



HAL
open science

Titre du projet (acronyme) : EcoPêche : Conception et évaluation multisite de vergers de pêche - nectarine économes en produits phytosanitaires et en intrants. Rapport technique campagne 2019 du site INRAE Avignon et synthèse pluriannuelle 2015-2019

Daniel Plénet, Julie Borg

► **To cite this version:**

Daniel Plénet, Julie Borg. Titre du projet (acronyme) : EcoPêche : Conception et évaluation multisite de vergers de pêche - nectarine économes en produits phytosanitaires et en intrants. Rapport technique campagne 2019 du site INRAE Avignon et synthèse pluriannuelle 2015-2019. [Rapport de recherche] INRAE. 2020, pp.28. hal-03608794


HAL Id: hal-03608794

<https://hal.inrae.fr/hal-03608794v1>

Submitted on 15 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

 <p>ÉCOPHYTO DEPHY Réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économiques en phyto-sanitaires</p> <p>N° du projet EXPE : 2017 X2IN84AR</p>	<p style="text-align: center;">COMPTE RENDU TECHNIQUE 2019</p>
<p>Titre du projet (acronyme) :</p>	<p>EcoPêche : Conception et évaluation multisite de vergers de pêche – nectarine économes en produits phytosanitaires et en intrants</p>
<p>Partenaire porteur du projet :</p>	<p>INRA UR1115 PSH (INRA centre de recherche PACA)</p>
<p>Nom du chef de projet :</p>	<p>PLÉNET Daniel (daniel.plenet@inra.fr)</p>

*Le **Compte-rendu technique** présente à l'issue de chaque année de projet, les travaux du programme d'action réalisés entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre, ainsi que les résultats obtenus et diffusables. La trame proposée doit être respectée autant que possible, mais peut être aménagée selon les spécificités du projet.*

Ce compte-rendu se veut complémentaire de l'article de synthèse que vous avez réalisé à l'échelle de votre projet. Par conséquent, seule la présentation des résultats/faits marquants vous est demandée à l'échelle des sites expérimentaux

ECOPÊCHE II

Conception et évaluation multisite de vergers de pêche –
nectarine économes en produits phytosanitaires et en intrants

Campagne 2019

Auteurs : Plénet D.¹ ; Borg J.¹

¹ INRA UR PSH

Remerciements : Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué effectivement à la réalisation de ce projet sur le plan technique, administratif et financier.

SOMMAIRE

I.	INRA UR PSH à Avignon (84)	3
	Bilan campagne 2019	3
	Synthèse pluriannuelle 2015-2019	23

L'ECHELLE DES SITES EXPERIMENTAUX

Présentez les résultats obtenus à l'échelle des sites du projet en utilisant la trame ci-dessous.

Nom du site expérimental - Localisation	INRA UR 1115 PSH Domaine Saint Paul – Avignon (84)
Contact - coordonnées	Daniel Plénet : daniel.plenet@inra.fr UR1115 PSH, Centre de recherche PACA, 228 route de l'aérodrome, CS 40509, Domaine Saint Paul, site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9 Tel : 04 32 72 24 66

Participants : Borg J., Bizot Y., (CDD), Kerdraon M. (Stagiaire M2), Galès M., Serra V. et plus ponctuellement Bostal C. (Stagiaire M1), Thomas C., Garcia G., Pradier M. et Reno S. (IE EMMAH, tractoriste) et le laboratoire d'analyse de PSH (Laugier P., Rubio E., Serino S.).

A. Modification du dispositif expérimental

Préciser si des modifications au niveau des sites expérimentaux et des systèmes de cultures testés ont eu lieu en 2019. Si tel est le cas, indiquer la nature et le contexte de ces changements.

Dispositif inchangé en 2019. Essai avec 3 systèmes

Tableau 1: Rappel des principaux éléments structurels des systèmes sur l'essai 1 Inra Avignon (Nectarine blanche variété Nectarlove, année de plantation 2013, 7^{ème} feuille en 2019)

INRA PSH ESSAI 1 Nectarlove	Systèmes		
	S1 : REFérence (Raisonné)	S2 : ECOnome 1 Forme en volume	S3 : ECOnome 2 Forme haie fruitière
Variété Porte-greffe	Nectarlove GF 677	Nectarlove GF 677	Nectarlove GF 677
Forme arbres	Double Y	Double Y aéré	Simple Y oblique
Densité (arbres/ha)	571	571	909
Système d'irrigation	Microjet	Goutte à goutte enterré	Goutte à goutte enterré
Gestion du rang	Désherbage chimique	Paillage horticole	Paillage horticole
Infrastructure agroécologique	Haie de cyprès au Nord	Haie composite Nord et sud Bande fleurie Est et Ouest	Haie composite Nord et sud Bande fleurie Est et Ouest

B. Bilan de la campagne 2019

Après avoir rappelé les objectifs de chaque système expérimenté, décrire de façon synthétique les travaux réalisés, les résultats de la campagne 2019 et indiquer les faits marquants de l'année :

- *bilan climatique et pressions biotiques de la campagne écoulée,*
- *échec/réussite de la mise en œuvre des leviers d'action ou règles de décision prévues,*
- *niveau de satisfaction des objectifs en termes d'IFT, de rendement, de qualité, de maîtrise des bioagresseurs...,*
- *perspectives, actions correctives.*

L'essai 1 Nectarlove du dispositif EcoPêche Inra UR PSH à Avignon est maintenant en pleine production (7^{ème} feuille). Les objectifs expérimentaux 2019 étaient d'atteindre les objectifs de rendement définis en fonction de la vigueur des arbres, tout en visant une réduction très importante (autour de 70 %) de l'usage des produits phytopharmaceutiques de synthèse et une diminution sensible (entre 10 et 30 %) des intrants eau et azote sur les systèmes économes.

1. Données climatiques

L'année climatique se caractérise par des températures moyennes (Tableau 2, Figure 1) pratiquement systématiquement supérieures à la normale (1981-2010), excepté au mois de mai. La température moyenne annuelle est de 15.6 °C comparée à la normale de 14.6 °C. La pluviométrie annuelle est assez proche de la normale (615 mm vs 673 mm pour la normale) mais avec une répartition très irrégulière. Les pluviométries ont été très réduites du début de l'année à fin septembre (cumul de seulement 220.5 mm) engendrant un bilan hydrique P – ETP très déficitaire de -715 mm sur la période de croissance du pêcher (début avril à fin septembre), largement plus important que la normale (-526 mm).

Tableau 2. Données météorologiques mensuelles de l'année 2019 à l'Inra Avignon (station du Domaine St Paul, Avignon - Montfavet - Source Inra AgroClim)

Mois	T min		T max		T moy		Pluviométrie		ETP		Bilan hydrique		Ray. Global	
	Moy	2019	Moy	2019	Moy	2019	Moy	2019	Moy	2019	Moy	2019	Moy	2019
1	1.6	2.7	10.2	9.5	5.9	5.7	49	14	18	37	31	-23	189	238
2	2.3	2.3	11.8	15.5	7.1	8.0	38	45	35	34	3	11	260	306
3	5.1	5.6	15.6	18.5	10.3	11.7	39	5	75	88	-36	-83	439	547
4	7.5	7.5	18.6	18.9	13.1	13.0	65	74	102	103	-37	-29	549	571
5	11.4	11.6	23.2	22.7	17.3	16.8	61	15	138	165	-77	-150	692	763
6	15.2	15.9	27.4	30.6	21.3	23.0	40	24	172	185	-132	-161	768	819
7	17.8	20.1	30.7	33.5	24.2	26.4	27	19	192	214	-166	-195	801	840
8	17.4	19.0	30.0	32.5	23.7	25.3	46	0	159	180	-113	-180	682	726
9	14.0	15.6	25.3	28.0	19.6	21.3	98	25	99	124	-1	-99	492	540
10	10.5	12.4	20.2	22.4	15.4	17.0	91	144	51	61	40	83	318	332
11	5.8	6.2	14.0	14.0	9.9	9.7	70	169	25	19	45	150	203	196
12	2.7	5.2	10.5	13.4	6.6	8.8	49	82	16	14	33	67	159	172
Moy. ou total annuel	9.3	10.4	19.8	21.7	14.6	15.6	673	615	1083	1224	-411	-609	5552	6050

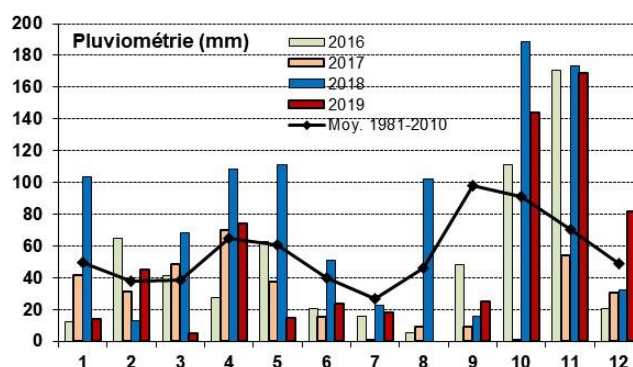
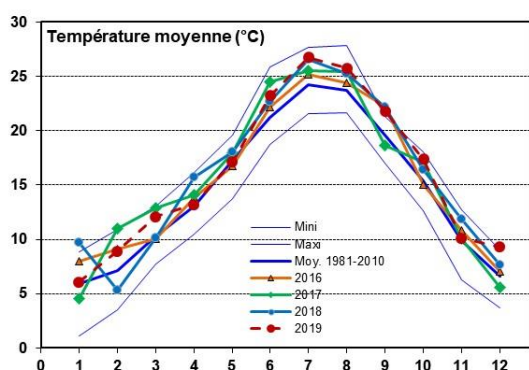


Figure 1. Température (°C) et pluviométrie (mm) moyennes mensuelles sur le site Inra Avignon pour les campagnes 2016 à 2019 et comparaison aux normales (minimum, maximum et moyenne) calculées sur la période 1981-2010 (source des données Inra AgroClim)

La date de floraison (50% de fleurs ouvertes) a été observée le 10 mars 2019 pour la variété Nectarlove, c'est-à-dire assez similaire à une année normale pour Avignon.

2. Principales opérations culturales

Les principales interventions culturales réalisées pour la conduite des systèmes sont listées tableau 3. Pour certains chantiers s'étalant sur plusieurs jours, c'est la date de début de chantier qui est indiquée. Pour des opérations s'étalant dans le temps, nous changeons de système après chaque rang d'arbres afin de ne pas introduire un biais lié à des décalages importants de date de réalisation.

Travaux de taille et conduite des arbres

Objectif : Maintien de la forme structurelle des arbres et sélection des rameaux fructifères

- La taille d'hiver des arbres a été réalisée de mi janvier à début mars.
- La taille en vert n'a pas été réalisée du fait de fortes attaques de pucerons sur S2 et S3
- Un attachage a été réalisé pour consolider les charpentières trop ouvertes de certains arbres afin d'éviter la casse sous le poids de la charge en fruits.

Gestion de la charge en fruits

Objectif : avoir une charge en fruits de 450 fruits/arbre (350 fruits sur S3) pour atteindre un rendement brut de 40 à 45 tonnes/ha sur la variété Nectarlove.

Du fait d'une floribondité assez forte, la gestion de la charge par un éclaircissage manuel (du 6 mai au 15 mai) a exigé un assez fort investissement en temps de travail.

Tableau 3. Dates de réalisation des principales interventions sur EcoPêche Inra Domaine Saint Paul en 2019 (hors traitements des produits phytopharmaceutiques cf tableau 4)

Technique	Description	Dates de réalisation		
		S1-REF	S2-Eco1	S3-Eco2
Conduite des arbres	Taille d'hiver (début)	13/01/2019	13/01/2019	09/02/2019
	Taille d'hiver (fin)	25/02/2019	27/02/2019	07/03/2019
	Taille en vert (pas réalisée suite attaque pucerons)			
	Attachage charpentière	09/07/2019	09/07/2019	09/07/2019
éclaircissage	début	06/05/2019	06/05/2019	06/05/2019
	fin	14/05/2019	14/05/2019	14/05/2019
entretien	broyage bois de taille	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
	entretien inter-rang	02/05/2019	02/05/2019	02/05/2019
	entretien inter-rang (bord paillage)		17/06/2019	17/06/2019
	entretien inter-rang (avant récolte)	10/07/2019	10/07/2019	10/07/2019
	entretien inter-rang	19/09/2019	19/09/2019	19/09/2019
Protection	Application de Glu	29/05/2019	29/05/2019	29/05/2019
Autres méthodes alt.	Bandes fleuries : re-semis		02/04/2019	02/04/2019
Irrigation	Remise en route système + test	02/04/2019	02/04/2019	02/04/2019
	Arrêt irrigation	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019
récolte	1ere cueille	18/07/2019	22/07/2019	18/07/2019
	2ième cueille	24/07/2019	29/07/2019	25/07/2019
	3ième cueille	30/07/2019		30/07/2019

Entretien du sol

Objectif : zéro herbicide sur les systèmes économes

- Sur le système de référence (S1), l'entretien du rang a été réalisé par 2 passages d'herbicides en mars et mai 2019 (cf tableau 4).
- Sur les systèmes économes, le contrôle des adventices sur le rang est réalisé par un paillage horticole (largeur du paillage 2 x 1 ; 5 m : [levier d'action : méthode physique](#)).
- Pour favoriser la [biodiversité végétale](#) autour des blocs parcellaires des systèmes économes (S2, S3) des bandes fleuries ont été re-semées début avril 2019 avec un mélange de fleurs du commerce adapté aux plantes pérennes (association d'une douzaine d'espèces de légumineuses et de fleurs sauvages). Les bandes de 3 mètres de large sont semées parallèlement aux rangs des arbres, sachant que perpendiculairement au rang il existe déjà des haies composites. Cependant, en 2019, l'installation a été lente et la diversité florale des bandes fleuries a été très faible.
- L'entretien de l'inter rang a été réalisé par un broyage mécanique de l'herbe sur tous les systèmes avec un total de 4 passages, 3 pour l'herbe et 1 associant le broyage de l'herbe et du bois de taille (hiver et taille en vert). Sur les systèmes économes, une intervention de broyage supplémentaire a été réalisée pour couper l'herbe à la limite du paillage et de l'inter-rang enherbé.

Protection contre maladies et ravageurs

Objectif : réduction de 70 % des produits phytopharmaceutiques de synthèse sur les systèmes économes avec acceptation d'une prise de risque assez forte pour les pucerons et les monilioses

La mise en œuvre des stratégies de protection en fonction de la pression des bioagresseurs a conduit aux interventions phytosanitaires présentées dans le tableau 4.

Dans le dispositif Nectarlove, 22 interventions ont été réalisées sur S1-REF1, 16 sur S2-Eco1 et 19 sur S3-Eco2.

Ravageurs

La confusion sexuelle contre la tordeuse orientale a été utilisée sur tous les systèmes ([Levier d'action : lutte biotechnique](#)) car c'est une technique déjà largement mobilisée par les producteurs. De plus, il faut des surfaces assez importantes pour que cette technique soit efficace. En complément de la confusion, il y a des interventions au pic des vols de 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} génération (mai, juin et juillet) soit avec des insecticides de synthèse sur le système REF soit avec des produits de biocontrôle sur les systèmes économes (3^{ème} génération).

Contre le thrips, 1 intervention (au stade fin floraison - chute des collerettes, seuil 5 % des fleurs habitées) a eu lieu avec un insecticide chimique sur le système de référence ou un produit de biocontrôle

(talc) sur les les systèmes économes. Dans tous les systèmes, pas d'intervention contre le thrips avant récolte.

Contre les pucerons, la stratégie classique dans le système REF repose sur 2 interventions insecticides : 1 insecticide avant la floraison contre les fondatrices (issues des œufs déposés à l'automne) et un traitement courant avril quand les premiers foyers risquent de s'installer. Sur les systèmes économes, la règle de décision était de substituer le traitement à la floraison par 2 traitements avec un produit de **biocontrôle** (huile blanche) au stade hivernant et de tenter l'impasse ensuite afin de favoriser au maximum les mécanismes de régulation par les auxiliaires. Cette stratégie a conduit à une forte attaque généralisée de pucerons (cigarié et farineux surtout) sur S2-Eco1 et S3-Eco2.

Contre les forficules, du fait des populations élevées sur le site et des attaques importantes sur fruits les années précédentes, nous avons utilisé de la Glu comme **barrière physique** (pose sur les troncs des arbres) sur les systèmes Eco, mais aussi sur le système REF (nouvelle règle depuis 2018) du fait de la faible efficacité des insecticides sur ce bioagresseurs (résistance fréquente aux insecticides dans les populations locales). Sur REF, nous avons réalisé un traitement insecticide une semaine avant récolte dès l'apparition des premières morsures sur les fruits, en complément de la Glu (produit ciblant 2 ravageurs : tordeuse orientale et forficules).

Des attaques d'escargot et de limaces sur les jeunes fruits ayant été observées, des traitements ont été réalisés soit avec un produit de synthèse sur REF soit avec un produit de biocontrôle sur Eco.

Tableau 4. Dates des interventions phytosanitaires en fonction des usages sur EcoPêche Inra Domaine Saint Paul campagne 2019. Les produits de biocontrôle sont surlignés en vert.

Catégories Produits	cible 1	date	Produit Commercial	Substance active	S1	S2	S3	
herbicide	Adventices	22/03/2019	CHARDOL 600	2,4 D	0.48			
			SELECTRUM	Isoxaben + Oryzalin	1.5			
		10/05/2019	ROUNDUP GOLD	glyphosate 480 g/L	2.1			
fongicide	Cloque(s)	15/02/2019	NORDOX 75 WG	Cuivre de l'oxyde cuivreux	3.33	2.7	2.7	
		22/02/2019	BNA PRO	Di-hydroxyde de calcium	50	50		
		25/02/2019	ORDOVAL	Thirame	2.5			
		04/03/2019	BOUILLIE BORDELAISE RSR DISPERS	Cuivre du sulfate de cuivre		1	1	
			ORDOVAL	Thirame	2.5			
			BNA PRO	Di-hydroxyde de calcium	50	50		
		15/03/2019	BOUILLIE BORDELAISE RSR DISPERS	Cuivre du sulfate de cuivre			1	
		SIGMA DG	captane	3	3			
	Oidium(s)	09/04/2019	NIMROD	Bupirimate	0.6			
			MICROTHIOL SPECIAL DISPERS	Soufre mouillable	7.5	7.5		
		26/04/2019	NIMROD	Bupirimate	0.6			
			MICROTHIOL SPECIAL DISPERS	Soufre mouillable	7.5	7.5		
		17/05/2019	CITROTHIOL DG	Soufre mouillable	7.5	7.5		
		VELKADO	cyflufenamid	0.5				
	Monilioses	21/06/2019	LUNA Experience	Tébuconazole + fluopyram	0.5			
			JULIETTA	Saccharomyces cerevisiae			2.5	
		04/07/2019	SIGNUM	Pyraclostrobrine + Boscalid	0.75			
		JULIETTA	Saccharomyces cerevisiae			2.5		
	12/07/2019	KRUGA	Fenbuconazole	2				
	JULIETTA	Saccharomyces cerevisiae			2.5			
Bacterioses		19/10/2018	BOUILLIE BORDELAISE RSR DISPERS	Cuivre du sulfate de cuivre	6.25	6.25	6.25	
insecticide	foreuses des fruits	05/04/2019	RAK 5	Confusion sexuelle	500	500	500	
		09/04/2019	PROCLAIM	Emamectine benzoate	2			
		16/06/2019	CORAGEN	chlorantraniliprole	0.175			
		04/07/2019	DECIS protech	Deltaméthrine	0.83			
			DELFIN	Bacillus thuringiensis var. kurstaki SA-11		1	1	
	Pucerons	25/02/2019	TEPPEKI	Fonicamide	0.14			
		09/04/2019	MOVENTO	Spirotetramat	1.5			
	Stad. Hivern. Rava	15/02/2019	EUPHYTANE GOLD	huile de vaseline		10	10	
		04/03/2019	EUPHYTANE GOLD	huile de vaseline		10	10	
	Thrips	15/03/2019	KLARTAN	Tauflualinate	0.6			
			INVELOP WHITE Protect	talc		25	25	
	Autre (mollu)	Glu	29/05/2019	RAMPASTOP	Glu (barrière physique)	14	14	20
		Limaces et escarg	05/04/2019	IRONMAX PRO	Phosphate ferrique	3.5	3.5	
METAREX INO				Métaldéhyde 4%	2.5			

Maladies

Il y a eu une intervention préventive à la chute des feuilles en octobre 2018 contre les maladies comme la bactériose, le xanthomonas ou le pseudomonas.

La variété Nectarlove est moyennement sensible à la cloque. Cette maladie n'est actuellement contrôlée qu'en préventif. Nous avons pris en 2019 un risque modéré sur les systèmes. Sur S1-REF, 4 interventions ciblées contre la cloque ont été réalisées. Sur les systèmes économes, nous avons introduit un produit de biocontrôle (BNA Pro, lait de chaux) dans la stratégie de protection (4 interventions) mais avec réduction importante des IFT chimiques.

Contre l'oïdium, nous avons protégé en préventif la période de haute sensibilité (stade G à durcissement du noyau) avec des fongicides de synthèse sur le système REF (3 interventions). Dans les systèmes, ECO, 3 interventions avec un produit de biocontrôle (Soufre) et arrêt des interventions si absence de dégâts (seuil 10 % de rameaux ou 1 % de fruits infectés) sur les systèmes économes.

Contre les maladies de conservation (monilia sp) qui occasionnent les dommages les plus élevés sur notre site (voir résultats 2015 à 2018), en plus de la prophylaxie utilisée sur tous les systèmes (suppression des chancres et des momies au cours de la taille hivernale), nous avons utilisé la stratégie classique sur le système REF qui consiste en 3 interventions à 25 jours, 10 jours et 3 jours avant la récolte avec des fongicides de synthèse (et alternance des substances actives). Sur les systèmes économes, nous avons mis en œuvre en complément de la prophylaxie, des méthodes culturales pour essayer de réduire la susceptibilité du verger au développement des monilioses en associant la gestion hydrique (réduction des quantités d'irrigation), le mode d'apport de l'irrigation (goutte à goutte enterré vs microjet) et la conduite des arbres (forme fruitière en Y oblique vs la forme double Y). L'ensemble de ces leviers préventifs a pour but de pouvoir réaliser des impasses complètes de produits de synthèse. De ce fait, sur S2-Eco1 nous n'avons réalisé aucun traitement anti-monilia (impasse complète). Sur S3-Eco2, nous avons substitué les produits de synthèse par 3 interventions à base d'un nouveau produit de biocontrôle (Julietta : champignon antagoniste, *Saccharomyces cerevisiae*) pour évaluer son intérêt en accompagnement des méthodes culturales.

Irrigation et fertilisation

Objectifs : accompagner la croissance des arbres et des fruits, mais en mettant en œuvre des méthodes (Outils d'Aide à la Décision – OAD) permettant un pilotage précis des apports afin d'augmenter l'efficacité des intrants. Utiliser ces techniques comme des leviers d'action pour réduire la sensibilité à certains bioagresseurs (monilioses essentiellement).

Les besoins ont été estimés sur une base de 90 + 1,3 kg N/ tonne de fruits avec un objectif de 45 tonnes de fruits par hectare (soit un besoin estimé de 150 kg N/ha)

- Système Référence S1-REF1 : 4 apports d'azote sous forme de phosphate d'ammoniaque et d'ammonitrate ont été réalisés en localisation sur le rang et totalisant 150 kg N/ha. Les apports ont été de 76 kg P2O5 et 150 kg K2O/ha.
- Systèmes économes S2 et S3. Un apport de 6 kg N/ha a été effectué en solide sur le rang le 2/04 (phosphate d'ammoniaque). Tous les autres apports ont été réalisés par irrigation fertilisante en 14 apports sous forme de nitrate de calcium du 15/04 au 6/08 (entre 6 et 8 kg N/ha par semaine). La quantité biodisponible d'azote apportée a été de 115 kg N/ha. Les apports ont été de 30,5 kg P2O5 et 90 kg K2O/ha, apportés en solide le 2/04 et sous forme d'irrigation fertilisante en juin pour accompagner la croissance des fruits.

La conduite de l'irrigation a été réalisée par bilan hydrique avec un calage par sonde tensiométrique (problème d'électrification du site perturbant les capteurs TDR, voire le programmeur d'irrigation au cours du printemps). Le démarrage de l'irrigation a commencé effectivement le 17 mai 2019 (exception faite de 2 ou 3 petites irrigations pour apporter les engrais par fertirrigation sur les systèmes Eco et pour les incorporer dans le sol (REF). L'arrêt complet de l'irrigation a été réalisé le 30/09/2019.

Les règles de décision retenues ont été :

- Systèmes de Référence S1-REF1 (microjet) : apports selon le bilan hydrique kc.ETP – P de la semaine n-1, avec arrêt des irrigations si pluviométrie supérieure à 15 mm au cours de la semaine. Les apports sont réalisés 2 ou 3 fois par semaine selon la demande climatique.
- Système Economes S2 et S3 : irrigation par goutte à goutte enterré, puis basculement sur un goutte à goutte de surface. Les quantités d'eau apportées ont été réduites d'environ 25 % par rapport aux besoins estimés par bilan hydrique en raison d'une amélioration de l'efficacité liée au système d'irrigation. Les apports sont programmés journalièrement avec 2 pulses réalisés en début de matinée et/ou en milieu d'après-midi.

3. Résultats

3.1. Bilan sanitaire et Indices de Fréquence des Traitements

Suivi des bioagresseurs

Les observations des suivis de la présence ou des symptômes des bioagresseurs ont été réalisées chaque semaine sur 30 arbres par systèmes, avec des notations sur 10 pousses ou fruits/arbre (20 fruits/ arbre pour les monilioses au verger). La figure 2 présente les principaux dégâts observés sur les différents systèmes au cours de la campagne 2019.

Il ressort :

- La présence de **thrips** (*Thrips meridionalis*) dans les collerettes des fleurs pendant la floraison entraîne des dégâts relativement importants sur les très jeunes fruits. Une partie de ces fruits touchés a cependant été enlevé lors de l'éclaircissage manuel réalisé en mai diminuant ainsi les pertes de fruits à la récolte liées au déclassement pour des défauts visuels. On note une présence significativement supérieure sur S3-Eco2 par rapport à S2-Eco1, alors que les stratégies de protection ont été identiques (un passage avec du talc). L'intervention avec un insecticide de synthèse s'est avéré efficace sur S1-REF (mais différence non significative par rapport à S2-Eco1).
- Une très **forte attaque de pucerons** a été observée. Les pucerons concernés sont le puceron farineux (*Hyalopterus amygdali*) et le puceron cigarié (*Myzus varians*). L'attaque a commencé début avril sur les 3 systèmes. Mais sur S1-REF, le traitement avec un insecticide le 9 avril a stoppé l'attaque, alors que l'absence d'intervention sur les systèmes économes s'est traduite par un fort développement des populations avec un pic de présence/dégâts vers la fin mai-mi juin. En juin-juillet, les populations ont fortement diminué permettant une reprise de croissance des pousses. Au pic de l'attaque, les dégâts ont été très marqués (91 à 97 % des pousses observées étaient attaquées sur S2 et S3), avec un fort ralentissement de la croissance végétative (diminution de la surface foliaire, production de fumagine et pertes de futurs rameaux pour l'année 2020). De même, l'attaque semble avoir affecté la croissance des fruits.
- La confusion sexuelle a assuré une très bonne maîtrise de la **tordeuse orientale** du pêcher (TOP ; *Grapholita molesta*) sur la 1^{ère} génération (G1), ainsi que sur la G2 et la G3. La confusion a été accompagnée par 3 interventions phytosanitaires avec des insecticides chimiques sur S1-REF au moment des pics de vol (G1, G2 et G3). Sur S2-Eco1 et S3-Eco2, l'accompagnement de la confusion a été réalisé seulement lors de la G3 avec des produits de biocontrôle (*Bacillus thuringiensis*). On note l'absence de dégâts sur pousses sur tous les systèmes, figure 2), ainsi que sur les fruits (non présentés).
- Suite à quelques dégâts sur jeunes fruits liés aux escargots nous avons réalisé une intervention avec des granulés (produit chimique sur S1 – REF1 et produit de biocontrôle sur S2–Eco1 et S3–Eco2) pour contrôler les dommages. L'intervention a été efficace.
- Suite aux importants dégâts occasionnés de 2015 et 2018 par les **forficules** (*Forficula auricularia* ou *pubescens*) dont les morsures constituent des dommages directs sur les fruits et une porte d'entrée pour les attaques de monilioses, nous avons posé en préventif de la Glu comme barrière physique. Cette méthode alternative a été utilisée sur tous les systèmes en 2019 (y compris S1-REF). La glu a été appliquée assez tard (fin mai) pour bénéficier du rôle d'auxiliaires des forficules pendant le printemps. En complément, une intervention contre les forficules avec du Decis a été réalisée le 4/07 dans S1-REF. Nous avons réalisé des piègeages (rouleau de carton positionné à l'embranchement des charpentières sur 12 arbres/ système) pour suivre le niveau de population présent dans les arbres au cours de la période à forte sensibilité aux attaques sur fruits (fin juin et juillet) (Figure 2). Les résultats montrent une présence de forficules assez similaire dans les arbres sur tous les systèmes jusqu'à mi-juillet (pression plus faible que les années précédentes). Par contre, on observe une forte augmentation des populations dans la dernière décade de juillet et en août sur le système S1-REF (6 à 9 forficules/piège) alors que les populations restent stables sur les systèmes économes (1.5 à 3 forficules/piège). Les plus faibles pressions en forficules observées sur les systèmes économes sont-elles à rapprocher de la présence d'une bâche horticole qui entraîneraient des perturbations (habitat, nourriture) ?

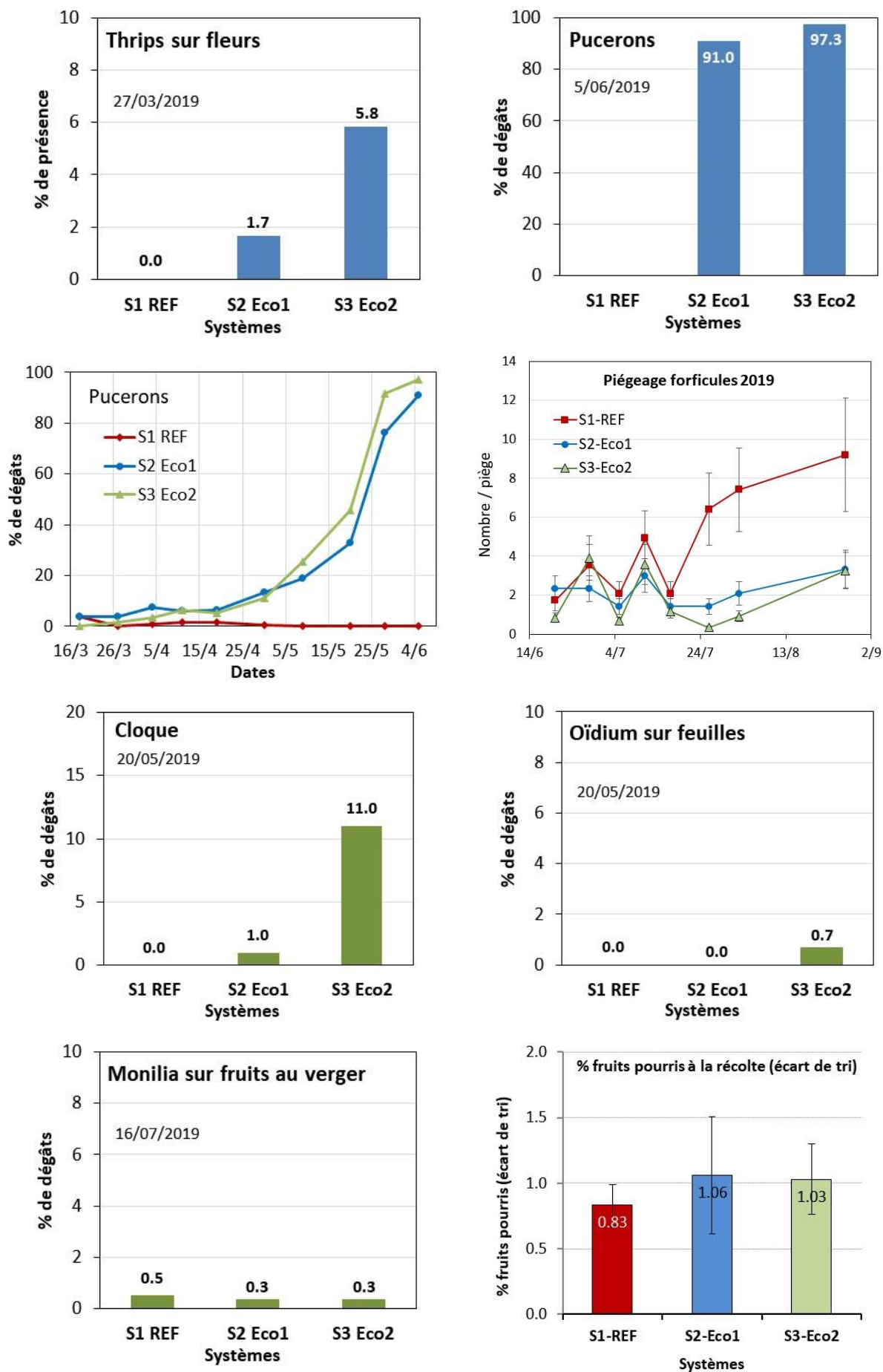


Figure 2. Dégâts observés et présence de bioagresseurs en 2019 sur les différents systèmes aux dates où les symptômes étaient à leur maximum.

- Les dégâts occasionnés par la **cloque** (*Taphrina deformans*) ont été très faibles sur S1-REF et S2-Eco1. Même si les conditions climatiques n'ont pas été très favorables à cette maladie, on peut noter une assez bonne efficacité de la stratégie associant du BNA Pro (produit de biocontrôle) à des produits à base de cuivre, mais aussi du captane (Stratégie du S2-Eco1) par rapport à une stratégie purement conventionnelle (S1-REF). Cependant, les écarts entre S2-Eco1 (1 % de dégâts) et S3-Eco2 (11 % de dégâts) s'expliquent sans doute par la présence d'une intervention fin floraison à base de captane (S2) vs une microdose de cuivre (S3). Ceci semble indiquer que le BNA Pro n'a pas une efficacité suffisante pour contrôler les premières contaminations et qu'il faudrait l'associer à des stratégies où il y a des molécules à très bonne efficacité contre la cloque.
- On note une absence totale de dégâts d'**oïdium** sur les feuilles sur S1-REF et S2-Eco1 et les fruits (résultats non présentés). Quelques symptômes présents sur S3-Eco2.
- Pour la **moniliose** (*Monilinia sp.*) en vergers, les dégâts sur fruits sont très faibles lors de la dernière observation en verger (16/07/2019, entre 0,3 et 0,5 % selon les systèmes, n= 600 fruits/système). Les écarts de tri liés aux fruits touchés par les monilioses (cumul sur les 3 cueilles) sont faibles et d'un niveau assez comparable entre les systèmes (0,81 à 1,06 %). Les pertes liées aux monilioses sont donc assez modérées en 2019 du fait d'un printemps et début d'été très sec. On constate aussi que les pertes liées aux monilioses au verger sont identiques sur les 3 systèmes, en dépit des stratégies de protection très différentes avec 3 traitements fongicides anti-monilioses sur S1-REF, 0 traitement sur S2-Eco1 et 3 interventions avec un nouveau produit de biocontrôle sur S3-Eco2 (JULIETTA, *Saccharomyces cerevisiae*). L'analyse sur la tenue des fruits en conservation sera faite dans le §3.4.

Globalement, à l'exception des pucerons sur S2 et S3, la plupart des bioagresseurs ont été bien contrôlés en 2019 au cours de la période de végétation.

Bilan des Indices de Fréquence des Traitements (IFT)

Le tableau 5 présente les différents types d'IFT calculés sur EcoPêche. L'IFT hors produits de biocontrôle (« chimique ») correspond à l'indicateur de référence calculé avec la méthode définie depuis 2016 c'est-à-dire la dose utilisée / dose minimale homologuée sur l'espèce et la cible concernées. L'objectif d'EcoPêche est de réduire de 50 % cet IFT « chimique ». L'IFT biocontrôle correspond aux produits de biocontrôle identifiés dans la « liste des produits entrant dans le calcul du NODU "vert" Biocontrôle au titre de l'année 2019 par le Ministère de l'agriculture. L'IFT total qui est la somme des IFT hors produits de biocontrôle (chimique) + IFT biocontrôle est présenté car il donne une idée de l'utilisation totale de produits pour protéger la culture. Ces calculs ont été réalisés par catégories de produits phytopharmaceutiques (herbicide, fongicide, insecticide et autres produits) pour identifier les groupes de bioagresseurs générant le plus de traitements. Les réductions ou augmentations d'IFT sont calculées par rapport au système de référence (S1-REF).

Tableau 5. Indice de Fréquence des Traitements (IFT) selon les catégories de produits et les types d'IFT sur les 3 systèmes de culture à l'Inra Avignon campagne 2019. Les méthodes de calcul font références à la dose homologuée sur l'espèce et l'usage. Le symbole * signifie que l'IFT de biocontrôle a été multiplié par rapport au système de référence.

Type d'IFT	Systèmes	herbicide	fongicide	insecticide	autre	Total	% vs REF
IFT Total	S1-REF1	0.95	11.00	7.00	0.50	19.45	
	S2-Eco1		6.89	3.50	0.50	10.89	-44.0
	S3-Eco2		9.05	3.50	0.50	13.05	-32.9
IFT "chimique"	S1-REF1	0.95	11.00	6.00	0.50	18.45	
	S2-Eco1		2.89	0.00	0.00	2.89	-84.3
	S3-Eco2		2.05	0.00	0.00	2.05	-88.9
IFT biocontrôle	S1-REF1	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	
	S2-Eco1		4.00	3.50	0.50	8.00	* 8.0
	S3-Eco2		7.00	3.50	0.50	11.00	* 11.0

Sur le système de référence (S1-REF1) de l'essai Nectarlove (figure 3), les produits fongicides représentent 57 % des IFT totaux, les insecticides représentent 36 % et les herbicides 4.9 %. Les systèmes économes ont permis une réduction de 44 % (S2) et 33 % (S3) des IFT totaux. Si on considère les IFT hors produits de biocontrôle (« chimiques »), la diminution est de -84 % sur S2-Eco1 et -89 % sur S3-Eco2 grâce pour partie à une substitution avec des produits de biocontrôle (1 IFT biocontrôle sur

REF1 vs 8 sur S2 et 11 sur S3 soit une multiplication par 8 et 11). Cependant, la substitution par les produits de biocontrôle n'explique que 43 % (S2) et 60 % (S3) de la réduction d'usage des IFT chimiques, 44 % à 33 % de la diminution des IFT chimique s'explique par l'utilisation de méthodes culturales, de barrières physiques ou des impasses jugées possibles du fait du suivi précis des bioagresseurs sur le verger et l'acceptation d'une prise de risque plus élevée.

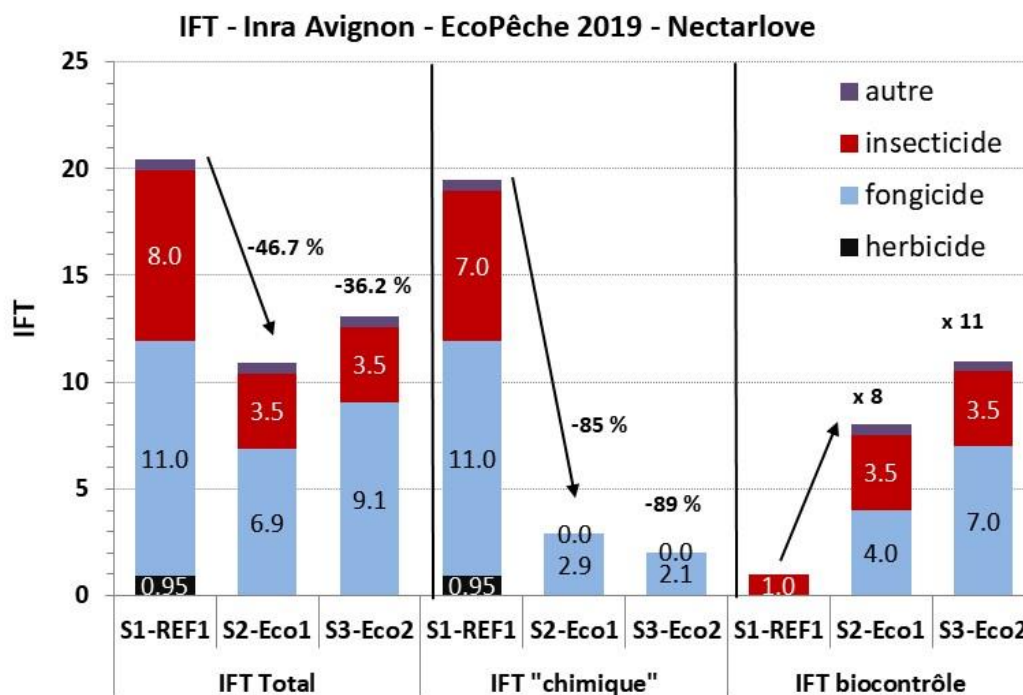


Figure 3. Indice de fréquence des traitements (IFT) basé sur un calcul faisant référence à la dose minimale homologuée sur l'espèce et la cible à l'Inra Avignon avec 3 systèmes (S1-REF1 ; S2-Eco1 ; S3-Eco2) pour la campagne 2019.

Le tableau 6 montre la répartition des IFT par cible. La suppression des herbicides ne fait pas gagner beaucoup d'IFT, mais l'impact sur l'enjeu qualité de l'eau est très positif. L'IFT biocontrôle sur S1-REF est dû à la confusion sexuelle. Dans les systèmes économes, nous avons utilisé la confusion sexuelle et des microorganismes (*Bacillus thuringiensis*) contre la tordeuse. Contre le thrips, nous avons utilisé un produit de biocontrôle (talc) et miser sur la suppression des fruits touchés au moment de l'éclaircissage. La glu, est une barrière physique contre les forficules qui ne génère pas d'IFT (utilisée sur tous les systèmes). Contre l'oïdium, nous avons réalisé 3 intervention avec du soufre (produit de biocontrôle). Enfin, nous avons fortement réduit les interventions préventives contre le monilia (impasse sur S2, 3 traitements avec un produit de biocontrôle sur S3).

Tableau 6. Indice de Fréquence des Traitements (IFT) selon les cibles sur les 3 systèmes de culture à l'Inra Avignon pour la campagne 2019.

Catégories produits	cible	S1 - REF		S2 - Eco1		S3 - Eco2	
		IFT chimique	IFT biocontrôle	IFT chimique	IFT biocontrôle	IFT chimique	IFT biocontrôle
herbicide	Adventices	0.95					
fongicide	Bacterioses	1.00		1.00		1.00	
	Cloque(s)	4.00		1.89	1.00	1.05	1.00
	Oïdium(s)	3.00			3.00		3.00
	Monilioses	3.00					3.00
insecticide	Stad. Hivern. Ravageurs				1.00		1.00
	Pucerons	2.00					
	Thrips	1.00			0.50		0.50
	Chenilles foreuses des fruits	3.00	1.00		2.00		2.00
	Forficules (couplé avec chenilles)	x					
Autre (molluscide, barrière physique)	Glu (barrière physique)		x		x		x
	Limaces et escargots	0.50			0.50		0.50
Total		18.45	1.00	2.89	8.00	2.05	11.00
Total Général		19.45		10.89		13.05	

En 2019, nous avons significativement modifié les stratégies des systèmes économes en introduisant de nouvelles méthodes à base de biocontrôle que cela soit au niveau de la cloque et des monilioses. Nous avons aussi supprimé tous les insecticides chimiques des programmes, notamment sur les pucerons.

Ces stratégies permettent une réduction très importante (84 à 89 %) des IFT hors produits de biocontrôle (« chimique »), avec un contrôle correct des dégâts en végétation, excepté pour le puceron où l'absence de méthodes alternatives suffisamment efficaces se fait fortement sentir. Ces fortes réductions d'IFT s'accompagnent donc d'une augmentation importante de la prise de risque et sont sans doute assez dépendantes des conditions climatiques pour les maladies de conservation.

3.2 Bilan eau d'irrigation et fertilisation

Bilan irrigation

Les apports d'eau d'irrigation couvrent le déficit calculé par bilan hydrique $Kc.ETP - P$ sur la période du 1 avril au 30 septembre 2019 pour le système S1-REF1 (figure 4). L'année exceptionnellement sèche explique les volumes d'eau utilisés. Sur les systèmes économes, les quantités d'irrigation ont été réduites de 26 % sur S2-Eco1 et S3-Eco2 (tableau 7).

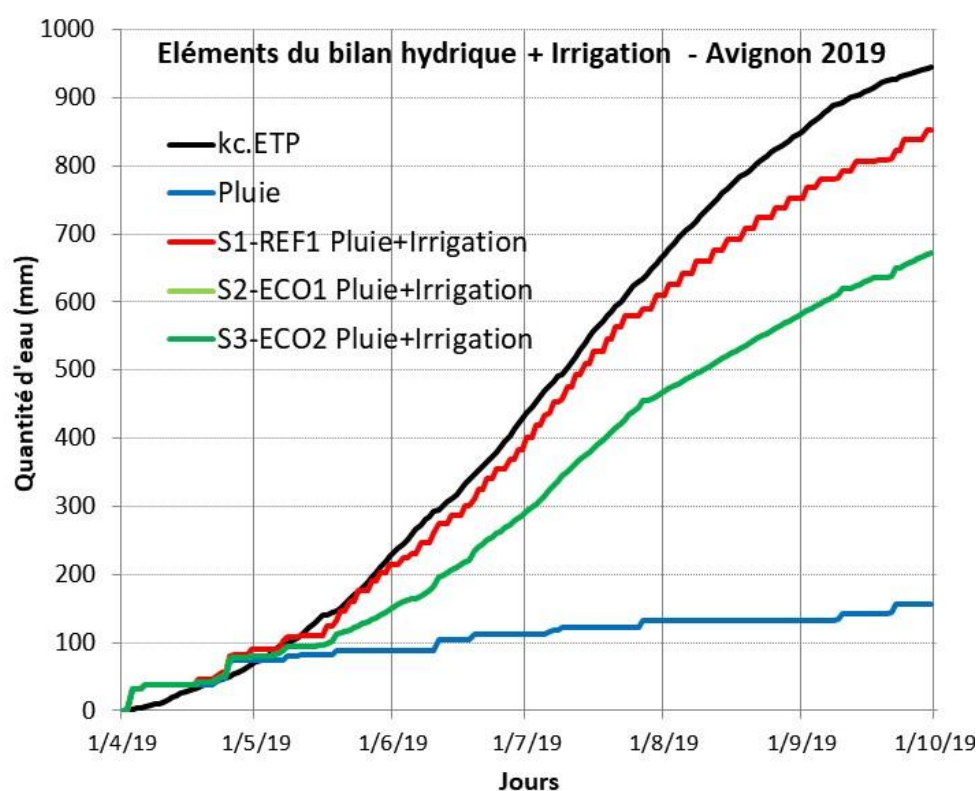


Figure 4: Bilan hydrique et quantités d'eau apportées par l'irrigation sur les 3 systèmes (S1 à S3) à l'Inra d'Avignon en 2019. Période du 1 avril 2019 ; arrêt complet irrigation : 30 septembre 2019.

Tableau 7. Eléments du bilan hydrique sur les différents systèmes de culture du site Inra Avignon pour la campagne 2019. Les pourcentages de réduction d'irrigation sont calculés par rapport au système REF.

Systèmes	ETP	kc.ETP	Pluie	P - Kc.ETP	Irrigation (mm)	% réduction vs REF
S1-REF1	971	946	157	789	696	
S2-ECO1					515	-26
S3-ECO2					515	-26

La réduction obtenue sur les systèmes S2 et S3 a été appliquée assez tôt en saison et s'est poursuivie en juin et juillet. L'objectif de cette réduction hydrique est de limiter le développement du monilia en évitant la formation de microfissures à la surface des fruits et d'améliorer la teneur en sucre des fruits.

Bilan fertilisation

Sur le système de référence (figure 5), les quantités biodisponibles d'azote ont été de 150 kg N/ha (S1-REF1). Sur les systèmes S2 et S3, il n'y a pas eu d'apport d'amendement organique sur le rang. Les quantités d'azote ont été apportées majoritairement par la ferti-irrigation pour totaliser 115 kg N/ha. La réduction de -23 % par rapport à S1-REF1 se justifie par une meilleure efficacité attendue de l'utilisation de l'azote grâce aux apports localisés au niveau du système racinaire par la ferti-irrigation. Les contrôles du statut azoté des arbres confirment cette hypothèse.

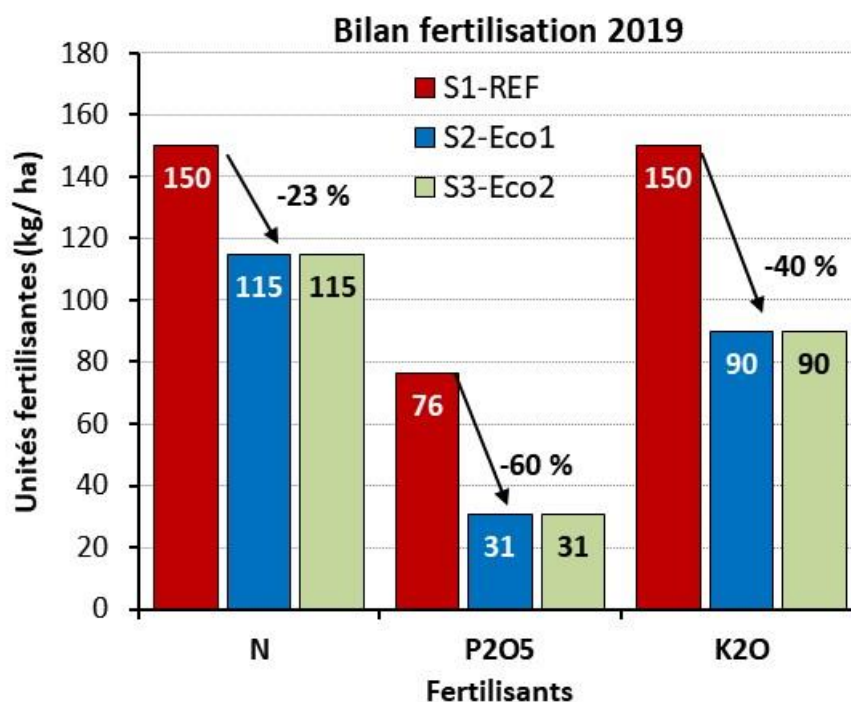


Figure 5. Quantités d'éléments fertilisants apportées sur les différents systèmes à l'Inra Avignon pour la campagne 2019

Les apports en phosphore ont été de 76 kg P2O5/ha sur S1-REF. Les quantités apportées sur S2-Eco1 et S3-Eco2 ont été réduites de 60 %. Les apports de potassium de 150 kg K2O/ha sur S1-REF ont été réduits de -40% sur S2 et S3.

3.3 Croissance végétative et des fruits

Vigueur des arbres

L'indicateur utilisé est la section des troncs qui est une variable intégratrice intéressante pour évaluer l'effet des systèmes sur la dynamique de croissance globale des arbres dans des vergers assez jeunes pas trop restructurés.

A la fin de la campagne 2014, la vigueur était significativement supérieure sur S2-Eco1 par rapport à S3-Eco2, et S1-REF1 avait une vigueur intermédiaire (figure 6). La différence entre S2 et S3 peut s'expliquer par la plus forte densité de plantation et le mode de conduite (début de concurrence entre arbre).

En fin de campagne 2015, la vigueur des arbres est significativement différente entre tous les systèmes ($F=25,6$; $P>0.001$) avec $S1 > S2 > S3$. La croissance annuelle a été beaucoup plus faible sur S2 et S3 par rapport à S1-REF, sans doute liée à l'attaque de cloque qui a bloqué la croissance au cours du printemps.

En fin de campagne 2016 (mesure de février 2017), les sections ne sont pas significativement différentes entre S1-REF1 (67.2 cm²/arbre) et S2-Eco1 (62.2 cm²/arbre), avec une croissance annuelle similaire. Par contre, les sections sont significativement plus faibles sur S3-Eco2 (50.0 cm²/arbre, $F = 23.9$, $P < 0.0001$) du fait d'une croissance annuelle beaucoup plus réduite.

En fin de campagne 2017 (mesure de fin janvier 2018), les sections ne sont pas significativement différentes entre S1-REF1 (75.3 cm²/arbre) et S2-Eco1 (76.9 cm²/arbre), même si la croissance annuelle a été plus forte sur S2. Par contre, les sections sont très significativement plus faibles sur S3-Eco2 (60.8 cm²/arbre, $F = 16.3$, $P < 0.0001$).

En 2018, la croissance annuelle a été statistiquement différente ($F= 3.37$; $P = 0.047$) entre le système S3-Eco2 et les systèmes S1-REF et S2-Eco1 (figure 6), conduisant à un classement des vigueurs cumulées distinguant nettement S1-REF (92.6 cm^2) = S2-Eco1 (95.0 cm^2) > S3-Eco2 (74.6 cm^2).

En 2019, la croissance annuelle a été statistiquement différente ($F= 6.54$; $P = 0.004$) entre le système S3-Eco2 et les systèmes S1-REF et S2-Eco1 (figure 6), conduisant à un classement des vigueurs cumulées distinguant nettement S1-REF (107.1 cm^2) = S2-Eco1 (109.7 cm^2) > S3-Eco2 (84.0 cm^2).

Globalement, les stratégies de protection et de gestion du verger ne conduisent pas à une différenciation de la croissance des arbres entre S1-REF et S2-Eco1. Par contre, l'augmentation de la densité de plantation provoque une diminution de la croissance individuelle des arbres sur S3-Eco2. Cependant, en tenant compte de la densité des arbres, la section de tronc représente 5.77 m^2 sur S1, 5.92 m^2 sur S2 et $7.09 \text{ m}^2/\text{ha}$ sur S3 traduisant une augmentation de la biomasse totale produite par le système à plus forte densité de plantation dans la phase juvénile du verger.

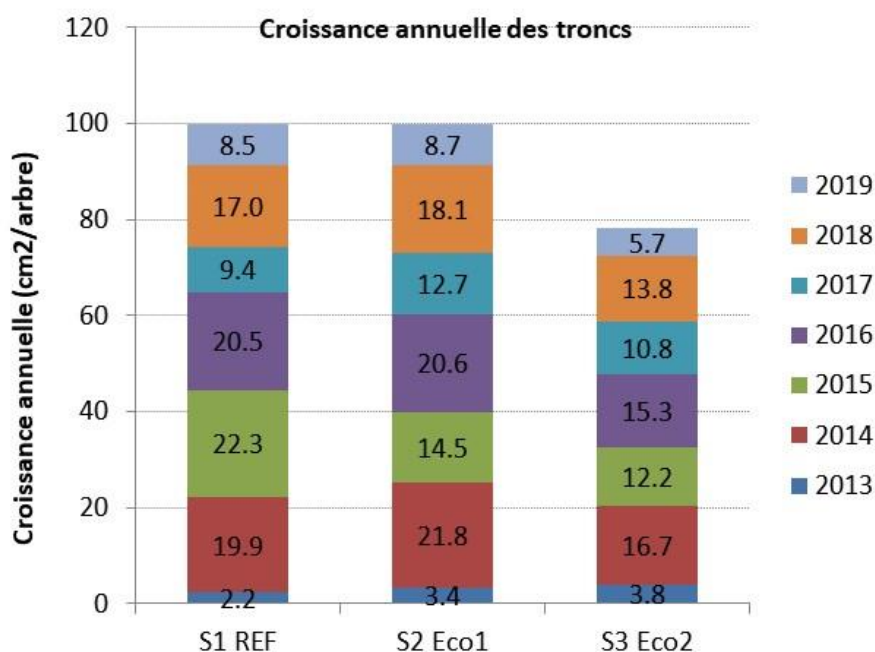
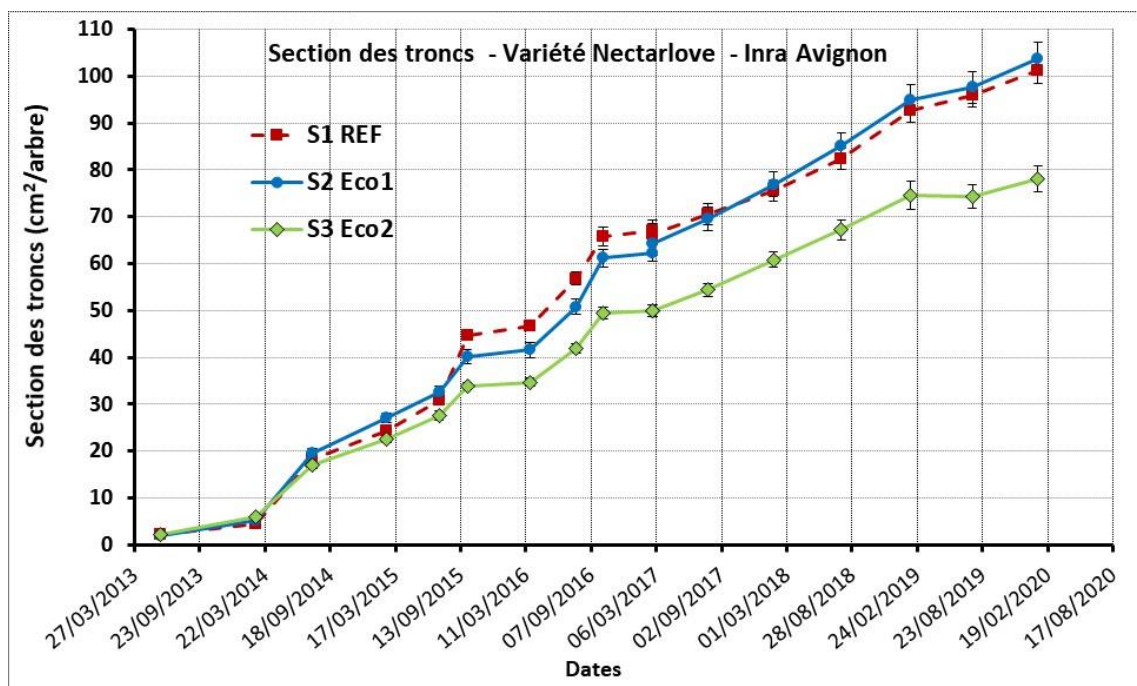


Figure 6. Dynamique de croissance des troncs et croissance annuelle en fonction des systèmes de culture dans le dispositif Nectarlove de l'Inra Avignon (plantation février 2013).

Croissance végétative et nutrition azotée

La croissance en longueur des pousses est statistiquement similaire sur les 3 systèmes sur l'ensemble de la saison 2019 malgré les petites différences visibles sur la figure 7. Par exemple, les différences observées le 16/07/2019 (S1=41.7 cm, S2=45.2 cm et S3=40.3 cm ne sont pas significatives du fait d'une grande variabilité intra système entre les pousses, $F=0.968$, $P=0.38$). Sur S2 et S3, l'attaque de pucerons a ralenti la croissance courant juin et on observe une ré-émergence de feuilles au mois de juillet après le départ des pucerons.

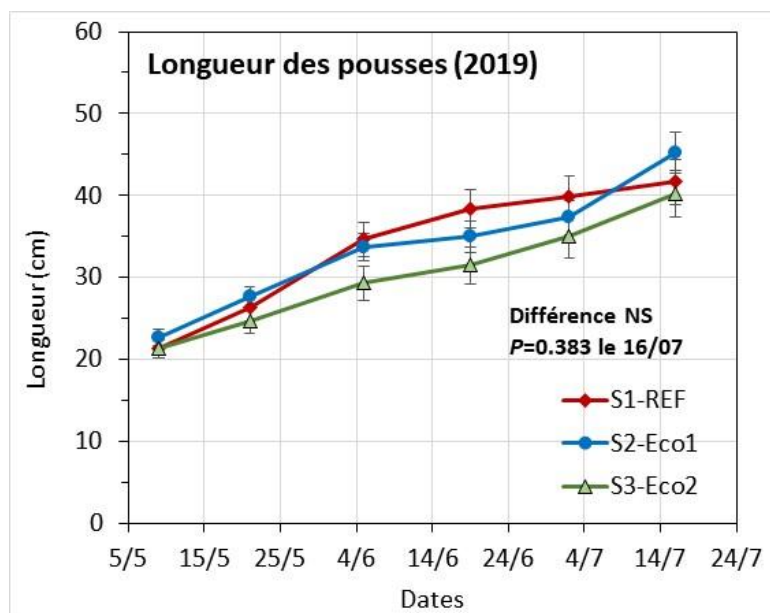


Figure 7. Croissance en longueur des pousses (cm) sur 3 systèmes de culture de l'essai nectarlove de l'Inra Avignon en 2019

Les cinétiques de surface moyenne d'une feuille (figure 8) ne montrent pas de différences très importantes entre les 3 systèmes, même si la surface des feuilles du système S3-Eco2 semble sensiblement plus faibles que pour les autres systèmes. A noter que suite à la forte attaque de pucerons ayant occasionné d'importants dégâts sur les feuilles et un blocage de l'émission foliaire sur la période du mois de juin, les prélèvements de d'août à octobre ont concerné de nouvelles feuilles (5ième feuille au-dessous de la zone apicale) émises au-dessus des zones d'attaque.

De même, malgré les différenciations des apports d'engrais azotés, il ne ressort pas de différences marquées entre les systèmes (figure 8) pour un indicateur de l'état chlorophyllien (chlorophyll meter, SPAD Minolta) qui est généralement assez bien corrélé avec la teneur en azote des feuilles.

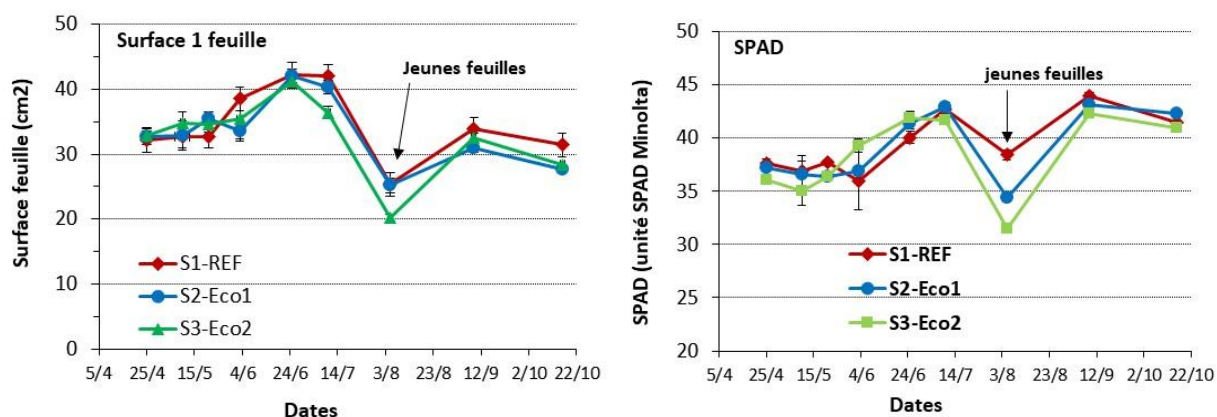


Figure 8. Cinétiques d'une surface moyenne d'une feuille et des concentrations en azote dans les feuilles sur 3 systèmes de culture de l'essai Inra Avignon en 2018

Fin juin (stade de réalisation du diagnostic foliaire, 105 jours après floraison), les teneurs en N montrent cependant une teneur en azote significativement plus élevée sur le système S1-REF (35.4 ± 0.24 g N/kg de MS foliaire) par rapport à S2-Eco1 (30.0 ± 0.8 g N/kg) et S3-Eco2 (29.7 ± 0.9 g N/kg de M S de feuilles) même si les teneurs sont dans ou proche des teneurs considérées comme optimale (30 à 35 g N/kg) pour une alimentation azotée satisfaisante pour les 3 systèmes.

Croissance des fruits

Les cinétiques de croissance diamétrale des fruits montrent une différenciation progressive entre les différents systèmes (figure 9). Le système S3-Eco2 a des fruits significativement plus petits que ceux de S1-REF à partir du 28 mai. Les diamètres des fruits de S2-Eco1 deviennent significativement inférieurs à ceux de S1-REF à partir du 14 juin. Par contre, les différences de diamètre des fruits entre S2-Eco1 et S3-Eco2 sont non significatives même s'il existe une tendance à avoir de plus gros fruits sur S2 par rapport à S3. Entre le 15 et 23 juillet, les écarts qui semblent s'estomper s'expliquent par une maturité un peu plus avancée sur S1 avec un plus grand nombre de gros fruits prélevés par les cueilles sur S1 avant les mesures du 23/07.

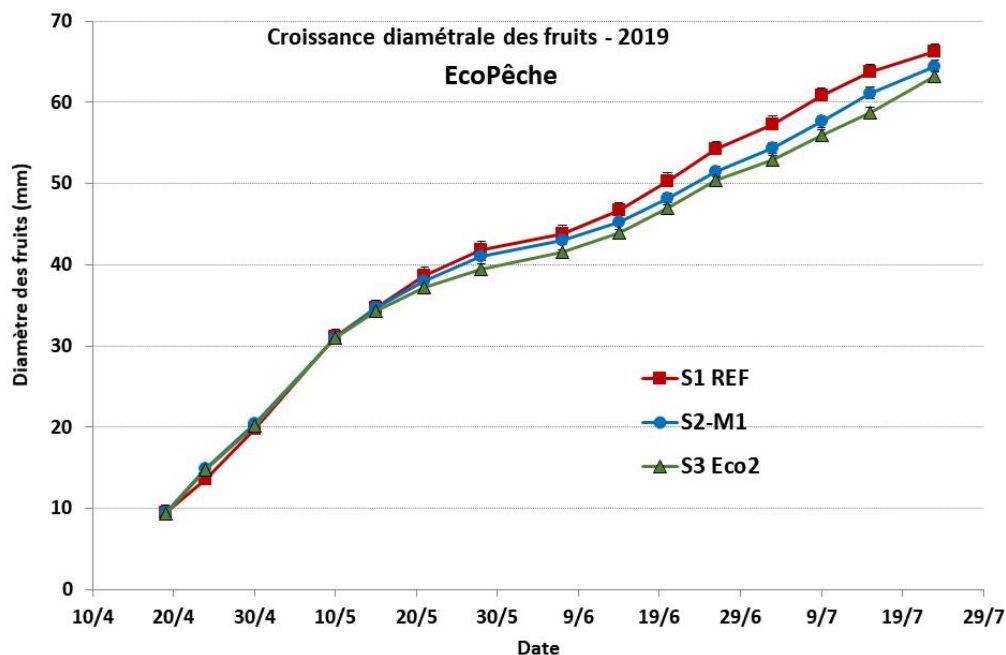


Figure 9. Cinétiques de croissance diamétrale des fruits sur 3 systèmes de culture de l'essai Nectarlove de l'Inra Avignon en 2019

Les différences de croissance des fruits entre S1-REF et S2-Eco1 et surtout S3-Eco2 pourraient être liées à de nombreux facteurs (charge en fruits, gestion de la fertilisation et de l'irrigation, etc.). L'analyse de l'ensemble des données semble cependant permettre d'avancer l'hypothèse que c'est la forte attaque de pucerons, combinée à une charge peut-être légèrement trop forte sur S3-Eco2 et à une ferti-irrigation un peu trop optimisée sur les 2 systèmes économes qui aurait eu le plus d'impact sur la croissance des fruits par le blocage de la croissance des pousses et la destruction d'une partie des feuilles.

3.4 Récolte et qualité des fruits

Les principaux résultats de la récolte 2019 sont présentés tableau 8 pour la **variété Nectarlove**. La récolte a été réalisée en 3 cueilles sur les 3 systèmes (du 18 au 30 juillet 2019). Pour rappel, ces données correspondent à un verger en 7^{ième} feuille.

La **charge en fruits** visée était de 500 fruits/arbre sur les systèmes à densité de plantation de 571 arbres/ha et de 380 fruits/arbre sur S3-Eco2 (tableau 8). Au final, elle était un peu plus élevée sur tous les systèmes : S1-REF = 535 ± 23 fruits/arbre ; S2-Eco1 = 543 ± 23 fruits/arbre et S3-Eco2 = 409 ± 16 fruits/arbre. En intégrant les chutes de fruits juste avant et pendant la période de récolte, le nombre de fruits récoltés / arbre est présenté figure 10. Seul le système S3-Eco2 se différencie statistiquement des deux autres avec 380 fruits/arbre par rapport à 497 fruits sur S1-REF et 501 fruits/arbre sur S2-Eco1. Le nombre de fruits récoltés /ha est cependant plus élevé sur S3-Eco1 (345 269) que sur S2-Eco1 (286 214) et S1-REF (283 787 fruits/ha) du fait de la plus forte densité d'arbres.

Le **rendement brut** récolté était non significativement différent entre S1-REF (46.0 t/ha) et S2-Eco1 (43.3 t/ha soit -6 %, test de Tukey $P=0.506$) et S3-Eco2 (50.5 t/ha, +10 % par rapport S1, test de Tukey $P=0.157$), mais les différences de rendement étaient significatives entre S2-Eco1 et S3-Eco2 (test de Tukey $P=0.013$) (figure 10). Ces différences de rendement sont liées à la conjonction des différences quant aux nombres de fruits par hectare et aux poids moyens des fruits, qui s'avèrent similaires entre S1-REF (162,9 g) et S2-Eco1 (152,9 g, différence non significative au test de Tukey $P=0,138$) mais significativement plus petits sur S3-Eco2 (147,1 g, $P=0.011$ par rapport à S1-REF). Cette perte de

calibre sur le système S3-Eco2 conduit à des % A et plus nettement inférieurs à ceux observés sur les autres systèmes (S1-REF = 80.2 %, S2-Eco2 = 78.0 %, S3-Eco2 = 64.7 % de A et plus).

Tableau 8 : Principaux résultats observés à la récolte des fruits sur les 3 systèmes de l'essai Inra Avignon pour la campagne 2019. Les premières lignes présentent des données à l'échelle de l'arbre. Les indicateurs de performance sont ensuite calculés à l'hectare pour intégrer l'effet densité de plantation (moyenne \pm erreur standard, n=12 répétitions/système).

	S1-REF	\pm ES	S2-ECO1	\pm ES	S3-ECO2	\pm ES	S2-ECO1 en % REF	S3-ECO2 en % REF
Résultats à l'échelle de l'arbre								
Nbre total Fruits /arbre	535	22.9	543	23.1	409	16.2	2%	-24%
Nbre fruits au sol/arbre	38	3.7	42	4.9	29	2.1	11%	-23%
Nbre fruits récoltés/arbre	497	22.3	501	23.9	380	16.2	1%	-24%
Poids brut fruits (sol+récoltés)(kg/arbre)	86.6	2.7	82.3	2.7	59.8	2.3	-5%	-31%
Poids brut fruits récoltés (kg/arbre)	80.5	2.7	75.8	2.4	55.5	2.3	-6%	-31%
Poids Moyen 1 Fruit (g)	162.9	2.3	152.9	4.3	147.1	3.9	-6%	-10%
% Fruits tombés au sol	7.1	0.7	7.9	0.9	7.2	0.6	10%	2%
% Fruits pourris (écart de tri)	0.8	0.2	1.1	0.4	1.0	0.3	27%	24%
% Fruits piqués (écart de tri)	5.71	0.62	11.55	0.97	8.99	1.31	102%	57%
% Défauts d'épiderme (écart de tri)	9.3	0.6	6.5	1.0	10.9	1.4	-30%	18%
% pertes (écart de tri fruits récoltés)	17.2	1.1	20.6	1.1	22.9	1.9	20%	33%
% pertes totales (sol + écart de tri)	23.0	1.5	26.9	1.3	28.4	2.1	17%	23%
Poids total pertes fruits (kg/arbre)	13.7	0.9	15.4	0.8	12.4	0.9	12%	-9%
Indicateurs de performance agronomique / ha								
Nbre d'arbres/ha	571		571		909		0%	59%
Nbre total Fruits /arbre	305 390	13 101	310 100	13 202	371 630	14 729	2%	22%
Nbre Fruits Récoltés / ha	283 787	12 742	286 214	13 622	345 269	14 729	1%	22%
RDT brut (t/ha) (avec fruits tombés sol)	49.5	1.6	47.0	1.5	54.4	2.1	-5%	10%
RDT brut récolté (t/ha)	46.0	1.5	43.3	1.4	50.5	2.1	-6%	10%
Pertes de fruits récoltés (t/ha)	7.8	0.5	8.8	0.4	11.3	0.9	12%	44%
% perte fruits récoltés	17.2	1.1	20.6	1.1	22.9	1.9	20%	33%
Rdt commercialisable (t/ha)	38.1	1.5	34.4	1.4	39.2	2.3	-10%	3%
%Aplus	80.2	2.2	78.0	3.1	64.7	4.5	-3%	-19%
Rdt Com. A et plus (t/ha)	30.5	1.3	26.7	1.3	25.2	2.2	-12%	-17%
IR pondéré /masse (% Brix)	14.0	0.25	13.1	0.19	12.2	0.24	-6%	-13%

Les pourcentages de **pertes de récolte** liées aux écart de tri (dégâts des bioagresseurs, défauts visuels et fruits de calibres non commercialisables (< calibre C)) augmentent progressivement de S1-REF (17.2 %) à S2-Eco1 (20.6 %) et S3-Eco2 (22.9 %), les différences étant significatives entre S1 et S3 (test de Tukey $P = 0.023$) mais pas entre S1 et S2 ($P=0.232$) (figure 10). La prise en compte des fruits tombés au sol avant et pendant les récoltes ne modifient pas les classements entre les systèmes (tableau 8) car les pourcentages de chute sont similaires (entre 7 et 8 %). A noter que les écarts de tri sont majoritairement dus aux défauts d'épiderme (liés à des bioagresseurs comme les thrips, les escargots, aux pucerons...) mais aussi à des phénomènes physiques comme les frottements), ainsi qu'aux piqûres et morsures de certains bioagresseurs (essentiellement des guêpes et des forficules dans nos conditions expérimentales). Les dégâts des bioagresseurs s'avèrent significativement supérieurs sur les systèmes économes mais sans qu'il soit vraiment facile d'identifier les bioagresseurs responsables (il semble y avoir moins de dégâts de forficules mais plus de dégâts causés par les guêpes et les pucerons).

Les rendements commercialisables étaient statistiquement similaires entre S1-REF (38.1 \pm 1.5 t/ha), S2-Eco1 (34.4 \pm 1.4 t/ha) et S3-Eco2 (39.2 \pm 2.3 t/ha, $F = 1,91$ $P < 0.164$), même si on observe une différence de 4,7 t/ha entre S2 et S3. Ainsi malgré la forte attaque de pucerons, les systèmes économes permettent une production commercialisable du même niveau que celui du système de référence, tout en ayant bénéficié d'une très forte diminution des traitements phytosanitaires. Comme depuis les 3 dernières années, le système S3-Eco2 s'avère encore légèrement le plus performant sur le critère du rendement. Par contre, du fait d'une perte de calibre sur S3 en raison d'un excès de charge combiné à l'attaque de pucerons, c'est le système S1-REF qui a le meilleur rendement commercial en A et plus, présageant un meilleur chiffre d'affaire.

L'indice réfractométrique est statistiquement supérieur sur le système S1-REF par rapport aux deux systèmes économes (S1-REF = 14.0 % Brix; S2-Eco1 = 13.1 % et S3-Eco2 = 12.2 % Brix ; $F = 15.12$ $P < 0.0001$), contrairement aux résultats des années précédentes. Cette réduction des IR est sans doute attribuable à la forte attaque de pucerons qui a impacté le bilan carbone. En effet, sur le système S2-Eco1 où l'irrigation a été diminuée par rapport à S1, et où il y a une charge en fruits identique et une répartition en calibre assez similaire à S1-REF, l'indice réfractométrique est significativement plus faible.

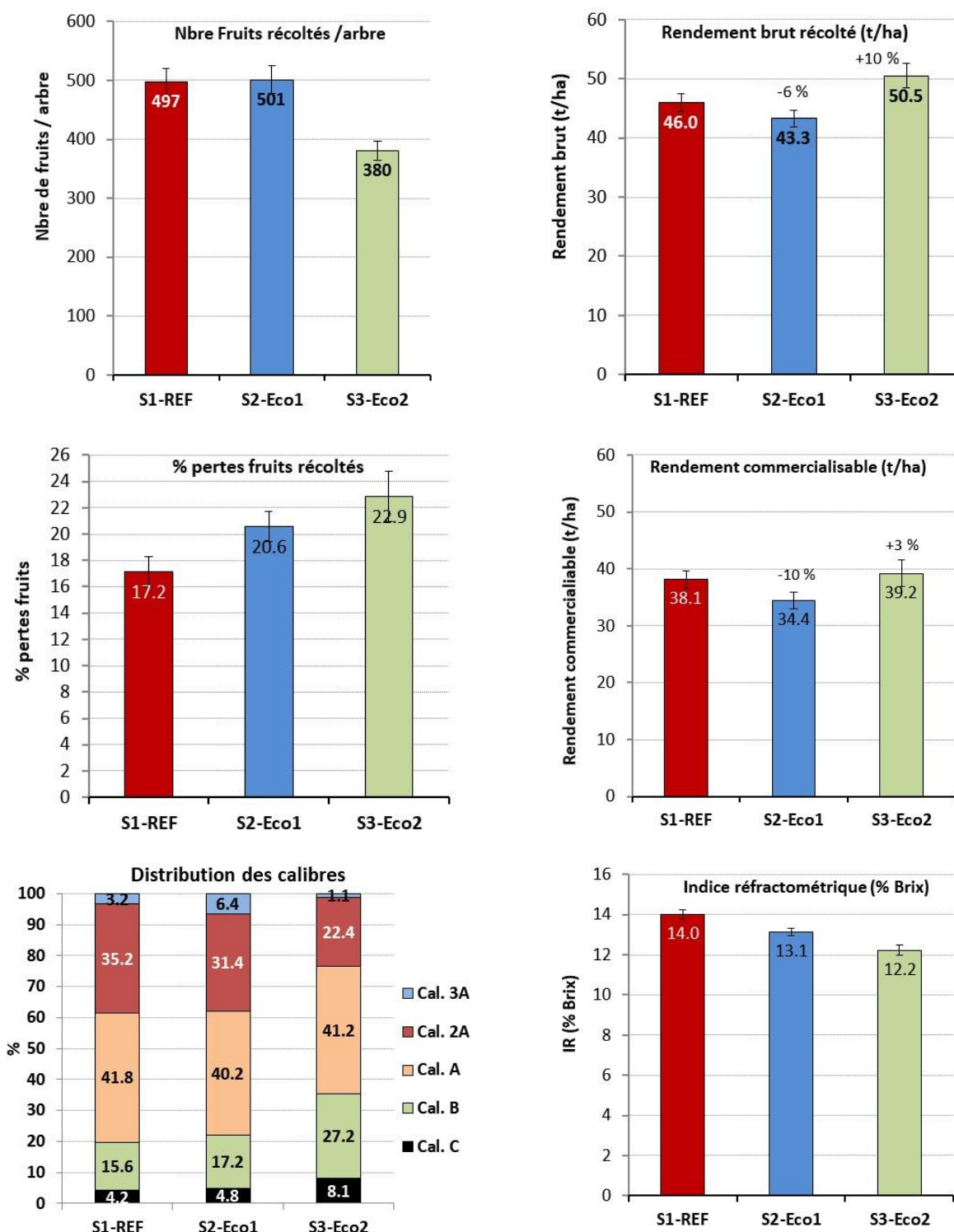


Figure 10. Nombre de fruits/arbre, rendement brut et commercialisé (t/ha), pertes de fruits à la récolte, poids moyen des fruits (g), répartition des calibres et indice réfractométrique (% Brix) sur les différents systèmes de l'essai Nectarlove à l'Inra d'Avignon en 2019

La tenue des fruits en conservation (128 fruits sans aucun signe de défaut placés dans des plateaux alvéolés dans une pièce à 20 °C après un passage au froid à 4 °C pendant 48 h.) a été observée pendant 19 jours après la récolte (fruits prélevés lors de la cueille1, 18/07/2019, calibre A et 2A) et pendant 13 jours après la cueille 2 (25/07/2019, calibre A et 2A). La figure 11 montre une très bonne tenue des fruits de la cueille 1. Même si les différences ne sont pas significatives même lorsque les écarts sont au maximum, le système S1-RE, ayant reçu 3 traitements anti-monilia, se distingue par une absence de fruits pourris jusqu'au 14^{ième} jour. Les systèmes économes se comportent très bien (moins de 4% de fruits pourris 10 jours après la cueille). Cependant, le système S3-Eco2 qui a bénéficié de 3 interventions avec un produit de biocontrôle à base *Saccharomyces cerevisiae* présente une légère meilleure tenue des fruits que S2-Eco1 qui n'a reçu aucune intervention anti-monilia. A partir du 18^{ième}

jour de conservation, les pourritures s'intensifient fortement sur l'ensemble des systèmes. Lors de la cueille 2, il y a absence de pourriture de fruits sur tous les systèmes jusqu'au 5^{ème} jour. Le % de fruits pourris augmente ensuite plus rapidement sur S3-Eco2 par rapport à S2-Eco1 et S1-REF. Sur l'ensemble des systèmes, 13 jours après la cueille, les 3 systèmes se différencient significativement, avec un classement des intensités allant de S3 > S2 > S1. Ces résultats post-récolte montrent l'effet des traitements fongicides anti-monilioses (3 traitements sur S1-REF) comparés à l'absence de traitement sur S2-Eco1 et à 3 applications d'un produit de biocontrôle sur S3-Eco2. Le produit de biocontrôle a une efficacité nettement inférieure aux fongicides de synthèse, mais il semble assurer une certaine protection lors de la cueille 1 par comparaison à 0 traitement. Toutefois cette efficacité ne perdure pas longtemps puisque lors de la cueille 2, les fruits s'avèrent aussi sensibles, voire plus sensibles que sur le système n'ayant reçu aucune protection même si d'autres paramètres peuvent biaiser cette comparaison. Cependant, on observe malgré tout une assez voire une très bonne tenue des fruits sur les systèmes économes jusqu'au 6^{ème} jour (cueille 1) ou 5^{ème} jour (cueille 2) pouvant s'expliquer par les conditions climatiques très chaudes et sèches en fin de maturité des fruits, ainsi que par l'utilisation du levier d'action « gestion de l'irrigation » qui a pu limiter le développement des microfissures.

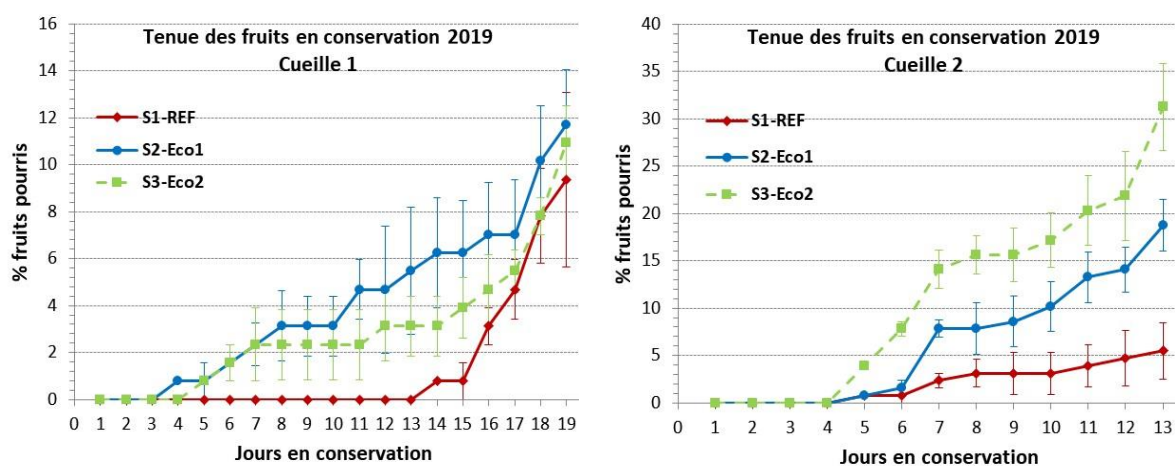


Figure 11. Pourcentage cumulé de fruits « pourris » pendant la conservation des fruits de la cueille 1 et de la cueille 2 (essai Inra Avignon 2019, variété Nectarlove).

3.5 Résultats technico-économiques

Temps de travaux

Les temps de travaux sont issus d'une comptabilisation au bloc parcellaire pour les principaux chantiers manuels et les interventions ponctuelles. Par contre, certaines opérations de faible durée mais répétitives dans le temps ont été comptabilisées de manière forfaitaire (temps/ha pour chaque intervention identique selon les systèmes x nombre d'intervention qui peut varier par système) comme par exemple le temps des traitements phytopharmaceutiques, l'entretien de l'inter-rang, la gestion de l'irrigation, etc.

Sur Nectarlove, le temps des principales interventions réalisées sur les systèmes s'élève au total à 1 219 heures/ha sur S1-REF1, 1 158 h/ha sur S2-Eco1 et 1 249 h/ha sur S3-Eco2. Le temps des 4 chantiers principaux en travail manuel (taille d'hiver, taille en vert, éclaircissage et récolte) s'élève à 1 115 h/ha sur S1, 1 038 h/ha sur S2, et 1 124 h/ha sur S3, soit environ 90 % du temps total. La récolte totalise 506 h/ha sur S1, 476 h/ha sur S2 et 555 h/ha sur S3 ce qui représente 41 % à 44 % du temps total. Les autres chantiers pèsent assez peu par rapport à ces gros chantiers manuels (figure 12).

Les systèmes économes conduisent à une diminution du temps de travail de -5.0 % sur S2-Eco1 et une légère augmentation de +2.5 % sur S3-Eco2 par rapport à S1-REF1. Les temps d'interventions mécaniques sont aussi réduits sur les systèmes économes (38 h/ha pour S1-REF, 30 h/ha pour S2-Eco1 et 33 h/ha sur S3-Eco2). Il ressort donc que les temps de travaux sont assez bien maîtrisés sur les systèmes économes.

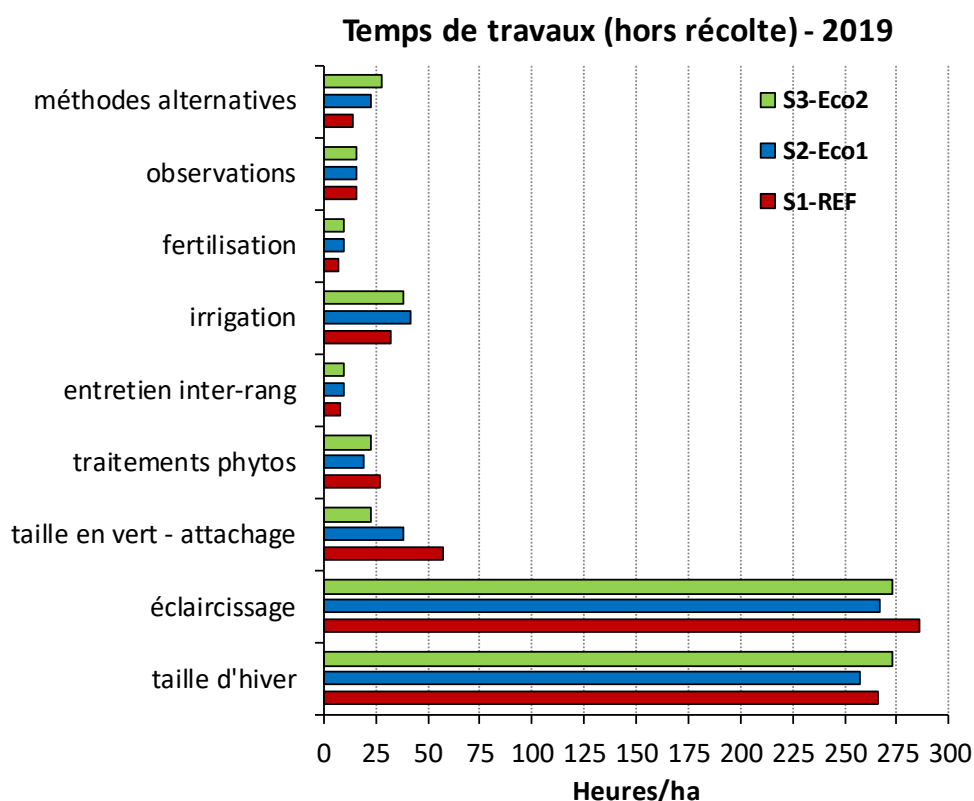


Figure 12. Temps des principaux chantiers (hors récolte) pour la conduite des systèmes dans le dispositif Nectarlove de l'Inra Avignon pour la campagne 2019

Ratios d'efficience techniques et technico-économiques

La petite réduction ou augmentation du rendement commercialisable sur les systèmes économes (-10 % et +3 % sur S2 et S3) impacte faiblement (tableau 9) le ratio nombre d'heures par tonne commercialisée de fruits (+5 % sur S2-Eco1 et 0 % sur S3-Eco2) mais plus fortement le ratio tonne commercialisée de fruits ayant un calibre égal ou supérieur à A (+9 % sur S2-Eco1 et +24 % sur S3-Eco2), du fait d'une réduction des calibres, surtout sur S3. Globalement, l'efficience du travail est donc légèrement diminuée sur les systèmes économes.

A l'inverse, les autres ratios techniques sont fortement diminués ce qui caractérise une nette amélioration de l'efficience des intrants. En particulier, le ratio IFT / tonne commercialisée de fruits est très fortement diminué passant de 0.48 IFT/t sur S1-REF à 0.08 (-83 % vs REF) sur S2-Eco1 et 0.05

IFT/t (-89 % vs REF) sur S3-Eco2. Cette très forte diminution s'explique par la réduction d'usage des produits phytopharmaceutiques par hectare et la préservation du rendement commercialisé liée à la gestion technique des systèmes économes.

Tableau 9 : Principaux critères de performances agronomiques et ratios d'efficacité calculés sur les 3 systèmes de l'essai Nectarlove à l'Inra Avignon pour la campagne 2019.

Indicateurs	S1-REF	S2-Eco1	S3-Eco2	Eco1 vs REF	Eco2 vs REF
Rdt Commercialisable en frais (t/ha)	38.1	34.4	39.2	-10%	3%
%A et plus	80.2	78.0	64.7	-3%	-19%
Rdt Com. A et plus (t/ha)	30.5	26.7	25.2	-12%	-17%
Indice Réfractométrique (IR)	14.0	13.1	12.2	-6%	-13%
Heures totales /ha	1 219.0	1 158.0	1 249.0	-5%	2%
Nb d'Heures / Tonne Commercialisée	32.0	33.6	31.9	5%	0%
Nb d'Heures / Tonne A et + Com.	40.0	43.4	49.5	9%	24%
IFT / Tonne Commercialisée	0.48	0.08	0.05	-83%	-89%
Ferti N : kg N/ T Commercialisée	3.94	3.34	2.93	-15%	-25%
M3 eau irrig. / T Commercialisée	182.6	149.5	131.4	-18%	-28%

Résultats économiques

Le tableau 10 récapitule les principaux résultats économiques sur les 3 systèmes de l'essai Nectarlove, sans prendre en compte les coûts de mécanisation (coûts de fonctionnement et d'amortissement du matériel dont la consommation du fuel, par contre le temps des interventions mécaniques est comptabilisé). A noter aussi que les prix de vente retenus sont ceux du RNM (Réseau National des Marchés de FranceAgriMer, cotation catégorie standard départ station logé en Languedoc-Roussillon, coûts liés au conditionnement des fruits dans la station fruitière retranchés (0,55 €/kg de fruits : emballage, main d'œuvre...), ces prix servant de référence pour les calculs de la filière pêche-nectarine. Nous avons calculé une moyenne des prix de vente sur 6 campagnes pour chaque semaine de commercialisation afin d'éviter un effet « année » marqué sur les résultats économiques du projet.

Le chiffre d'affaire est élevé en lien avec les bons niveaux de rendement obtenus sur les 3 systèmes pour un verger en 7^{ième} feuille (5^{ième} année de production). La petite diminution de rendement commercialisable (S2-Eco1) et/ou la perte de calibre (S3-Eco2) conduisent à des chiffres d'affaires légèrement inférieurs à celui obtenu sur S1-REF (tableau 10).

Tableau 10 : Principaux résultats économiques calculés sur les 3 systèmes de l'essai Nectarlove à l'Inra Avignon pour la campagne 2018.

Indicateurs	S1-REF	S2-Eco1	S3-Eco2	Eco1 vs REF	Eco2 vs REF
Chiffre d'affaire bord verger (€/ha)	42 986	38 523	40 843	-10%	-5%
coûts protection chimique (€/ha)	852	131	95	-85%	-89%
coûts protection biocontrôle (€/ha)	409	784	1 064	92%	160%
coûts totaux des intrants (€/ha)	2 643	2 162	2 406	-18%	-9%
coût main d'œuvre total (€/ha)	15 603	14 822	15 987	-5%	2%
coûts production hors méca. (€/ha)	18 246	16 984	18 393	-7%	1%
coûts production € / kg fruits	0.48	0.49	0.47	3%	-2%
Marge partielle (CA-coûts production) (€/ha)	24 739	21 539	22 450	-13%	-9%

Les coûts de production sont compris entre environ 17 000 et 18 400 €/ha. Ils sont similaires dans les systèmes S1-REF et S3-Eco2 et diminuent légèrement dans S2-Eco1 (-7%). Les coûts de main d'œuvre (base 12.80 €/heure) représentent entre 85 et 87 % des coûts de production au verger, hors les coûts de mécanisation et d'investissement.

Le coût des intrants représente une part assez modeste des charges opérationnelles en verger (autour de 13 %) mais sa réduction peut être synonyme d'une augmentation de l'autonomie de l'exploitation. Sur les systèmes économes, la réduction des coûts liés à l'utilisation de produits phytopharmaceutiques chimiques est très marquée (-85 % sur S2-Eco1 et -89 % sur S3-Eco2 vs S1-REF). La substitution par des produits de biocontrôle a un coût, mais globalement le poste « produits de protection » diminue de 1261 €/ha sur S1-REF à 915 €/ha sur S2-Eco1 (-27 %) et 1159 €/ha sur S3-Eco2 (-8 %), essentiellement grâce à la réduction du nombre des interventions phytosanitaires. Par contre, les coûts de fertilisation augmentent de +10 % sur S2 et S3 à cause des produits plus onéreux (engrais solubles utilisés pour la fertirrigation).

Le ratio coûts de production / kg de fruits commercialisés est similaire sur les 3 systèmes (entre 0.47 et 0.49 €/kg de fruits). Sachant que les coûts « station fruitière » sont d'environ 0.55 €/kg de fruits (coûts de fonctionnement d'une station fruitière avec main d'œuvre, emballage... et amortissement), les niveaux d'équilibre pour couvrir les frais se situent environ à 1.03 €/kg de fruits sur les 3 systèmes pour la campagne 2019, mais auxquels il faudrait rajouter les charges de structure de l'exploitation et l'amortissement des coûts de plantation.

In fine, les marges partielles sont très positives sur les 3 systèmes. Les systèmes économes conduisent à une petite érosion des marges par rapport au système S1-REF (-13 % sur S2-Eco1 et -9 % sur S3-Eco2). Cette réduction est cependant moins forte que prévue au regard de l'intensité de l'attaque de pucerons observée lors de cette campagne.

Globalement, pour la campagne 2019 avec la variété Nectarlove, les stratégies de gestion mis en œuvre sur les systèmes économes en produits phytopharmaceutiques et en intrants ont permis un niveau correct de protection du verger, excepté pour les pucerons sur les systèmes économes. Cette forte attaque a engendré une légère baisse de production (rendement, calibre et qualité) impactant ainsi la plupart des indicateurs agronomiques, techniques et économiques. L'effet « augmentation de la densité de plantation » mis en œuvre sur S3-Eco2 pour contrecarrer une baisse possible de la production à l'échelle de l'arbre dans les systèmes économes a réduit légèrement l'impact économique de cette attaque, mais la perte de calibre liée à la combinaison attaque de pucerons x excès de charge a induit une diminution de la valeur marchande des fruits ne permettant pas d'obtenir une rentabilité économique équivalente à celle observée sur le système S1-REF. Cependant, ces résultats sont à pondérer au regard de la très forte baisse d'utilisation des produits phytosanitaires observée dans les systèmes économes en pesticides et donc des effets très positifs que cela peut avoir en termes de réduction d'impacts environnementaux et de risques pour la santé humaine.

En résumé

Dans le dispositif EcoPêche de l'Inra Avignon (variété Nectarlove en 7^{ième} feuille), les systèmes économes ont conduit à :

- une très forte réduction de l'usage des produits phytopharmaceutiques de synthèse (IFT « chimique ») de -85 % sur S2-Eco1 et -89 % S3-Eco2 par rapport au système de Référence, avec en particulier zéro herbicide et zéro insecticide de synthèse ;
- une réduction des intrants eau (-26 %) et azote (-23 %)
- une maîtrise du temps de travail (-5 % sur S2 et +2 % sur S3) par rapport à S1-REF
- un maintien voire une petite diminution des coûts de production (-7 % et +1 % sur S2 et S3) par rapport à S1-REF
- une augmentation des pertes en fruits liées aux bioagresseurs (majoritairement les pucerons), en lien avec l'arrêt complet d'utilisation d'insecticides chimiques (+3.4 points sur S2-Eco1 et +5.7 points sur S3-Eco2 par rapport à S1-REF). A l'inverse, l'arrêt d'utilisation de fongicides chimiques anti-monilia n'a pas conduit à une augmentation importante des pertes liées à ce bioagresseur, même si on observe une diminution de la tenue des fruits en cours de conservation
- la diminution (-9.6 % sur S2-Eco1) voire le maintien (+2.8 % sur S3-Eco2) du rendement commercialisable en fruits, accompagné d'une réduction du calibre des fruits (-2.8 % et -19.3 % de calibre A et plus dans S2 et S3) impactant ensuite tous les indicateurs de performance technico-économiques, notamment la marge (-13 % sur S2-Eco1 et -9 % sur S3-Eco2) par rapport au système de référence
- une meilleure efficacité de l'utilisation de tous les intrants sur les systèmes économes, en particulier les IFT/tonne de fruits commercialisable qui passe de 0.48 IFT/t de fruits sur S1-REF à 0.08 et 0.05 IFT/tonne de fruits sur S2-Eco1 et S3-Eco2 respectivement.

Ces résultats se différencient de ceux observés lors des campagnes 2016 à 2018 où les systèmes économes, notamment S3-Eco2 obtenait des performances technico-économiques supérieures à S1-REF. Il faut toutefois signaler la forte évolution des stratégies de protection qui s'orientent progressivement, par choix de l'expérimentateur, vers un zéro « pesticide de synthèse chimique » afin de répondre aux objectifs ambitieux de DEPHY EXPE 2. La poursuite de l'expérimentation apparaît donc nécessaire pour évaluer la durabilité de la performance d'un système basé sur une plus forte densité de plantation par hectare (cas de S3-Eco2) qui favorise une meilleure « entrée » en production (occupation de l'espace) mais qui pourrait être plus sensible à une diminution prématurée du potentiel de production des arbres. Il s'agit aussi d'évaluer les risques économiques de stratégies de protection très en rupture visant à ne pratiquement plus utiliser des produits phytosanitaires de synthèse.

C. Bilan pluri-annuel 2015-2019

Le dispositif a maintenant 5 années de production de fruits. Notre objectif est de présenter une synthèse des principaux résultats observés sur la période 2015-2019 (verger âgé de 3 à 7 ans).

Le tableau 11 présente pour les 3 systèmes les moyennes calculées pour les indicateurs de pratiques et des performances agronomiques, socio-techniques et économiques. Un indice est calculé pour chaque critère afin d'évaluer les systèmes économes S2-Eco1 et S3-Eco2 en relatif par rapport au système de référence (S1-REF, indice 100).

Les indicateurs de pratiques et de pression environnementale montrent que l'IFT chimique (IFT hors produits de biocontrôle) diminue de 21.2 IFT à 6.9 et 6.4 IFT sur les systèmes S2-Eco1 et S3-Eco2 représentant une réduction de 67 % et 70 % respectivement par rapport au système S1-REF. Les objectifs d'une réduction de 50 % sont donc largement atteints même en phase de pleine maturité du verger. A noter que l'IFT total (et/ou l'IFT chimique) de S1-REF est proche de la valeur de référence nationale (70^e percentile = 23.3 IFT, source enquête des pratiques en 2015, Agreste 2018) ce qui traduit une bonne représentativité des règles de gestion appliquée sur notre système de référence.

On note l'absence totale d'utilisation d'herbicide et la réduction plus forte en produits insecticides (-82 à -84 %) qu'en produits fongicides (-53 et -56 % sur Eco1 et Eco2 respectivement). Cette diminution des IFT chimique s'accompagne d'une augmentation importante de l'utilisation des produits de biocontrôle (x3.3) dans les systèmes économes par rapport à la référence. Toutefois, en moyenne les IFT totaux (chimique + biocontrôle) passent de 23.5 IFT sur S1-REF à 14.2 IFT (S2-Eco1, soit -39 %) et 13.7 IFT (S3-Eco2, soit -42 %) indiquant que la réduction d'IFT n'est pas seulement liée à une substitution par des produits de biocontrôle mais aussi à l'utilisation d'autres leviers alternatifs (barrière physique, méthodes culturales...) et à la reconception globale des stratégies de gestion des vergers.

La figure 13 montre l'évolution des IFT « chimique » et des produits de biocontrôle au cours des campagnes agricoles. L'augmentation entre 2015 et 2016 est liée au passage d'un jeune verger (3^{ème} feuille, faible niveau de production de fruits) à un verger adulte, mais aussi à une intensification de la protection suite à des dégâts importants liés à la cloque en 2015 (absence de prise de risque pour cette maladie en 2016). La diminution des IFT chimique sur les systèmes économes entre 2016 et 2019 s'explique par une meilleure maîtrise des stratégies de protection sans pesticide (« apprentissage de l'expérimentateur » !) et d'une inflexion importante des objectifs de protection depuis 2018 et surtout 2019 visant à exclure les produits « chimique » dès lors que des solutions alternatives sont disponibles et/ou des impasses semblent réalistes à tester, comme annoncé dans EcoPêche 2. Les IFT en produits de biocontrôle n'augmentent que légèrement au cours du temps du fait d'une diminution de la protection à base de soufre contre l'oïdium (réduction de la période de protection préventive sur les jeunes fruits) compensée par l'introduction de nouvelles alternatives avec des produits de biocontrôle contre la cloque (lait de chaux) et les monilioses (bactéries compétitrices) en complément des méthodes culturales.

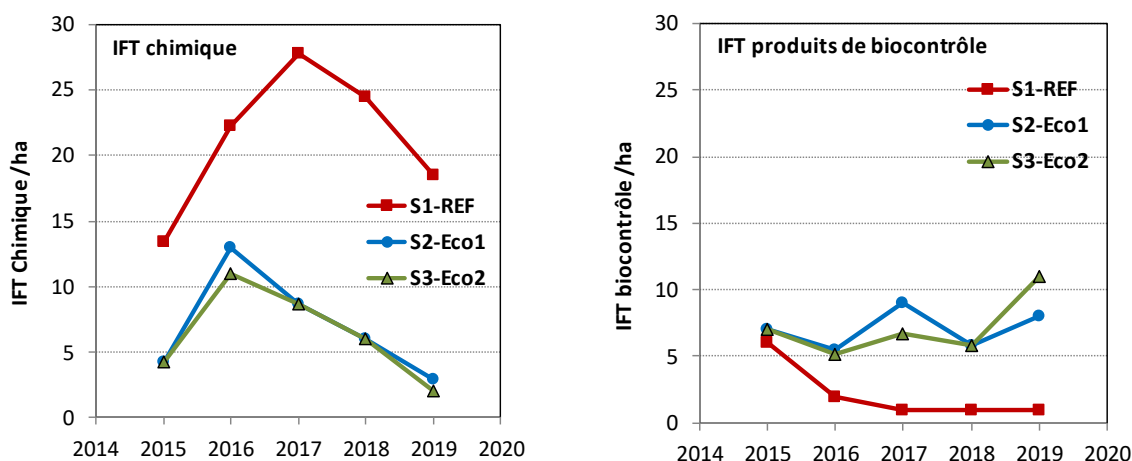


Figure 13. Evolution des IFT « chimique » et des IFT produits de biocontrôle en fonction des campagnes agricoles (essai Inra Avignon 2019, variété Nectarlove).

Les autres intrants (fertilisation, irrigation) ont aussi été diminués (entre -20 % pour l'azote, -59 % pour le phosphore, -32 % pour le potassium et -27 % à -25 % pour l'irrigation) sur les systèmes économes. On peut signaler que la réduction de la fertilisation azotée et de l'eau d'irrigation n'a pas seulement pour but de réduire les impacts potentiels possibles (risques de pollution par lixiviation des nitrates, pertes

gazeuses contribuant au gaz à effet de serre, énergie pour produire les engrais azotés ; impacts sur la ressource en eau à l'échelle des territoires). Cette diminution est aussi utilisée comme levier d'action pour réduire la sensibilité du verger aux maladies de conservation et à certains ravageurs (via la vigueur, les vitesses instantanées de croissance des fruits, l'hygrométrie, etc.). Cette réduction des intrants a été pilotée grâce à l'utilisation d'indicateurs d'état des systèmes (capteurs, diagnostic foliaire, suivi du statut azoté des plantes...) afin de ne pas impacter dans la mesure du possible (suivant nos connaissances sur les seuils de stress qui ne sont pas toujours bien définis en arboriculture) le fonctionnement des arbres et/ou les performances agronomiques.

Tableau 11 : Principaux indicateurs des pratiques et de performances agronomiques, sociotechniques et économiques de l'essai Nectarlove à l'Inra Avignon pour la période 2015-2019.

Catégories d'indicateurs	Critères	Unité	Systèmes				
			Moyenne 2015-2019			Indice vs REF = 100	
			S1-REF	S2-Eco1	S3-Eco2	S2-Eco1	S3-Eco2
Pratiques et pression environnementale	IFT chimique total	nb/ha	21.2	6.9	6.4	33	30
	<i>dont IFT Herbicides chim.</i>	nb/ha	1.1	0.0	0.0	0	0
	<i>dont IFT Fongicides chim.</i>	nb/ha	11.7	5.5	5.1	47	44
	<i>dont IFT Insecticides chim.</i>	nb/ha	7.7	1.4	1.2	19	16
	IFT biocontrôle total	nb/ha	2.2	7.3	7.3	330	334
	<i>dont IFT biocontrôle Fongicides</i>	nb/ha	0.8	2.9	3.3	358	408
	<i>dont IFT biocontrôle insecticides</i>	nb/ha	1.4	3.9	3.6	280	257
	IFT Total	nb/ha	23.5	14.2	13.7	61	58
	Ferti N total biodisponible	kg/ha	132.2	106.4	106.4	80	80
	Ferti P2O5	kg/ha	38.8	16.0	16.0	41	41
Ferti K2O	kg/ha	107.8	73.4	73.4	68	68	
Eau irrigation	m3/ha	6 486	4 763	4 841	73	75	
Performances agronomiques	Densité plantation	arbres/ha	571	571	909	100	159
	Nbre de fruits récoltés	nb/ha	213 573	208 769	253 929	98	119
	Rdt brut récolté	t/ha	35.6	35.1	42.7	99	120
	% pertes de rendement	%	22.8	17.2	17.7	75	77
	Rdt Commercialisable en frais	t/ha	27.5	29.1	35.2	106	128
	Poids moyen des fruits	g/fruit	176	178	175	101	99
	Rdt Com. A et plus	t/ha	23.2	25.3	30.1	109	130
Qualité	%A et plus	%	85.9	87.4	85.0	102	99
	Indice Réfractométrique (IR)	% Brix	13.2	14.0	13.4	106	101
Socio-techniques	Heures totales /ha	h/ha	873	882	984	101	113
	<i>dont principaux chantiers manuels</i>	h/ha	781	780	877	100	112
	<i>dont heures totales hors récolte</i>	h/ha	507	508	534	100	105
	Nb d'Heures / Tonne Com.	h/t	31.8	30.3	28.0	95	88
Nb d'Heures / Tonne A et + Com.	h/t A+	37.7	34.8	32.7	92	87	
Efficience technique	IFT / tonne Com.	IFT/t fruits	0.77	0.24	0.18	31	23
	Ferti N / tonne Com.	kg/t fruits	4.82	3.66	3.03	76	63
	Ferti P2O5/tonne Com.	kg/t fruits	1.41	0.55	0.45	39	32
	Ferti K2O / tonne Com.	kg/t fruits	3.93	2.52	2.09	64	53
	M3 eau irrig. / tonne Com.	m3 eau/t fruits	236.3	163.8	137.7	69	58
Economique	Chiffre d'affaire (bord verger)	€/ha	31 669	34 382	41 273	109	130
	Coûts production hors méca.	€/ha	13 564	13 424	14 767	99	109
	<i>dont coûts protection chimique</i>	€/ha	841	236	218	28	26
	<i>dont coûts protection biocontrôle</i>	€/ha	370	595	646	161	175
	<i>dont coûts produits de protection</i>	€/ha	1 211	831	864	69	71
	<i>dont coûts fertilisation</i>	€/ha	348	634	634	182	182
	<i>dont coûts irrigation (m3 eau)</i>	€/ha	826	671	679	81	82
	<i>dont coûts totaux des intrants</i>	€/ha	2 385	2 136	2 176	90	91
	<i>dont coût main d'œuvre (total)</i>	€/ha	11 179	11 288	12 591	101	113
	Coûts de production / kg fruits	€/kg fruits	0.49	0.46	0.42	93	85
	Marge partielle (CA-coûts production)	€/ha	18 105	20 958	26 506	116	146

Le poids des périodes juvéniles du verger (3^{ème} à 4^{ème} feuille) impacte encore la performance moyenne du verger (figure 14). Le potentiel de la variété est estimé, d'après le réseau d'évaluation du matériel végétal fruitier (Ctifl - Stations régionales) à 220 000 fruits/ha avec un poids moyen de 160-170 g soit un rendement de 30 à 37 t/ha. En moyenne sur 5 ans, les systèmes S1-REF et S2-Eco1 sont légèrement au-dessous de ces valeurs potentielles, surtout si on prend le rendement commercialisable. Cependant si on ne comptabilise que les 3 années où le verger est en pleine maturité (2017 et 2019), les performances observées sur les système S1-REF et S2-Eco2 sont au-dessus des valeurs potentielles. Il ressort donc que les vergers ont donc été conduit d'une manière optimale permettant l'expression du potentiel de production de cette variété. Le système économe S3-Eco2 intègre un effet densité de plantation (909 arbres/ha vs 571 arbres/ha sur les 2 autres systèmes) ce qui accélère la rapidité de montée en production (vitesse d'occupation de l'espace par les arbres). Ceci explique en grande partie

la meilleure performance de S3-Eco2. Sur cette période de transition d'un verger juvénile à un verger mature, le choix stratégique de densifier les plantations s'avère intéressant pour le moment, même si l'écart tend à s'estomper en 2019.

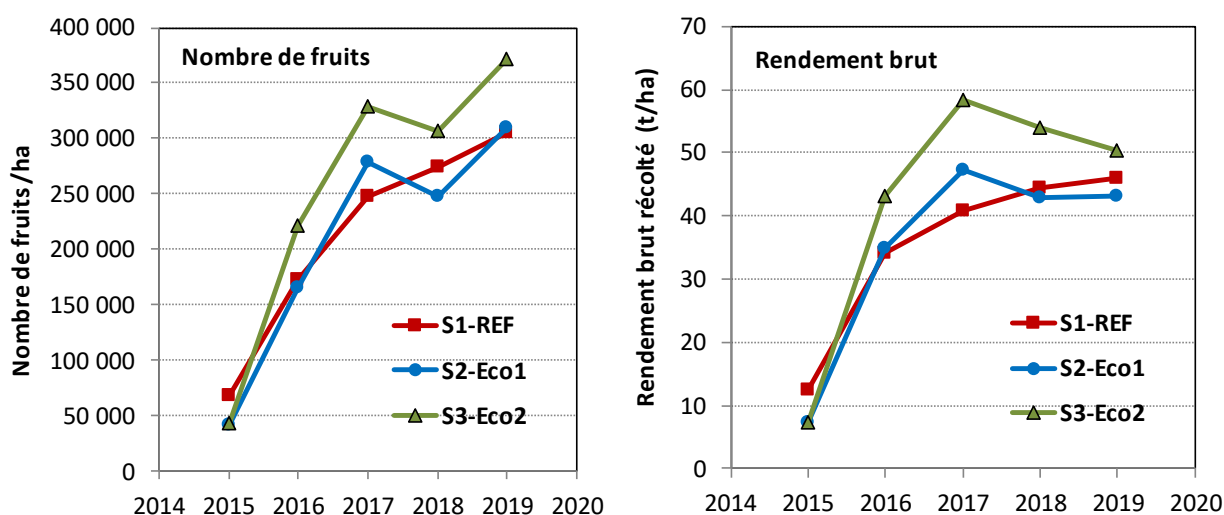


Figure 14. Evolution du nombre de fruits/ha et du rendement brut récolté au cours des années de production (2015 à 2019, soit 3^{ième} à 7^{ième} feuille) pour la variété Nectarlove sur 3 systèmes de culture de l'essai Inra Avignon.

Les pertes de fruits liées aux dégâts des bioagresseurs et aux défauts d'épiderme ont été très élevées lors de la campagne 2015, suite notamment à une mauvaise maîtrise de la cloque et des maladies de conservation (figure 15).

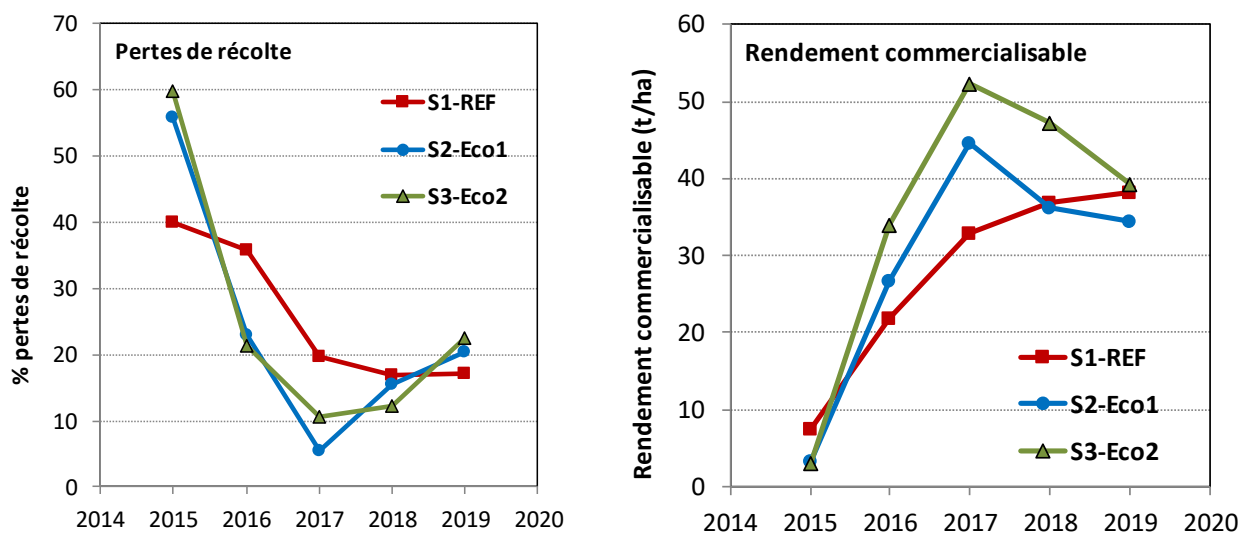


Figure 15. Evolution du pourcentage de pertes de fruits à la récolte liées aux bioagresseurs et aux défauts d'épiderme et évolution du rendement commercialisable au cours des années de production (2015 à 2019, soit 3^{ième} à 7^{ième} feuille) pour la variété Nectarlove sur 3 systèmes de culture de l'essai Inra Avignon.

Les pertes diminuent ensuite pour se stabiliser entre 10 et 20 % selon les systèmes, sans doute du fait d'une meilleure maîtrise des règles de gestion de la protection. Contre toute attente, les pertes moyennes sur 2015-2019 sont significativement supérieures sur le système S1-REF (22.8 %) par rapport aux systèmes économes (S2-Eco1 = 17.2 % et S3-Eco2 = 17.7 %). Ces pertes sont essentiellement dues à des dommages des bioagresseurs sur les fruits, en raison d'une plus forte population de forficules engendrant des morsures sur les fruits et plus de pourritures dues aux maladies de conservation... et cela malgré le plus grand nombre de traitements chimiques sur le système S1-REF. En 2018, suite aux échecs des traitements insecticides pour contrôler les fortes populations de forficules présentes dans le système S1-REF, nous avons utilisé la glu comme méthode alternative, technique mobilisée sur les systèmes économes depuis 2016 et qui apparaît très efficace. Ceci a permis d'obtenir des résultats similaires de pertes de fruits entre S1-REF et S2-Eco1 en 2018 et des pertes inférieures à S2-Eco1 en 2019.

In fine, les rendements commercialisables augmentent en moyenne de +6 % sur S2-Eco1 et +28 % sur S3-Eco2 par rapport à S1-REF. Toutefois, en 2018 et surtout 2019, les performances des systèmes économes deviennent inférieures (S2-Eco1) ou assez similaires (S3-Eco2 en 2019) au système S1-

REF., en lien notamment à de fortes attaques de pucerons sur les systèmes économes ces 2 dernières années.

Sur le plan de la qualité des fruits, la distribution des calibres est assez similaire sur les 3 systèmes (86 % sur S1-REF, 87 % sur S2-Eco1 et 85 % sur S3-Eco2). On observe une amélioration des teneurs en sucres solubles totaux (mesurées par l'indice réfractométrique) qui augmentent de 0.8 point Brix sur S2-Eco1 et 0.2 point Brix sur S3-Eco2 par rapport à S1-REF, sans doute sous l'effet d'une gestion de l'irrigation basée sur les principes de la RDI ('Regulated Deficit Irrigation'). A noter, la diminution des indices réfractométriques en 2019 dans les systèmes économes sous l'effet de la forte attaque de pucerons.

Les temps de travaux sont similaires entre S1-REF et S2-Eco1. Par contre, ils augmentent légèrement sur S3-Eco2 (+13 %) en lien avec l'augmentation de la densité de plantation. Cependant, l'efficacité du travail exprimée en heure/tonne de rendement commercialisable est améliorée puisqu'il faut 30.3 et 28.0 heures par tonne de fruits sur S2-Eco1 et S3-Eco2 respectivement alors qu'on se situe à 31.8 h/tonne sur S1-REF.

Le maintien ou l'augmentation du rendement commercialisable sur les systèmes économes, conjuguée à une réduction d'utilisation des intrants (produits phytosanitaires, fertilisants et eau d'irrigation) se traduit par une très nette amélioration des indicateurs d'efficacité des intrants exprimés par tonne de fruits commercialisés. Les IFT chimiques par tonne de fruits passent de 0.77 sur S1-REF à 0.24 sur S2-Eco1 et 0.18 IFT/tonne de fruits sur S3-Eco2, ce qui représente une très forte diminution (-69 % et -77 %) par rapport au système de référence. Pour les autres intrants, la consommation par tonne de fruits est diminuée de -24 % à -68 %.

Les coûts de production sont similaires sur S2-Eco1 (-1.0 %) et légèrement plus élevés sur S3-Eco2 (+8.9 %) par rapport à S1-REF, essentiellement du fait de l'augmentation des coûts de main d'œuvre. Les coûts des produits phytopharmaceutiques (chimique + biocontrôle) sont cependant réduits sur les systèmes économes (environ -30 %), ainsi que les coûts liés à la consommation d'eau d'irrigation (-18 %). A noter cependant, que l'utilisation d'engrais soluble pour la fertirrigation occasionne un surcoût par rapport à des engrais appliqués par épandage mécanique. Il ressort que globalement, les méthodes alternatives utilisées dans les systèmes économes n'ont pas généré une augmentation très significative des coûts de production. De ce fait, les coûts de production par kg de fruits commercialisés diminuent de 0.49 €/kg sur S1-REF, à 0.46 €/kg sur S2-Eco1 et 0.42 €/kg sur S3-Eco2.

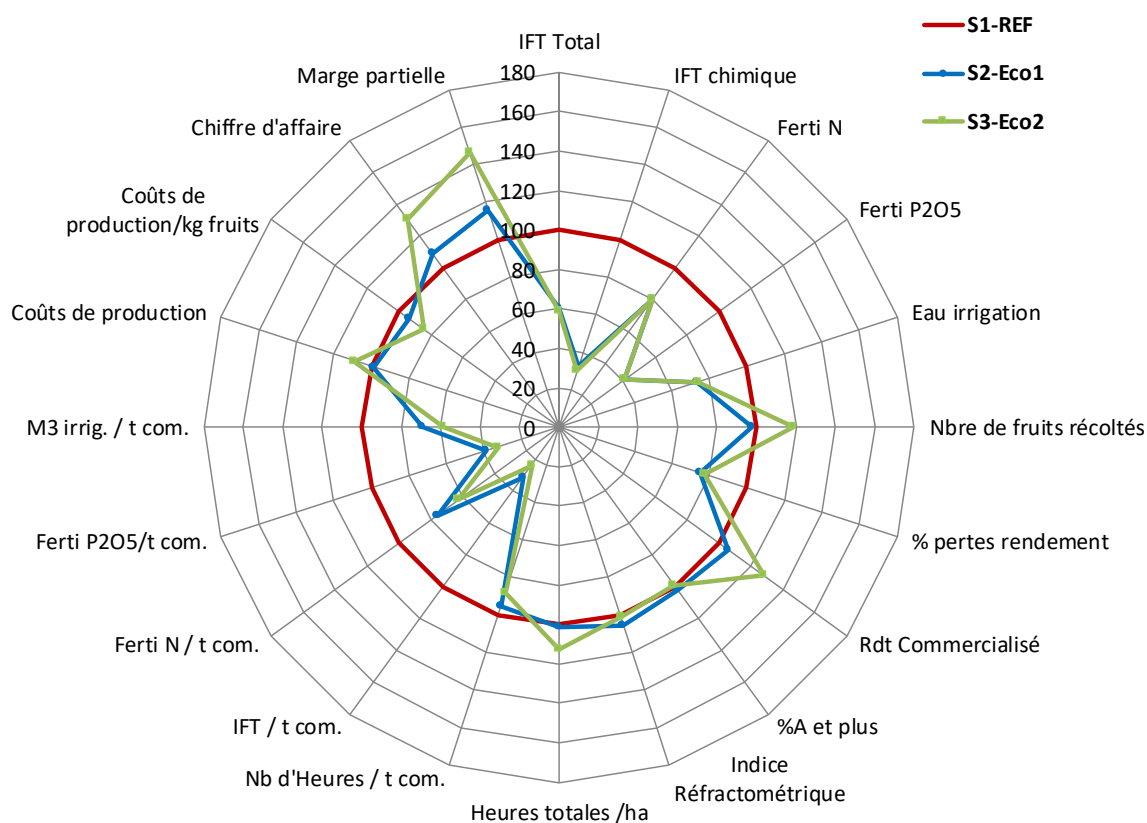
Les chiffres d'affaire par ha sont en moyenne légèrement supérieurs sur S2-Eco1 (+8.6 %) et très nettement améliorés sur S3-Eco2 (+30 %) par rapport à S1-REF sur la période 2015-2019. L'ensemble de ces résultats a permis une augmentation significative des marges partielles (chiffre d'affaire – coûts de production hors mécanisation) sur S2-Eco1 (+16 %) et surtout dans S3-Eco2 (+46 %) par comparaison aux marges calculées dans S1-REF.

La figure 16 permet de visualiser les performances multicritères des 3 systèmes, l'indice 100 correspondant à la valeur observée sur le système S1-REF pour chacun des critères. Il y a seulement 2 critères où le système économe S3-Eco2 apparaît légèrement moins performants que S1-REF : les heures totales/ha et les coûts de production. Mais la nette amélioration des performances sur les autres critères, en partie liée à l'augmentation du rendement commercialisable et à une réduction des intrants, se traduit par une amélioration globale des performances des systèmes S3-Eco2. Le système S2-Eco1, qui a un système de conduite (densité de plantation, forme fruitière) identique à S1-REF a des performances agronomiques proches du système de référence alors que la réduction des intrants permet d'améliorer les critères d'efficacité.

Ainsi, en moyenne sur 5 années, les 2 systèmes économes s'avèrent avoir des performances voisines voire supérieures sur le plan agronomique et environnemental que le système de référence, conduisant à une plus grande rentabilité. Il faut cependant tempérer ces résultats par le fait qu'en 2015, le système de référence était économiquement plus intéressant que les systèmes économes en produits phytopharmaceutiques. Par contre, en 2016, 2017 et 2018, ce sont les systèmes économes en produits phytosanitaires qui se sont avérés nettement plus performants que la référence. Mais en 2019, les résultats montrent une légère érosion des performances sur S2-Eco1 et dans une moindre mesure sur S3-Eco2.

Il ressort donc que les 2 systèmes économes en produits phytopharmaceutiques pourraient être classés comme des SCEP (Systèmes de cultures Economes et Performants) car mobilisant -50 % d'IFT par rapport à un système de référence (et/ou la moyenne nationale d'IFT sur la pêche) et des performances agronomiques et/ou économiques supérieures ou égales à la référence.

Figure 16. Représentation radar des principaux indicateurs de performance moyens calculés sur la période 2015-2019, exprimés en indice par rapport au système de référence (S1-REF, indice 100)



Ces résultats peuvent être discutés sur plusieurs points. Globalement, surtout pour les 3 dernières campagnes, tous les systèmes ont permis d'atteindre des niveaux de productivité supérieurs aux références proposées pour cette variété. La meilleure performance des systèmes économes n'est donc pas liée à un système de référence (S1-REF) qui aurait été mal géré. Par contre, la présence importante de forficules dans S1-REF, mal maîtrisée juste avant la récolte par les traitements insecticides, a généré pendant 2 ou 3 ans plus de pertes de fruits à la récolte par rapport aux systèmes économes qui intégraient dans le jeu de règles de décision l'utilisation d'une méthode alternative (glu) dès la campagne 2016. Suite à ce constat, nous avons fait évoluer les règles de gestion de S1-REF pour mobiliser cette méthode alternative en 2018, ce qui a permis de réduire les pertes au même niveau que sur S2-Eco1 en 2018 et 2019. Dans notre situation expérimentale, c'est donc l'introduction d'une méthode alternative aux pesticides qui a permis d'élever la performance sur le système de référence. Il faut aussi souligner que les systèmes économes n'ont pas conduit à une explosion des dégâts sur la végétation et sur les fruits, alors que le recours aux IFT chimiques est très faible, avec des impasses d'intervention sur des bioagresseurs souvent problématiques (pucerons, monilioses, oïdium...). Une interprétation possible est la faible pression des bioagresseurs sur le site Inra d'Avignon du fait d'une densité assez réduite de vergers de pêche-nectarine dans la microrégion. La succession de campagnes climatiques pas trop favorables aux bioagresseurs a peut-être aussi contribué à ces résultats, mais l'année 2018 a quand même été une année compliquée pour la gestion de la protection des vergers. Une partie de ces bonnes performances des systèmes économes semble donc bien liée aux stratégies de gestion reposant sur la combinaison d'un ensemble cohérent de leviers d'action alternatifs pour gérer les bioagresseurs. Certaines méthodes alternatives ont une forte efficacité comme la bâche horticole tissée qui permet de contrôler parfaitement les adventices sur le rang. C'est aussi le cas de la glu contre les forficules. Les résultats confirment l'intérêt du levier d'action associant le pilotage de l'irrigation selon les principes de la régulation hydrique à des phases clés de la croissance des fruits pour réduire la sensibilité aux monilioses. En effet, depuis le début de l'expérimentation, on n'a jamais observé de très fortes pertes de fruits liées aux monilioses dans les systèmes économes, alors que de fortes prises de risque reposant sur une impasse complète de traitements fongicides dans les 3 semaines avant la récolte ont été pratiquées ces 2 dernières années. Par contre, selon les années, la tenue des fruits en post-récolte peut-être légèrement réduite (cas de 2019 par exemple) mais souvent après un laps de temps (après 7 jours) évitant d'impacter vraiment la commercialisation des fruits.

Ces résultats demandent cependant à être confirmés dans les années à venir. En effet, depuis 2 ans, on observe une augmentation de la pression et des attaques de pucerons sur les systèmes économes.

Est-ce que cette augmentation de la pression va devenir ingérable et compromettre les résultats agronomiques et économiques ?

En 2019, des progrès ont été réalisés dans la gestion de la cloque grâce à l'introduction d'une nouvelle méthode alternative à base de lait de chaux (barrière physique).

Il est aussi important de noter que depuis la campagne 2019, correspondant au début du projet EcoPêche 2, une nouvelle orientation dans la stratégie de protection des systèmes économes a été décidée : exclure toute intervention à base de pesticides de synthèse, exceptée si cela devait remettre en cause fortement les objectifs de performances des systèmes. Cette stratégie correspond quasiment à une protection respectant le cahier des charges « BIO », mais avec une fertilisation conventionnelle afin de ne pas introduire une confusion entre la gestion de la protection et de la nutrition des arbres.

Perspectives

L'essai Nectarlove va rentrer dans sa 6^{ième} année de production de fruits (8^{ième} feuille) en 2020. L'objectif est de poursuivre l'essai avec des objectifs encore plus ambitieux : ne plus utiliser de produits phytopharmaceutiques de synthèse, sauf exception majeure liée à des attaques de bioagresseurs risquant de mettre en péril les performances agronomiques et économiques des systèmes économes. Les interventions phytosanitaires seront donc réalisées essentiellement à base de produits de biocontrôle. Cependant, pour la cloque, nous associerons le biocontrôle avec des interventions à base de produits minéraux (cuivre). Pour les maladies de conservation, il s'agira d'associer la conduite des arbres et la gestion de l'irrigation afin de pouvoir réaliser soit une impasse complète en fongicide soit utiliser un fongicide microbiologique.

Face à l'absence de produits de biocontrôle présentant une certaine efficacité contre les populations de pucerons, une nouvelle combinaison de leviers va être testée dans le système S3-Eco2. L'objectif est d'étudier l'intérêt de combiner la nutrition azotée et les plantes de service pour réguler les populations de pucerons. En effet, des travaux de recherche réalisés par PSH en situation contrôlée ont montré l'efficacité sur *Myzus persicae* de la nutrition azotée (Sauge et al, 2010) et de certaines plantes de service qui les perturbent via des composés organiques volatils (COV), (Ben Issa et al., 2017 ; Dardouri et al, 2019). Toutefois, il existe peu de travaux analysant l'intérêt de leur combinaison en conditions réelles de vergers de pêcher. De plus, la compétition de la plante de service pour les ressources peut engendrer conjointement des services et des dis-services. Cette analyse des synergies et des antagonismes possibles dans un système complexe (arbres fruitiers - plantes de service installées sur le rang de l'arbre pour maximiser l'effet COV - nutrition azotée - populations de pucerons) sera réalisée grâce à une expérimentation factorielle à 2 facteurs (présence/absence de plantes de service x 4 modalités de fertilisation azotée) installée au sein du système économe S3-Eco2. Les observations et mesures viseront à caractériser les dynamiques de plusieurs fonctions dans les différentes composantes du système : dynamique de l'azote et de l'eau dans le sol et les arbres pour évaluer la compétition entre le pêcher et la plante de service ; évolution des populations de pucerons et de leurs dégâts, et de certains auxiliaires en lien avec des mesures visant à quantifier le paysage olfactif en COV et le statut azoté des arbres ; variables caractérisant le fonctionnement du pêcher (croissance des pousses et des fruits, composantes du rendement et de la qualité des fruits ; critères de performances agronomiques et technico-économiques des différentes modalités...).

Cette expérimentation sera réalisée sur 2 campagnes pour évaluer les effets pluriannuels. Les systèmes S1-REF et S2-Eco1 seront gérés avec les mêmes règles de gestion que celles utilisées en 2019 afin de pouvoir les évaluer aussi sur plusieurs années.

Références bibliographiques

Ben Issa R., Gautier H., Gomez L., 2017. Influence of neighbouring companion plants on the performance of aphid populations on sweet pepper plants under greenhouse conditions. *Agricultural and Forest Entomology* 19, 181-191.

Dardouri T., Gautier H., Ben Issa R., Costagliola G., Gomez L., 2019. Repellence of *Myzus persicae* (Sulzer): evidence of two modes of action of volatiles from selected living aromatic plants. *Pest Management Science* 75, 1571-1584.

Sauge M.-H., Grechi I., Poëssel J.-L., 2010. Nitrogen fertilization effects on *Myzus persicae* aphid dynamics on peach: vegetative growth allocation or chemical defence? *Entomologia Experimentalis et Applicata* 136, 123-133