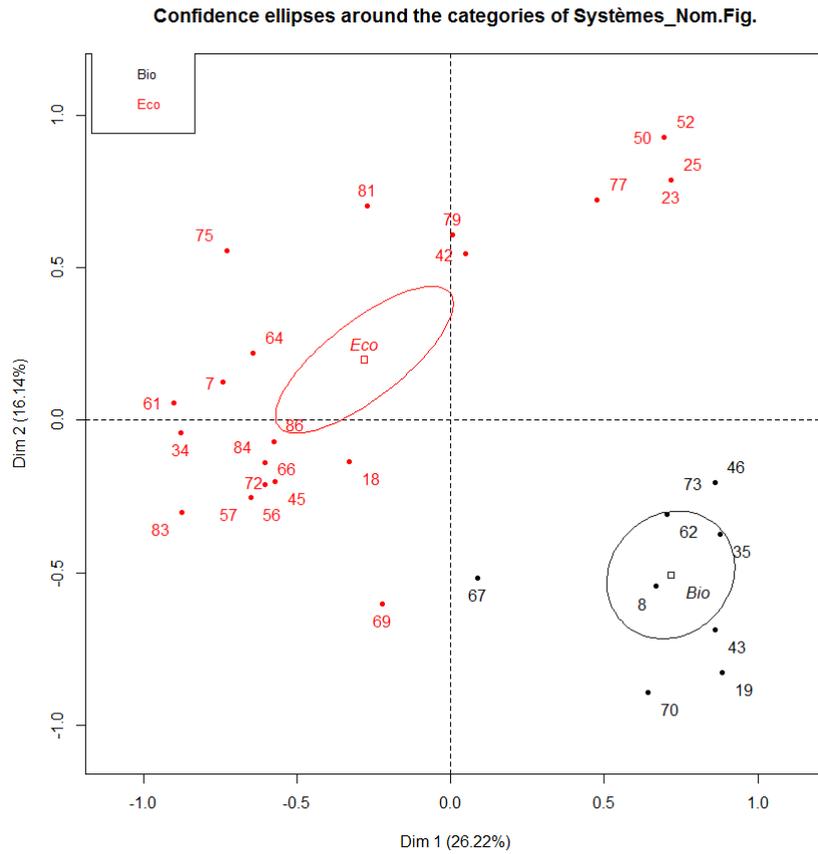


Figure 24 ACM des pratiques : ellipses de corrélation distinguant les individus Eco et Bio (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

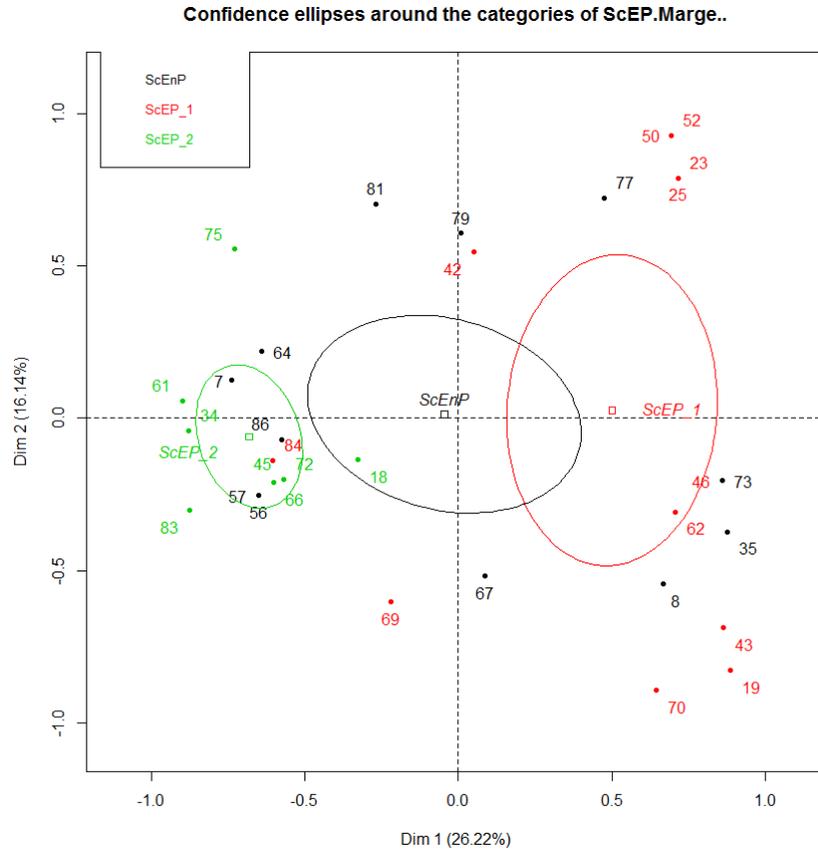


Figure 25 ACM des pratiques : ellipses de corrélation distinguant les individus ScEP (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

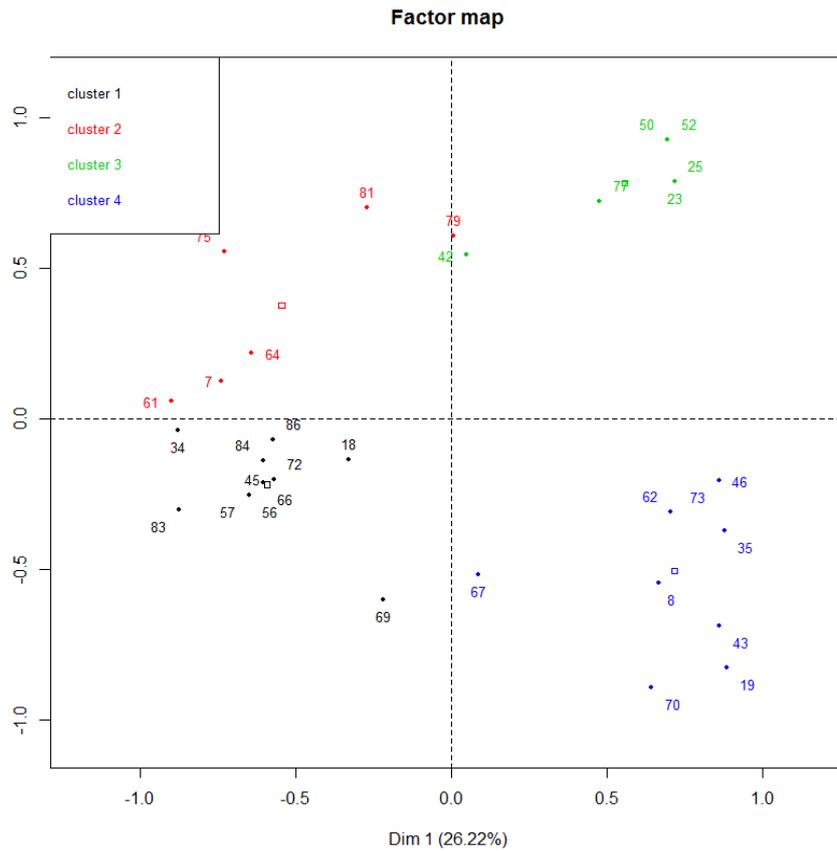


Figure 26 CAH des pratiques : répartition des variables sur les deux premiers axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

## 2. ACM des performances

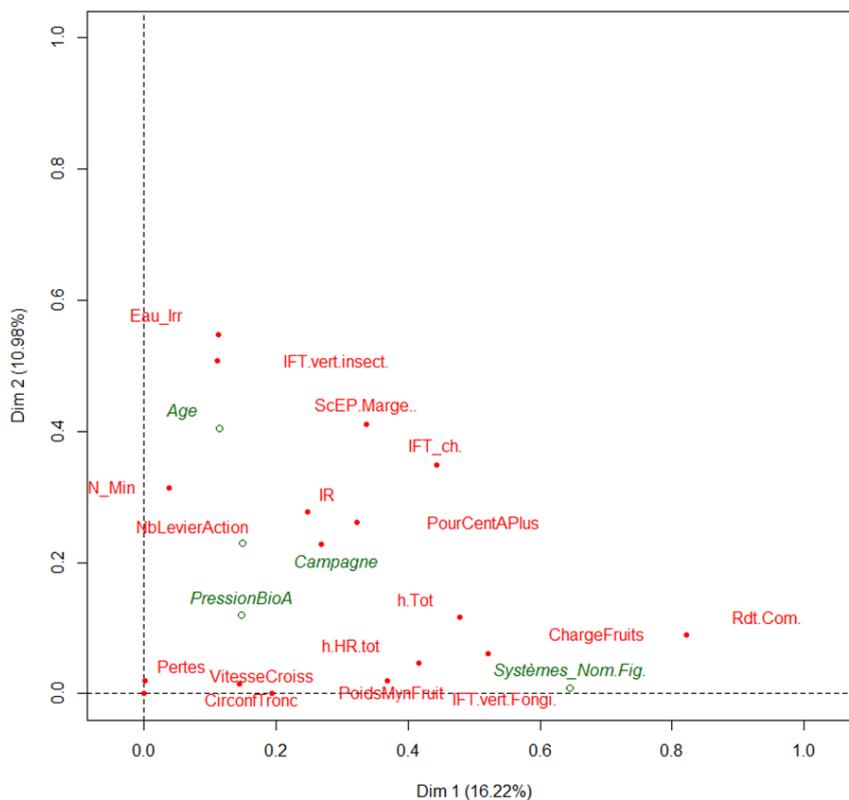


Figure 27 ACM des performances : distinctions des groupes sur les axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

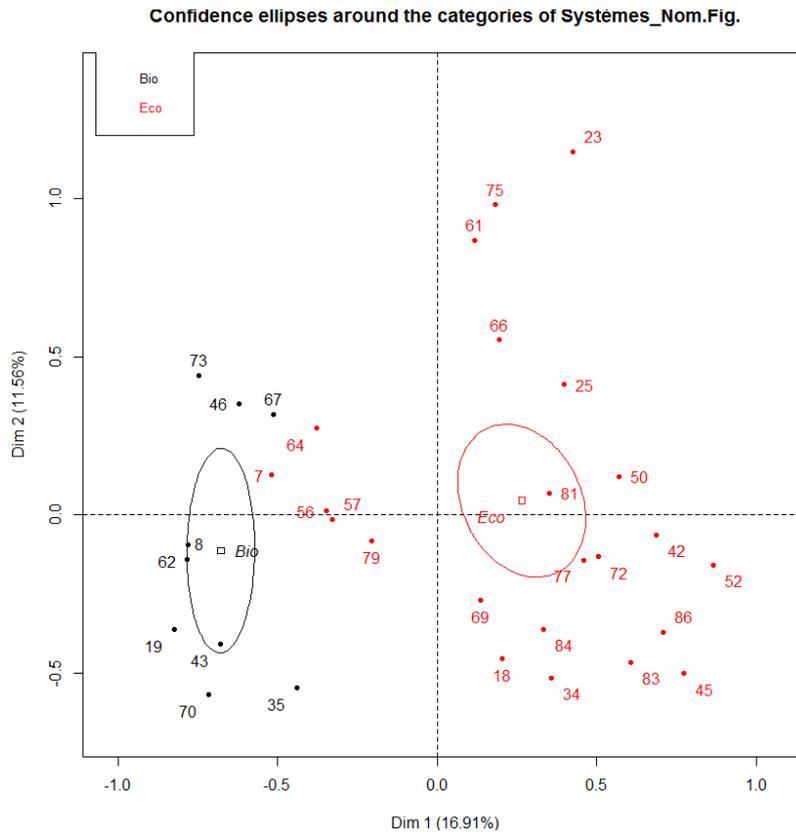


Figure 28 ACM des performances : ellipses de corrélation distinguant les individus Eco et Bio (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

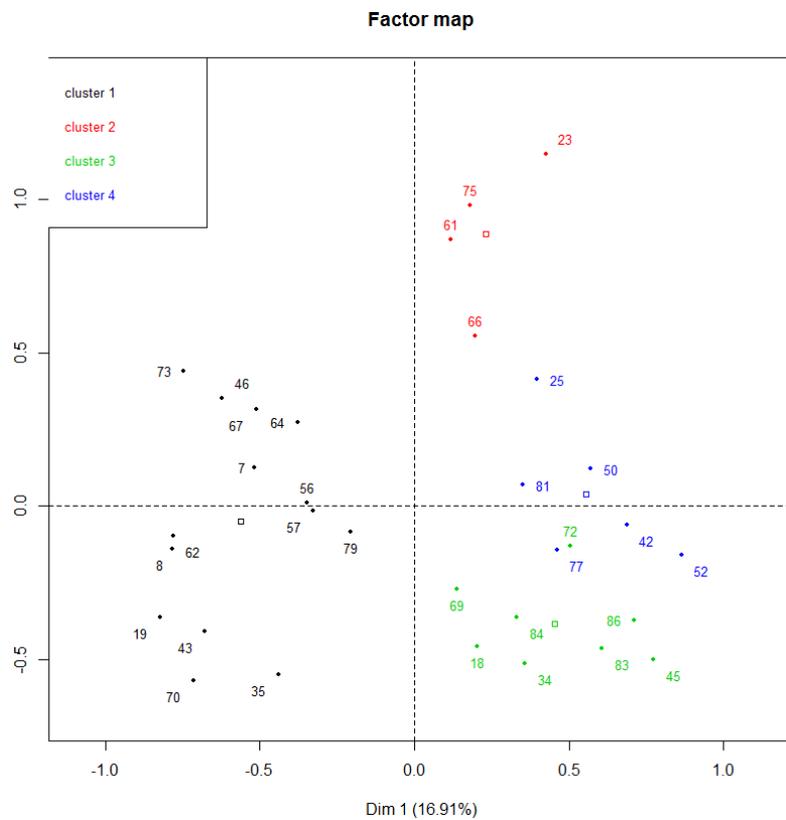


Figure 29 CAH des performances : répartition des variables sur les deux premiers axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

Tableau 25 Résultats des ACM sur les indicateurs de performances (toutes les années\*sites en production)

Groupe	Indicateurs de performances	Indicateurs de pression	ScEP	Facteurs d'explication potentiels
<b>1 : Bio et quelques sites Eco</b>	Réduction du rendement de plus de 35 % Réduction du nombre d'heures total et hors récolte de plus de 20 % Réduction de la charge en fruits de plus de 20 % Réduction du %CalibreAet+ de plus de 20 %	Réduction des IFT supérieure à 70 % Augmentation des IFT verts fongis	/	Effet de la réduction des IFT entre réduction des IFT diminution du rendement (moins de charge) et réduction du calibre.
<b>2 : Eco</b>	Augmentation des heures totales hors récoltes Augmentation du rendement com. Augmentation des Pertes Augmentation de la charge en fruits Réduction du %CalibreAet+ jusqu'à 10%	Diminution des IFT verts contre les ravageurs	ScEP 2	Meilleur rendement obtenu grâce à une augmentation des heures de taille et de travaux hors récolte. Augmentation des pertes liée à une augmentation quantités de fruits récoltés. Résultats obtenus sur les sites limitant la diminution des IFT.
<b>3 : Eco</b>	Réduction inférieure à 20 % de la charge en fruits Augmentation du poids moyen d'un fruit et du %CalibreAet+ Augmentation de l'IR	Augmentation des IFT verts contre les ravageurs Réduction jusqu'à 20 % des quantités d'eau utilisée Réduction de la quantité d'azote minéral Réduction des IFT chimiques inférieure à 50 %	ScEP 2	Systèmes permettant une diminution effective des quantités d'intrants sans trop affecter les résultats de rendements. La qualité est de plus améliorée. Résultats obtenus sur les sites limitant la diminution des IFT.
<b>4 : Eco</b>	Réduction jusqu'à 20 % du temps de travail Réduction jusqu'à 20 % de la charge en fruits Réduction jusqu'à 35 % du rendement com.	Pas de réduction de la quantité d'eau et d'azote utilisée Réduction entre 50 % et 70 % des IFT chimiques Augmentation importante des IFT verts contre les ravageurs	/	Lien entre la réduction importante des IFT et la diminution du rendement, permettant une réduction du temps de travail lié au chantier de récolte. Diminution des IFT non couplée à une diminution des autres intrants.

### 3. ACP des pratiques et des performances

#### Individuals factor map (PCA)

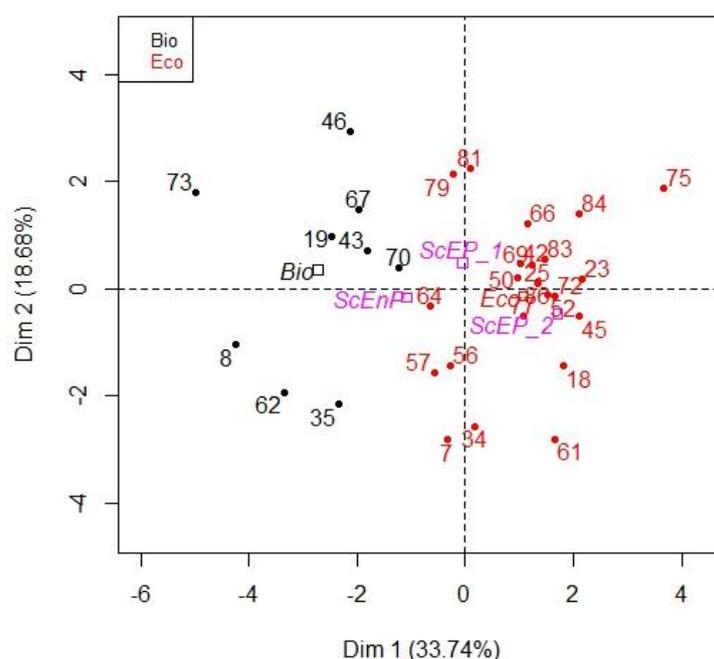


Figure 30 ACP des pratiques \* performances : distinction des individus Eco et Bio (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

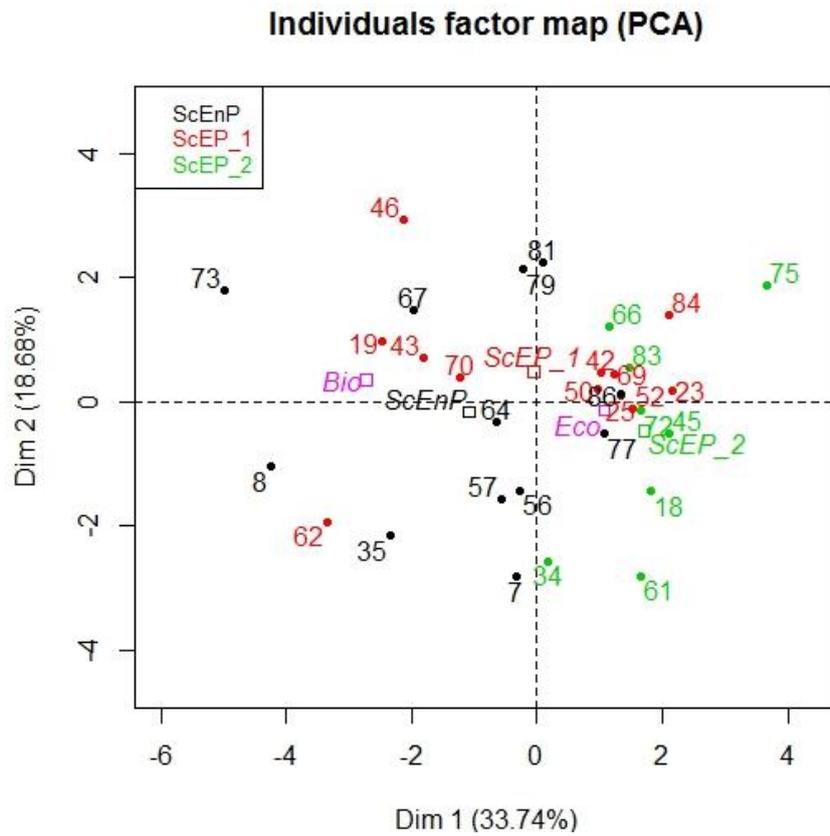


Figure 31 ACP des pratiques \* performances : distinction des individus ScEP I, ScEP II et ScEnP (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

#### 4. ACM des pratiques et des performances

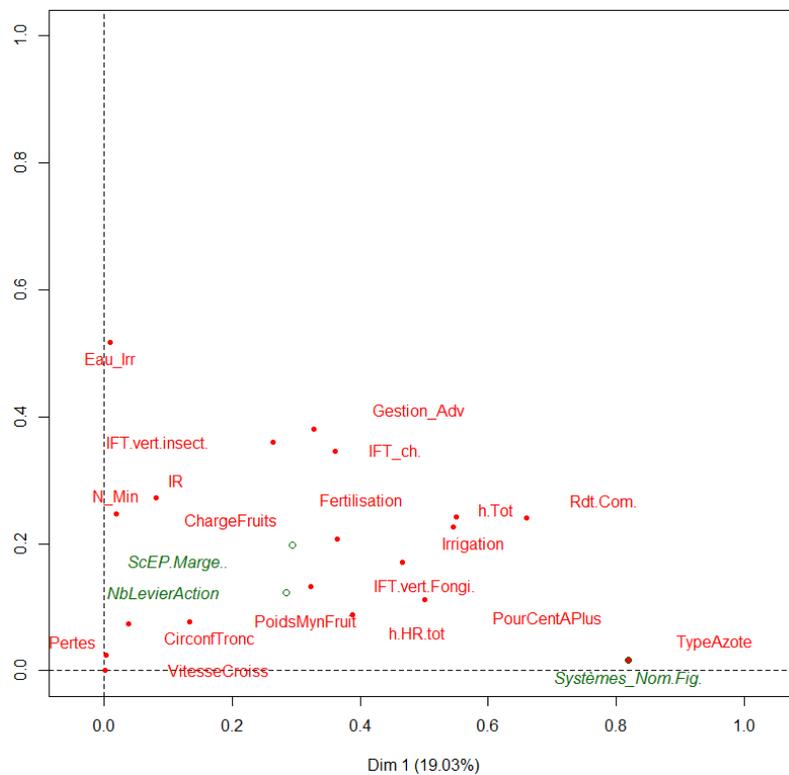


Figure 32 ACM des pratiques \* performances : distinctions des groupes sur les axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

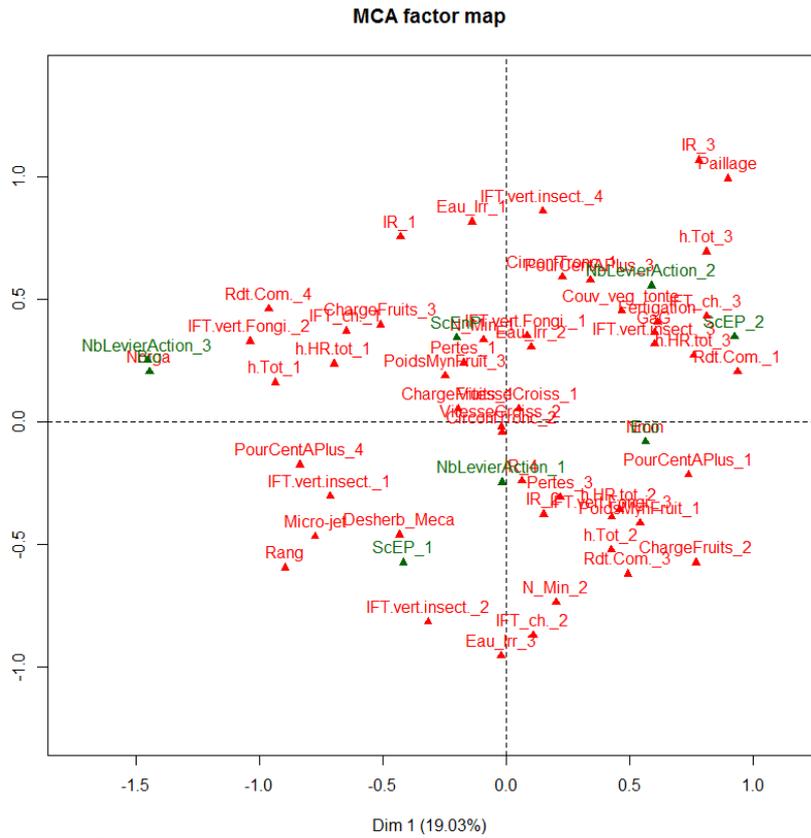


Figure 33 ACM des pratiques \* performances : répartition des modalités sur les deux premiers axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

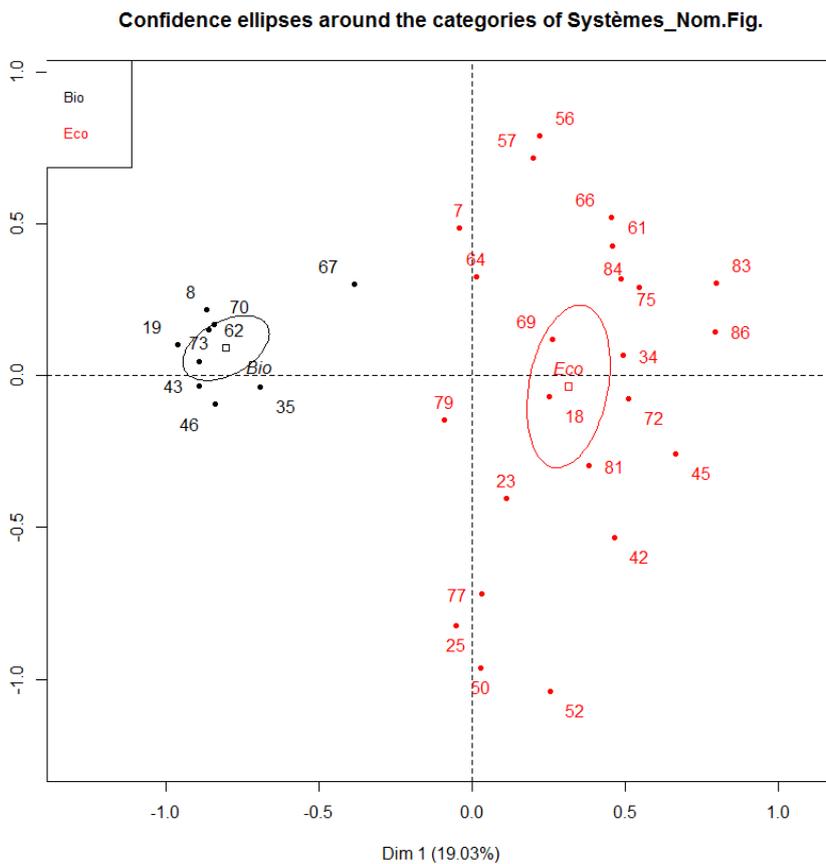


Figure 34 ACM des pratiques \* performances : ellipses de corrélation distinguant les individus Eco et Bio (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

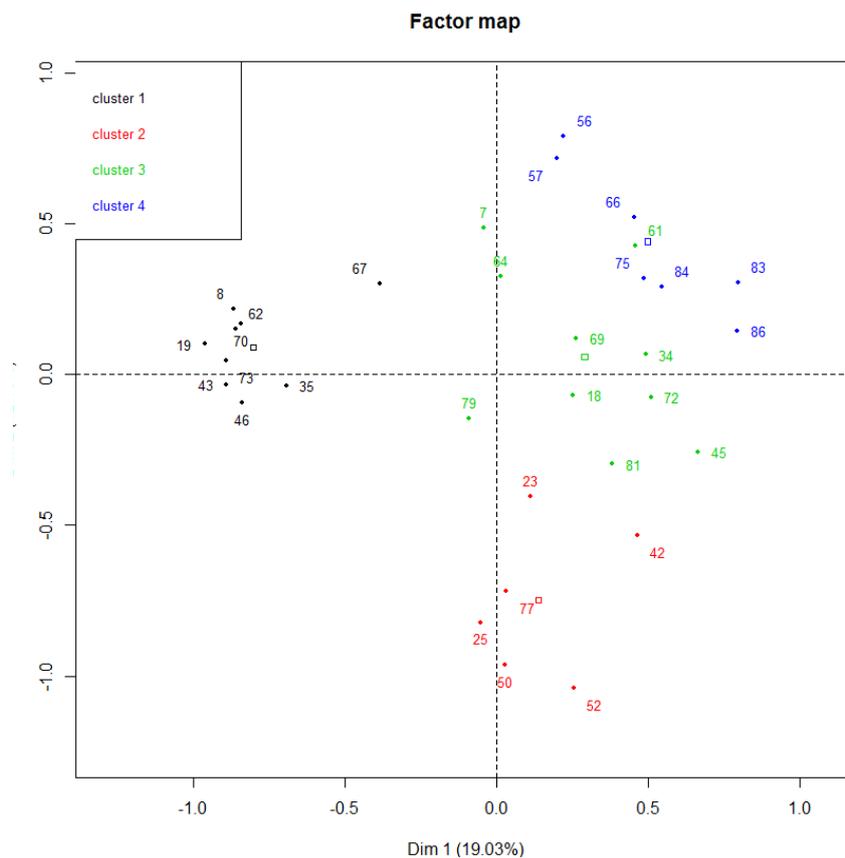


Figure 35 ACM des pratiques \* performances : répartition des variables sur les deux premiers axes (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

Tableau 26 Résultats de l'ACM sur les indicateurs de pratiques et de performances (essai Ecopêche, systèmes en production, campagne 2013 à 2016)

Groupe	Indicateurs de Performances	Indicateurs de pression/Indicateurs de pratiques	Indicateurs de Pratiques	ScEP
<b>1 : Bio</b>	Réduction des rendements supérieure à 35 % Réduction des heures de travail totales et hors récolte supérieure à 20 % Réduction du calibre A et + supérieure à 10 %	Augmentation de la quantité d'IFT vert contre les maladies Réduction supérieure à 70 % des IFT chimiques Réduction de la quantité d'azote minérale	Fertilisation sur le rang Azote organique Irrigation par micro-jet Gestion des adventices par désherbage mécanique	/
<b>2 : Eco</b>	Réduction des heures totales et hors récolte	Réduction entre 50 % et 70 % des IFT chimiques Pas de réduction de la quantité d'eau et d'azote utilisée Réduction des IFT verts contre les maladies	Fertilisation sur le rang Irrigation micro-jet Désherbage mécanique	ScEP 1
<b>3 : Eco</b>	Réduction des rendements inférieure à 35 %	Réduction des IFT chimiques inférieure à 50 % Réduction de la quantité d'eau et d'azote utilisée	Fertigation Irrigation au goutte à goutte Gestion des adventices par une couverture végétale et tonte	ScEP 2
<b>3 : Eco</b>	Augmentation des heures totales Augmentation du rendement	Augmentation des IFT verts contre les ravageurs	Fertigation Gestion des adventices par paillage	/

## ANNEXE 9 : Tableau descriptif de la méthode d'analyse des données

Tableau 27 Méthode descriptive d'analyse de données sur une ou plusieurs années, sur un ou plusieurs sites

Formats des indicateurs de performances		Annuel / Pluriannuel	Etat des vergers	Multisite / Monosite	Objectifs	Représentations / Analyse
<b>En valeur absolue</b>		Annuel ou Pluriannuel	Jeune verger et verger en production	Monosite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeurs réelles obtenues sur les systèmes, notamment au niveau des résultats économiques : la marge est-elle positive ? Est-ce que les résultats varient beaucoup d'une année à l'autre : en fonction de l'âge du verger, des conditions climatiques, pression en bioagresseurs.</li> <li>Analyse des indicateurs agro-physiologiques : diagnostic du fonctionnement des vergers</li> <li>Comparaison avec la littérature existante des résultats obtenus : comparaison des systèmes de référence par rapport aux références régionales ?</li> <li>Le maintien d'un niveau de production au fil des années peut suggérer qu'il y a un équilibre de l'arbre à son potentiel de production pour le mode de conduite pratiqué.</li> <li>ACP : expliciter et comprendre les relations entre les variables quantitatives</li> <li>ACM : comprendre les performances à partir des pratiques / créer des groupes : trajectoire de ces groupes sur le long terme en fonction de quelques performances ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tableau</li> <li>ACP avec les variables quantitatives</li> <li>ACM avec toutes les variables</li> <li>ANOVA des indicateurs agro-physio.</li> </ul>
<b>En moyenne</b>		Pluriannuel	Vergers en production >5ans	Monosite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantifier des valeurs moyennes de performances obtenues.</li> <li>Permet de lisser les différences obtenues entre les années du au climat, la pression en bioagresseurs : Une moyenne de la réduction d'IFT depuis plusieurs années permet de prendre en compte le fait que les pressions parasitaires sont variables d'une année à l'autre (des années de forte réduction et inversement). Les RDD permettent de traiter moins quand il y en a moins besoin.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tableau</li> </ul>
<b>En cumulé</b>		Pluriannuel	Depuis la plantation	Monosite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les sites ayant les meilleurs résultats depuis la plantation du verger.</li> <li>Identifier les vergers qui ont eu l'entrée en production la plus rapide : jeune verger performant.</li> <li>Identifier le nombre d'année avant d'obtenir un verger viable économiquement par addition des marges. Après combien d'années, la marge totale devient positive ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tableau</li> </ul>
<b>Données en indice ou en % du système de référence</b>	<b>En valeur absolue</b>	Annuel ou pluriannuel	Jeune verger et verger en production	Multisite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparaison de tous les systèmes sur la même base.</li> <li>Identifier les sites ayant les meilleures performances par rapport aux objectifs définis dans le projet.</li> <li>ACP : expliciter et comprendre les relations entre les variables quantitatives</li> <li>ACM : comprendre les performances à partir des pratiques / créer des groupes : trajectoire de ces groupes sur le long terme en fonction de quelques performances ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Graph radar</li> <li>Tableau de bord</li> <li>ACP (var. quanti.)</li> <li>ACM</li> </ul>
	<b>En moyenne</b>	Pluriannuel	Verger en production	Multisite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparaison de tous les systèmes sur la même base.</li> <li>Identifier les sites ayant les meilleures performances moyennes par rapport aux objectifs définis dans le projet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Graph radar</li> <li>Tableau de bord</li> </ul>
	<b>En cumulé</b>	Pluriannuel	Depuis la plantation	Multisite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparaison de tous les systèmes sur la même base.</li> <li>Comparer les performances globales de chaque système depuis la plantation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Graph radar</li> <li>Tableau de bord</li> </ul>
<b>En ratio du rendement commercialisable en frais</b>		Annuel ou pluriannuel	Jeune verger et verger en production	Multisite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparer l'efficacité de chaque système sur la base du rendement commercialisable en frais. Quels systèmes a permis de produire plus depuis sa mise en place en utilisant le moins d'intrants (eau, fertilisants, main d'œuvre,..)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tableau</li> <li>Graph radar</li> <li>Tableau de bord</li> </ul>



## Analyses des performances d'un réseau national d'expérimentations systèmes économes en produits phytosanitaires et en intrants en vergers de pêche – nectarine

Le contexte économique de la production de pêche en Europe est très concurrentiel et a favorisé les systèmes de production intensifs, privilégiant les critères de qualité ayant un fort impact sur la valeur marchande : calibre, aspect visuel et conservation, parfois au détriment de la qualité gustative des fruits (Plénet et *al.*, 2010). Dans le cadre du plan Ecophyto, le projet Ecopêche vise ainsi à créer des systèmes conciliant une réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques et des intrants avec l'obtention de fruits de haute qualité ainsi que des performances technico-économiques assurant la durabilité du système. Le projet Ecopêche compte maintenant trois années d'expérimentations et de résultats sur la gestion des vergers dans leur phase juvénile ou en début de production de fruits. Une première analyse a été effectuée sur les résultats de l'expérimentation système conduite à l'INRA Avignon. Les performances des systèmes innovants sont supérieures au système de référence, grâce à la combinaison de leviers alternatifs, malgré une diminution des intrants depuis l'implantation du verger. Dans un second temps, une première synthèse des résultats des trois premières années (2013 -2015) basée sur une analyse multicritère des performances a été réalisée. La démarche d'analyse des essais systèmes étant peu utilisée en production fruitière, une méthode d'analyse permettant la valorisation des résultats d'Ecopêche a été définie. Ce premier bilan a montré qu'il est possible d'obtenir des jeunes vergers économes en intrants et en produits phytosanitaires plus performants que le système de référence (marge partielle moins négative voir positive en comparaison au système de référence). Il semble que les systèmes présentant la meilleure performance (diminution de l'IFT de 50 % et marge partielle positive) utilisent les mêmes quantités d'eau et d'azote que les systèmes de référence. Les pratiques (irrigation au goutte à goutte et de fertigation) sont le principal facteur jouant sur la réduction des intrants. Dans la suite du projet, il pourra être intéressant de voir si des systèmes économes en produits phytosanitaires et en intrants sont également performants économiquement. Il serait également intéressant de comprendre les performances au regard des leviers d'actions mis en place dans chaque système, comme cela a été fait dans l'analyse du site d'Avignon. Les conclusions tirées de ces premières analyses seront confirmées ou non dans la suite du projet Ecopêche, sachant que l'ajout des données concernant les charges de mécanisation et les amortissements pourraient modifier profondément les performances économiques de chaque système et ainsi les conclusions.

**Mots clés** [Système de culture, Ecophyto, Ecopêche, Expérimentation système, Analyse multicritère, Réseau, Indicateurs de performances]