



**HAL**  
open science

## REVATRA : Transition du Verger d'Amandier agroécologique par la reconception

Jean-Michel Montagnon, Fabrice Lheureux

► **To cite this version:**

Jean-Michel Montagnon, Fabrice Lheureux. REVATRA : Transition du Verger d'Amandier agroécologique par la reconception. Innovations Agronomiques, 2024, 98, 10.17180/ciag-2024-vol98-art14 . hal-04818121

**HAL Id: hal-04818121**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04818121v1>**

Submitted on 4 Dec 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License



# REVATRA : Transition du Verger d'Amandier agroécologique par la reconception

Jean-Michel MONTAGNON<sup>1</sup>, Fabrice LHEUREUX<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Chambre d'agriculture des Bouches-du-Rhône, Maison des agriculteurs – 22 avenue Henri Pontier  
13626 Aix-en-Provence Cedex 1 France

<sup>2</sup> Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL)– Centre Opérationnel de Lanxade,  
28 route des Nébouts 24130 Prignonieux - France

**Correspondance** : fabrice.lheureux@ctifl.fr

## Résumé

Le projet REVATRA repose sur la conception d'un agrosystème innovant et multi-performant dans le but de réduire les IFT de 60 % à 80%. Cet objectif a été atteint, principalement au travers la réduction des insecticides. Une surveillance régulière des ravageurs, de leurs auxiliaires, la bâche tissée au sol et la pose d'un filet ont été les principaux leviers. Ce dernier permet d'envisager également la gestion d'autres ravageurs de l'amandier. La gestion des maladies fongiques demeure encore sous contrôle « chimique », avec une très légère diminution des traitements au travers le suivi des conditions climatiques. Le coût de plantation est en défaveur de l'agrosystème innovant. Les deux années de gels ont fortement impacté la production sur les deux systèmes ne nous permettant pas de réaliser une étude économique.

**Mots-clés** : Indice de Fréquence de Traitement (IFT) - Leviers – Partenariat – Transfert – Agriculture Biologique (AB)

## **Abstract: REVATRA: Transition of the agroecological almond orchard through re-design**

REVATRA project is based on the design of an innovative, multi-performing agrosystem with the aim of reducing IFT from 60% to 80%. This objective has been achieved, mainly through the reduction of insecticides. Regular monitoring of pests and their auxiliaries, the use of a woven tarpaulin and the installation of a net were the main levers used. The latter also makes it possible to consider the management of other almond pests. The management of fungal diseases is still under "chemical" control, with a very slight reduction in treatments through monitoring of climatic conditions. Planting costs are against the innovative agrosystem. The two years of frosts had a severe impact on production in both systems, preventing us from carrying out an economic study.

**Keywords:** Treatment Frequency Index (IFT) - Levers - Partnership – Transfer - Organic agriculture

## 1. Introduction

Dans le sud de la France, et plus particulièrement dans les régions Provence, Occitanie et sud Rhône-Alpes, les plantations d'amandiers se développent, portées par un terroir favorable, une demande forte et une filière qui se mobilise pour la valorisation de la production locale. Elle est complétée par le fait que nombre d'arboriculteurs sont intéressés par la possible mécanisation de la récolte des amandes, élément socio-économique qui revêt aujourd'hui un grand intérêt. Cette forte demande a été évaluée plus précisément dans une étude du Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL) (G. Christy, 2017). Depuis quelques années, cette demande s'est encore amplifiée avec l'entrée de nouvelles régions intéressées par la culture de l'amandier. Parmi celles-ci, la région Nouvelle Aquitaine qui voit l'implantation de nouveaux vergers d'amandiers dans différents terroirs, principalement Lot et Garonne mais aussi Charentes et Dordogne.



Le renouveau actuel fait suite à des années de recul de la production d'amandes française dont le corollaire (néгатif) fut une diminution forte des programmes de recherche nationaux (fondamentaux et appliqués) sur cette espèce. L'accès aux travaux étrangers, notamment espagnols est bénéfique mais le manque de références locales ne permet pas une « autonomie scientifique » sur laquelle la recherche d'agro-systèmes performants en amandiers puisse s'appuyer.

La filière amandicole est en phase de croissance ; ces cinq dernières années la surface de vergers d'amandiers a doublé passant de 1 100 ha en 2018 à plus de 2 200 ha en 2023 (source Agreste 2024). Elle marque une volonté de cohérence avec un plan de relance coordonné par la Chambre d'Agriculture Régionale Provence – Alpes – Côtes d'Azur (PACA), en phase avec d'autres initiatives dont la Communauté de commune Vallée des Baux-Alpilles qui a inscrit l'amandier dans son schéma de développement territorial, celui de l'interprofession France Amande (créée fin 2018), du Syndicat des amandiculteurs de Provence ou d'autres initiatives privées telle que la création de la « Compagnie des amandes ».

Ainsi, au vu de l'engouement et de l'attente légitime des professionnels pour des stratégies rentables et respectueuses de l'environnement, elle ne peut ainsi se passer d'un outil de références, concrètement appelé agro-système innovant Dephy, afin de conjuguer l'économie en intrants et la performance économique.

Cet outil attendu (complété par d'autres programmes) concerne l'amandiculture en général mais tout particulièrement l'amandiculture en production biologique (AB). En effet, de nombreuses entreprises de l'agroalimentaire et de la cosmétique (« Les calissons du Roi René », « L'Occitane en Provence », « Un air d'ici », SOFALIP, etc...) sollicitent les agriculteurs pour se fournir en amandes françaises issues de la production conventionnelle mais aussi de la production en AB. Cette demande était très forte au début du projet. Elle est moins marquée aujourd'hui mais reste prégnante étant donné la conviction de certains producteurs pour maintenir cette voie malgré une crise conjoncturelle. Or, la culture d'amandiers en AB est difficile par rapport aux maladies fongiques, mais surtout elle est littéralement « bloquée » à cause des dégâts majeurs d'un hyménoptère, *Eurytoma amygdali Enderlein* (Khanmohamadi et al., 2016) contre lequel aucune stratégie applicable au début du projet ne se montrait suffisamment efficace. Le verger innovant Déphy a donc eu pour objectif, dans une approche qui privilégie la reconception (les propositions substitutives et efficaces seules, étant trop limitées) de valider des leviers permettant une stratégie de protection applicable à l'AB. Il est cependant important de rappeler que les informations bénéfiques et validées en AB seront applicables en conventionnel.

L'objectif principal poursuivi dans le projet est prioritairement de réduire fortement le nombre de traitements phytosanitaires tout en maintenant la rentabilité des parcelles. En agriculture conventionnelle, le nombre moyen d'Indice de Fréquence des Traitements (IFT) chimiques annuels relevé actuellement sur l'amandier varie de 6 à 8 (il n'y a pas d'IFT de référence en amandiers, Com. Pers). Il se répartit essentiellement entre maladies fongiques et insectes ravageurs (les herbicides sont utilisés mais représentent généralement moins d'1 IFT/ha/an). En AB, ce nombre est relativement proche du fait de l'usage du cuivre à différentes périodes du cycle de production (ainsi que du Spinosad, ou du Polysulfure de calcium si dérogation).

Concernant le cortège parasitaire, il se concentre essentiellement sur les champignons pathogènes : *Monilia laxa*, *Fusicoccum amygdali*, *Polystigma ochraceum*, qui imposent, entre 3 et 4 IFT chimiques annuels et sur *Eurytoma amygdali Enderlein* qui peut entraîner de fortes pertes de récolte, (2 à 3 IFT chimiques annuels) et sur le puceron de l'amandier (*Brachycaudus amygdalinus*). D'autres champignons et ravageurs considérés comme secondaires peuvent également être à l'origine de traitements chimiques : *Tranzschelia pruni-spinosae* (Rouille de l'amandier), *Coryneum berejinkii*, *Asymmetrasca decedens* (Ciccadelle), ... À noter, pendant la période où le projet a été en place, la montée d'un nouveau ravageur, *Monosteira unicostata* ou faux tigre de l'amandier (Grisvard P. 2023). Cet insecte remonte d'Espagne en

profitant des températures très élevées en fin de printemps et s'installe dans les parcelles, provoquant, en AB notamment des décolorations et chutes de feuilles très préjudiciables à la culture.

En fonction de ces éléments, les objectifs chiffrés du projet pour la réduction de pesticides en verger d'amandiers sont les suivants :

- Assurer une protection contre *Eurytoma amygdali* Enderlein sans interventions chimiques afin de permettre une culture en agriculture biologique et valider la non-utilisation d'insecticides en amandiculture conventionnelle.
- Maitriser les insectes parasites secondaires (pucerons, chenilles mineuses...) en favorisant la biodiversité fonctionnelle
- Limiter la présence de champignons pathogènes par le choix des variétés, la protection préventive, et une conception innovante du verger à utilisation de fongicides en dernier recours ;
- Ne pas avoir recourt au désherbage chimique

En synthèse, l'objectif principal est une baisse des intrants phytosanitaires de 60 à 80 % par rapport à la pratique actuelle selon les données climatiques de l'année. Ce niveau de rupture, important pour la culture va nécessiter une reconception du verger existant, associée à des leviers d'efficience et de substitution.

## 2. Dispositif et stratégies envisagées pour atteindre les objectifs

L'étude concerne la comparaison de deux dispositifs systèmes : l'un dit de « référence », l'autre qualifié « d'innovant » en rupture par rapport au premier. Les deux dispositifs ont été installés sur une même parcelle d'environ deux hectares (1 ha pour chaque dispositif), situées à la station d'expérimentation La Pugère à Mallemort dans les Bouches-du-Rhône. Les conditions de sol et d'environnement sont identiques pour les deux systèmes. Les plantations ont été réalisées en 2019 (Figure 1).



Figure 1 : Plan et disposition des dispositifs « Innovant » et « Référence »



**Le premier système, appelé « système de référence »** correspond à la structure de verger que l'on retrouve dans la grande majorité des vergers d'amandiers de la région. La distance de plantation est de 6 m entre les rangs et 5,5 m sur le rang. Les arbres sont disposés en quinconce afin de favoriser leur éclaircissement et sont conduits en gobelets multibranches. Les variétés et porte-greffe choisies sont très représentatives des plantations régionales actuelles. Le schéma retenu est de 2/3 de Lauranne® pour un tiers de Ferragnès, greffées sur Pêcher x amandier GF 677 (Photo 1). Les variétés sont alternées pour assurer une bonne pollinisation croisée de Ferragnès (Lauranne est auto fertile). L'itinéraire technique correspond également aux pratiques régionales (à l'exception du désherbage chimique qui est remplacé par du désherbage mécanique) et une récolte par vibreur et corolle. Cette modalité prend en compte différents outils d'aide à la décision (OAD) comme les données météo, la cage à émergence de l'insecte *Eurytoma amygdali*, les observations sur le verger des auxiliaires, l'évolution de la présence des ravageurs comme le puceron ou la cicadelle verte... C'est aussi un verger doté de règles de décision par rapport à l'enherbement sur le rang ou la présence de ravageurs. Les réponses correspondent le plus souvent à des traitements phytosanitaires, en respectant cependant le fait que des niveaux de tolérance sont pris en considération pour les dégâts de ravageurs.



Photo 1 : Verger REVATRA, modalité Référence (crédit CTIFL)

**Le second système, appelé « Agro-système innovant Déphy »** est basée sur la reconception associée à des leviers d'efficacité et de substitution. Sur ce système, l'observation, les outils d'aide à la décision (OAD) et des niveaux de tolérance sont également intégrés à la stratégie. En revanche, les réponses apportées contre les bioagresseurs sont plus globales et concernent des leviers innovants.

- Nous avons opté pour une structure de verger en haie fruitière basse (hauteur de 2,20m) avec comme densité de plantation 4 m entre les rangs et 1,5 m sur le rang. Les variétés et porte-greffe choisies sont Soleta et Lauranne® greffées sur le porte-greffe nainisant Rootpac® 20 (Photo 2).



Photo 2 : Verger REVATRA, modalité Innovation (crédit : CTIFL)

- Gestion des ravageurs

Cette reconception du verger d'amandier, avec plantation d'arbres de faible vigueur, conduits en haie fruitière, permet la pose d'un filet de protection contre les insectes et tout particulièrement contre *Eurytoma amygdali*. Le filet recouvre totalement les arbres. Aucun espace ne doit permettre à l'insecte de passer sous le filet. Dans le cadre de cet essai, il s'agit d'un filet 5\*4, avec une maille de 1,71

x 2,21. Le filet est posé début avril lors de la sortie des adultes (Photo 3 a et 3b). Les dates de pose et de retrait du filet sont déterminées en fonction des éclosions relevées dans une cage à émergences.



**Photo 3 a :** Filet déployé sur le verger Innovant (Crédit photo CTIFL)



**Photo 3b :** Filet enroulé hors période de vol d'Eurytoma (Crédit Photo CTIFL)

La limitation de la vigueur au travers le porte-greffe Rootpac® 20 conduit également à une moindre appétence des arbres vis-à-vis des insectes piqueur-suceurs. Toutefois nous avons complété la régulation notamment des pucerons via une taille en vert au printemps pour supprimer les foyers et avons favorisé la présence d'auxiliaires (syrphes et chrysopes notamment) par l'installation à l'automne de bandes fleuries. Elles sont composées de plantes à floraison précoce qui attirent ces auxiliaires. Ceux-ci prélèvent du nectar puis migrent sur les pucerons présents dans les arbres pour les consommer.

#### - Gestions des maladies

La stratégie envisagée se base prioritairement sur le levier génétique, mais également sur la gestion de l'inoculum au travers les observations des données météorologiques. Les travaux de l'Instituto de Investigacion y Tecnologia Agroalimentarias (IRTA) (Miarnau et Al. 2021) ont permis d'identifier des variétés à faible (voire à très faible) sensibilité aux maladies fongiques. Ces essais sont menés en Catalogne espagnole mais il s'agit pour nous de références pertinentes car les données climatiques et sanitaires sont proches. Parmi les variétés sélectionnées comme globalement très tolérantes aux maladies, on retrouve Marta, Vairo et Constanti. En France, les travaux d'observations ont permis d'identifier les variétés Texas et Ferrastar (Grasselly & Duval, 1997). Notre choix se porte sur la variété Soleta (croisement Blanquerna x Belle d'Aurons, 1996) qui s'avère effectivement peu sensible (notamment au monilia et au polystigma) mais qui se démarque aussi par des qualités de conduite et de production très supérieures aux autres cultivars tolérants. Elle conjugue en effet une floraison tardive (ce qui limite les risques de gel de printemps), un arbre de vigueur moyenne et facile à conduire et un potentiel de production très élevé dans les différents essais et chez les producteurs (X. Miarnau et al., 2021). De plus, elle est auto fertile et représentative de la production puisque plantée en Espagne et maintenant en France (depuis 2016). Nous avons ajouté la variété Lauranne® à ce dispositif pour tester son comportement pour ce type de verger et constituer également un lien avec le système de référence. Lauranne® est, parmi les variétés françaises, une des moins sensibles aux maladies. Le levier chimique sera utilisé quand les combinaisons de leviers alternatifs auront échoué, c'est-à-dire en présence d'un risque majeur de pertes.

#### - Gestion des adventices

La présence d'adventices sur les jeunes plantations limite fortement la croissance des scions et met également en péril leur développement futur. Les désherbants chimiques sont proscrits de l'agro-système proposé. Leur retrait ne permet pas une baisse d'Indice de Traitement Phytosanitaire (IFT) chimique



conséquence puisque seul 1/4 de la surface du verger est concerné (soit 0,25 IFT chimique annuel) mais la persistance des molécules d'herbicides dans les nappes incite à une réelle prudence avec ce levier chimique. La stratégie de substitution proposée est la pose d'une bâche tissée sur le rang. Une bâche au grammage élevé (130 gr/m<sup>2</sup>) a donc été installée au moment de la plantation. Son épaisseur importante empêche la germination des adventices et confère une durée de présence élevée (plus de 10 ans). (Données fournisseur)

La mise en place des différentes stratégies et de leur évolution ont été précisées dans le cadre d'une approche co-constructive au sein d'un groupe intégrant conseillers, agriculteurs, chercheurs, et pépiniéristes. Ce groupe s'est réuni chaque année durant toute la vie du projet.

### 3. Collecte et analyse des données

#### 3.1. Observations et mesures

Les variables à collecter pour caractériser les agro-systèmes et la situation de production sont communes aux deux systèmes (Tableau 1).

**Tableau 1** Caractérisation des agro-système : variables collectées

Items	Variables à collecter
<b>État sanitaire du verger et adventices</b>	Pression biotique (insectes, champignons, mammifères, corvidés...) Carences, excès, déséquilibres... Abondance, dynamique et diversité des adventices.
<b>Production</b>	Rendements et qualité de la production (rendement en coques et rendement au cassage, ...)
<b>Pratiques culturales</b>	Interventions réalisées : taille, traitements, récolte... et intrants. Conditions et qualité des interventions
<b>Biodiversité fonctionnelle</b>	Auxiliaires (abondance, dynamique, incidences) et marqueurs de l'agro écosystème que nous retenons : syrphes, chrysopes, coccinelles, araignées...
<b>Climat</b>	Informations issues de la station météo présente sur le site
<b>Paysage</b>	Inventaire de l'infrastructure agroécologique de la parcelle et de son environnement proche.

#### 3.2. Modalités de collecte, de traitement des données et d'analyse des résultats

La méthode globale d'analyse doit tenir compte d'une évaluation système qui mobilise des leviers combinés. En conséquence, l'analyse des résultats va procéder de l'étude des écarts entre le système de référence et le système innovant.

#### 3.3. Indicateurs envisagés pour évaluer les performances des systèmes

En fonction des objectifs de réduction fixés les indicateurs envisagés pour chacun des deux systèmes sont les suivants.

##### Indicateurs agronomiques

Il concerne la maîtrise des bioagresseurs (y compris des bioagresseurs émergents) et des adventices. Il est calculé par l'évaluation de leur présence (dynamique d'évolution, durée, périodes...) et de leurs incidences sur la culture : notation de dégâts, dommages et pertes (D.Do.P.).

### Indicateurs économiques :

Les principaux indicateurs économiques enregistrés seront : la mise à fruits, le rendement, la régularité de production, la qualité (rendement au cassage, calibres), les charges de production, et la marge brute.

### Indicateurs environnementaux

Indices de Fréquence de Traitement Phytosanitaires (IFT) chimiques, et de biocontrôle.

## 4. Résultats : comparaison des deux systèmes

Le projet REVATRA a débuté en avril 2018. L'implantation des parcelles a été réalisée au début de l'année 2019. Cette dernière a été consacrée essentiellement à la formation des arbres sur les deux systèmes jusqu'en 2020. Pour la conduite du verger de référence, les arbres ont été rabattus dès la plantation. Une première taille de sélection des rameaux a eu lieu en mai ainsi que deux « topings » en juin et fin août pour renforcer et multiplier la ramification. Les deux variétés ont bien réagi à cette taille. Pour les arbres du système innovant, trois pincements en vert ont été réalisés pour favoriser une forte ramification, mais le manque de vigueur en début de saison n'a pas permis le développement de la ramification autant que souhaité. Les arbres sont cependant bien installés et une taille en vert judicieuse associée à de bonnes conditions de croissance ont permis de combler ce manque.

La mise en place de la bâche tissée sur le système « innovant » a permis une excellente gestion des adventices sans pénaliser le développement des arbres. Cela est fondamentale car les jeunes arbres plantés avaient moins de 1 an de pépinière, et donc très sensible à la concurrence hydrominérale. En revanche, cette bâche demande à être parfaitement tendue à la plantation et balayée une fois par an pour éviter les dépôts de limon. Par ailleurs, les vivaces poussant au pied de la bâche (notamment les morelles noires) ont dû être éliminées à la main.

Autre information, la bâche a favorisé l'arrivée de campagnols (*Microtus duodemcicostatus*) (Photo 4). Ceux-ci n'étaient pas présents lors de la plantation du verger (précédent cultural non appétent). Un premier enseignement de cette expérimentation consiste à dire que la bâche tissée, malgré son intérêt (absence d'adventices et rétention de l'eau) présente un inconvénient majeur qu'il faut prendre en considération. Précisons que cette observation ne peut être totalement généralisée car les campagnols sont plus ou moins présents selon la nature et la profondeur des sols considérés.



**Photo 4** : Campagnol sur Lauranne-Rootpac 20 (Crédit photo CTIFL)

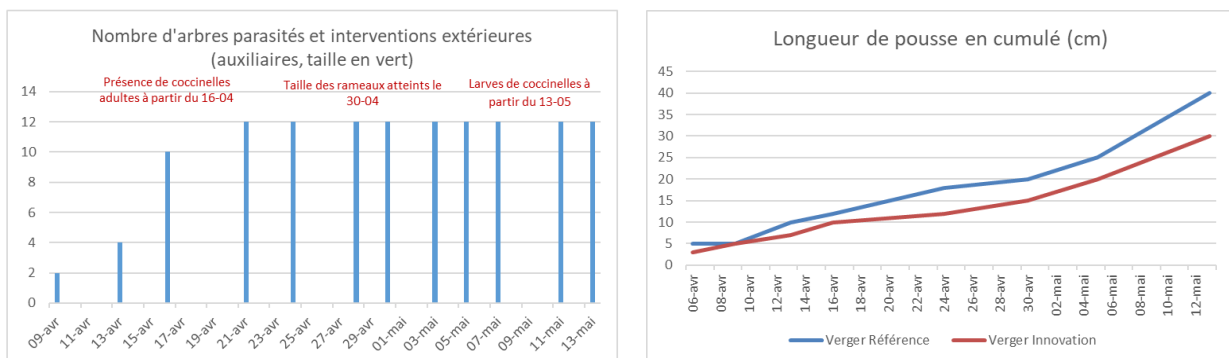
La pression *Eurytoma amygdali* a été faible sur les deux modalités à cause des gels de 2021 (- 6,8°C) et 2022. Ces gels ont entraîné la mort d'une partie importante des larves présentes sur les amandiers sauvages du secteur et ainsi limité la présence de l'insecte adulte l'année suivante. La stratégie chimique sur la modalité "Référence", à savoir deux pyréthrinoïdes de synthèse sur le début et le pic du vol, a été très efficace. De même, la protection par le filet s'est avérée bénéfique avec aucune pique enregistrée (sur un échantillon de 15 000 fruits en 2022 et de 16 000 fruits en 2023). En revanche, en 2023, le témoin non traité





ne faisait pas état de piqures, sans doute lié aux gels évoqués ci-dessus. À noter qu'un autre essai (programme Elzéard), utilisant le même type de filet (Filpack 5\*4, 1.71 x 2.21) a permis de protéger efficacement la parcelle, avec aucun fruit piqué sous le filet (20 % de fruits piqués sur le témoin non traité). Le levier constitué par la pose du filet représentait une innovation pour la culture de l'amandier. Les résultats très satisfaisants en termes de protection incitent à le considérer comme une véritable solution face à *Eurytoma amygdali*, notamment pour les productions en agriculture biologique. C'est effectivement une possibilité mais elle devra être confirmée sur le long terme. En effet, seule une observation sur plusieurs années permettra d'évaluer si l'insecte s'est adapté au filet, en développant des stratégies de contournement. De même, le fait de situer les pressions de l'insecte comme étant faibles sur les années d'essais (à la suite du gel de 2021 qui en a limité les populations), il est important d'observer, en complément de nos travaux, le comportement du filet lors de fortes pressions.

**La protection contre les pucerons** (*Brachycaudus amygdalinus*) a été marquée par des comportements différents sur les deux modalités. Sur la modalité "Référence", les dégâts enregistrés en 2020 sur la deuxième feuille, avec absence de traitement préventif, ont incité à intervenir en 3ème feuille avec une huile de paraffine avant fleur (soit 1 IFT de biocontrôle). Aucune autre intervention n'a été réalisée par la suite. Les leviers taille en vert, présence d'auxiliaires et retour de la vigueur ont permis de limiter très fortement l'impact de ces pucerons sur les jeunes arbres (Figure 2a). Pour la modalité "Innovation" la présence des bandes fleuries (quand les conditions climatiques leur ont permis de se développer) a permis de ne pas avoir de foyers actifs. Cela était également favorisé par la faible vigueur des pousses de cette modalité, liée au porte-greffe nanisant. La différence de comportement entre les 2 vergers par rapport aux pucerons est difficile à expliquer sur un seul paramètre. Nous avons considéré la vigueur, mesurée par la longueur de pousses identifiées. Le fait de disposer d'un porte-greffe faible, le Rootpac 20®, sur la partie innovation peut laisser penser que l'on aura moins de vigueur de pousses et logiquement moins de présence de pucerons. Or, pendant la période de colonisation des pucerons, entre le 9 et le 15 avril, ces différences entre les 2 modalités sont très faibles, voire inexistantes. La vigueur, du moins pendant la période de colonisation, n'a donc pas eu d'incidence (Figure 2B).



**Figure 2 :** (A) Nombre d'arbre parasité et intervention extérieur. (B) Longueur de pousse en cumulé sur la variété Lauranne sur les deux modalités

Les leviers proposés pour la protection contre le puceron de l'amandier, notamment la bande fleurie et la faible vigueur liée au porte-greffe nanisant sont donc effectivement efficaces. L'intérêt de la bande fleuries, attractive pour les auxiliaires, a été confirmé dans d'autres programmes de recherche en amandiculture (Elzéard et LEVEAB).

Concernant la protection contre le "couple" *Fusicoccum amygdali* / *Monilia laxa* ; ces champignons sont considérés comme virulents et pérennes à cause de chancre qui peuvent se développer sur amandiers et servir de réserve annuelle de spores. À ce titre, les règles de décisions émises par le Comité



de Pilotage et le Comité Technique (COPIL/COTECH) de lancement du projet ont été de protéger préventivement les deux modalités. En revanche, les traitements préventifs n'ont pas eu lieu sur les deux premières feuilles car les portes d'entrée de ces champignons, notamment la chute des pétales, ne sont pas encore actives.

Sur les 5 années d'observations, nous n'avons pas mis en évidence de *Fusicoccum* sur les vergers étudiés. Quelques dégâts de *Monilia laxa* sont apparus, mais rares et sans développement. Dans l'ensemble, ces deux champignons ont été bien maîtrisés sur les deux modalités.

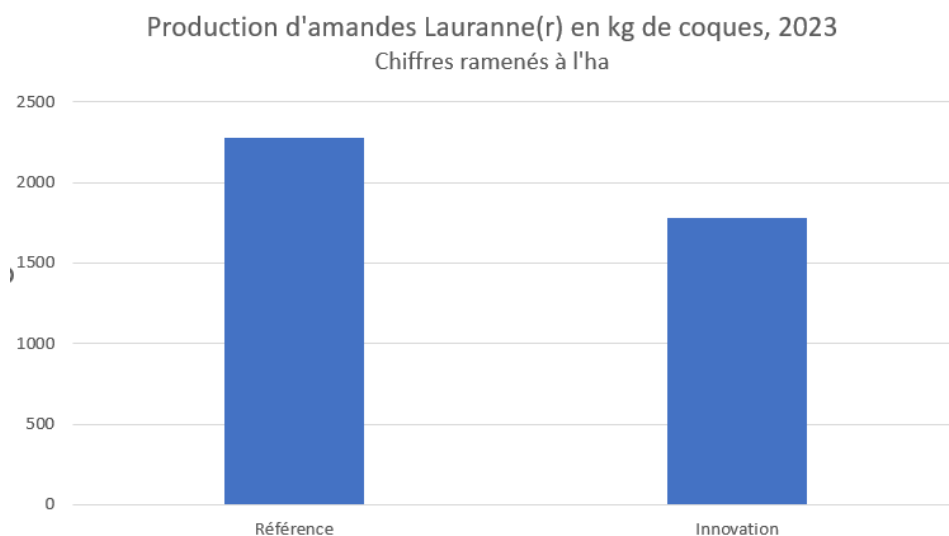
Concernant la maîtrise de la **rouille** (*Tranzhelia pruni-spinosae*) et le ***Coryneum bejinckii*** la situation a été très variable selon les années. En 2020, sur la 2ème feuille, aucun traitement de protection n'a été réalisé. La rouille est apparue en juin et s'est développée en juillet/aout et septembre. Les premiers symptômes sont apparus sur la variété Soleta. Cette variété, donnée peu sensible au *Fusicoccum* et au *Monilia* s'est avérée en revanche, très sensible à la rouille. Elle a favorisé, du fait de la proximité des rangs, le développement de la maladie sur les autres variétés, Lauranne® et Ferragnès. Les dégâts ont été importants avec une décoloration généralisée des feuilles sur les deux modalités (mais d'abord et en priorité sur la modalité "Innovation"). Le *Coryneum* a suivi la même dynamique que la rouille. À partir de 2021, 3ème feuille, la règle de décision a été de protéger les parcelles d'essai si présence de pluies et de températures élevées durant la période de sensibilité (mars à 15 juin). Ce fut le cas en 2023 (5ème feuille).

À partir de cette règle de décision, les deux champignons ont été bien maîtrisés. Malheureusement, nous ne disposons pas sur amandier, d'un modèle prédictif de contamination. De fait, les protections sont déclenchées à partir d'une estimation empirique qui prend en compte l'intensité des pluies mais surtout la durée d'humectation, élément essentiel aux risques de contamination.

### Analyse des performances du système

- *Performance agronomique*

Le fait de disposer de deux variétés différentes dans chaque modalité complique les facteurs de comparaison pour le rendement en amandes coques. Pour présenter une donnée cohérente sur cette dimension du rendement, nous avons isolé la variété Lauranne®, présente sur les 2 modalités ("Référence" avec conduite en gobelets et "Innovation" avec conduite en haie fruitière) en ramenant la production à l'hectare (Figure 3).



**Figure 3** : rendements de Lauranne ® ramenés à l'hectare (ha), 2023

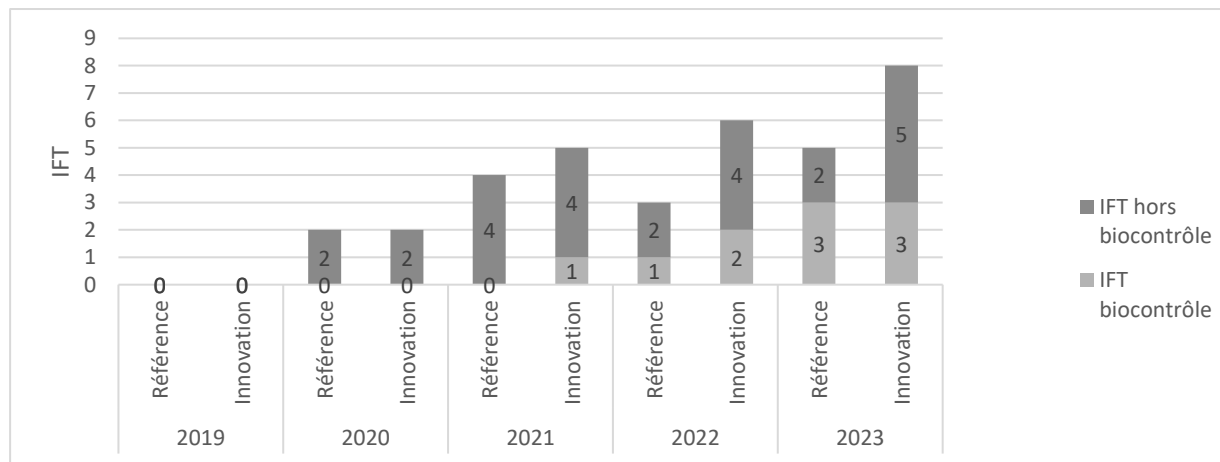


À la suite d'un accident et arrêt de la pompe d'irrigation, les deux parcelles ont été soumises à un stress hydrique important. Le manque d'eau a beaucoup plus fortement pénalisé le vergers « innovation ». En effet, les arbres du système "Innovation" étant sur un porte-greffe faible et peu enraciné ont davantage souffert du manque d'eau avec des conséquences plus fortes sur le potentiel de production (Figure 3). Les autres années de production (troisième et quatrième feuille) ne peuvent être comparées à la suite des dégâts de gel (aucune production en 2021, gel à - 6° C, production faible et irrégulière selon les différents points de la parcelle en 2022).

- *Performance environnementale*

En première feuille (année 2019), aucun traitement n'a été réalisé sur les deux modalités. À ce stade, les maladies fongiques sont généralement peu présentes. De même, à la suite des observations, l'absence de pucerons nous a conduit à ne pas réaliser de protection contre ce ravageur.

En deuxième feuille (année 2020), nous avons pris la décision de ne pas réaliser de protection fongique. Cette décision c'est avéré préjudiciable dans la mesure où nous avons subi des dégâts conjugués de Rouille (*Tranzchelia pruni-spinosae*) et de *Coryneum*. Cette attaque fongique nous a obligé à réaliser deux traitements (voire trois sur la variété Soleta, qui s'est montrée très sensible) pour limiter l'impact de ces champignons. Ces contaminations ont montré l'importance d'une protection préventive sur les principales maladies fongiques, ce qui a modifié les règles de décisions initiales. À partir de la 3ème feuille, la protection préventive a été mise en place. Seule exception, la possibilité de se passer d'une protection cuivre a été testée en 5ème feuille (année 2023) sur la partie "Innovation", à priori avec succès car sans incidence négative sur la protection maladies de cette modalité.



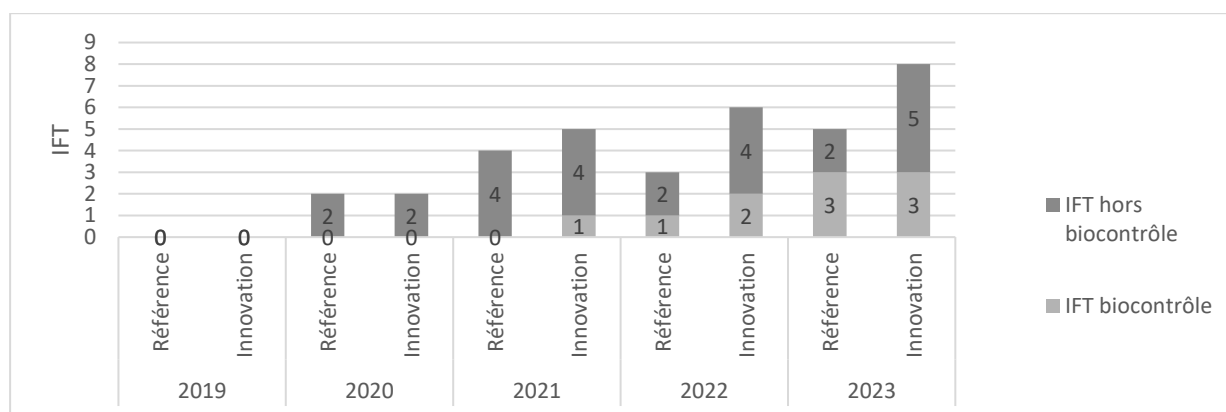
**Figure 4** : répartition de l'IFT par modalité et par année

La baisse des IFT pour la modalité "Innovation" concerne essentiellement la protection contre les ravageurs (Figure 4). Elle se concentre sur deux insectes, le puceron et l'hyménoptère *Eurytoma amygdali*. Pour ce dernier, le filet, de maille 5\*4, 1.71 x 2.21, installé sur le verger "Innovation" a empêché le passage de l'insecte, avec aucun dégât enregistré sur les 4ème et 5ème feuille. Les deux années de fort gel (2021 et 2022) ont pénalisé la production mais également tué les larves de cet insecte dans l'environnement. De fait, les années suivantes, le témoin non traité n'a pas été touché. Cependant, un essai mené en 2023 sur un autre programme avec la même protection filet a montré également l'absence de dégâts avec un témoin non traité à 20 % de fruits piqués.

Pour les autres insectes ravageurs : *Anarsia lineatella* et Cicadelle (*Assymetrasca decedens*), les observations très régulières (1 contrôle rigoureux par semaine de début mars à fin septembre), ont permis de ne pas traiter. Des symptômes sont apparus (effet des piqures) mais les dégâts ont été évalués insuffisants pour déclencher des traitements. Le seuil de nuisibilité n'étant pas établi par

ailleurs sur ces insectes, nous avons décidés de n'intervenir que si la croissance des arbres était en phase d'arrêt, ce qui ne fut pas le cas lors de nos observations.

À noter que nous ne présentons pas l'IFT herbicide car aucun herbicide n'est réalisé sur les deux modalités. Concernant le verger "Référence", c'est un choix du COPIL/COTECH avec priorité au désherbage mécanique et pour le verger "Innovation", il était intéressant d'étudier l'intérêt de la bâche tissée. Pour le désherbage mécanique, il a été noté une bonne efficacité, mais implique trois passages par an. Pour la bâche tissée, une très bonne efficacité contre les adventices est à noter. Toutefois un entretien annuel, comme mentionné précédemment, est obligatoire par balayage. En revanche, nous avons observé sous la bâche, le développement des populations de campagnols qui ont entraîné la mortalité de quelques arbres. En synthèse, les deux modalités permettent une baisse de l'IFT de 0.25 à 0.5 par rapport au désherbage chimique.



**Figure 5** : IFT hors biocontrôle et IFT de biocontrôle par modalité et par année

Peu de produits de biocontrôle sont disponibles en amandiers (par exemple, il n'existe encore pas à ce jour de confusion sexuelle contre *Eurytoma amygdali*). La différence entre les deux systèmes vient du non-usage des huiles de paraffine d'hiver contre les pucerons sur la modalité "Innovation" et ce, sans développement de l'insecte (faible vigueur des arbres et auxiliaires permettent cette suppression d'IFT) (Figure 5).

L'objectif du projet visant à réduire de 60 à 80 % le nombre d'IFT a été globalement atteint (Figures 4 et 5). En revanche, les aléas climatiques et les contraintes techniques (panne de l'irrigation) que nous avons rencontrés durant ce projet ne nous a pas permis d'évaluer la rentabilité du dispositif, étant donné leur impact sur la récolte. Les charges comprenant les temps de travaux et les investissements sont nettement plus importants pour le verger « innovant ». Au regard, du potentiel productif des vergers « innovant » tel qu'ils sont exploités en partie en Espagne, laisse entrevoir la possibilité d'une certaine rentabilité de ce type de dispositif avec une surface critique. Ce n'est à ce jour qu'une hypothèse qui nécessite d'être évaluée et validée en France

## 5. Conclusion : les enseignements et quels transferts vers les exploitations agricoles ?

**Transfert du système Innovation** dans son intégralité. La dimension systémique favorise ce type de transfert. La modalité "Innovation" permet la mise en place du filet et donc l'économie d'IFT contre les insectes ravageurs (les résultats *Eurytoma amygdali* devraient cependant être complété par des essais sur d'autres ravageurs présents ou à venir sur le verger d'amandier). Les rendements sur cette modalité ont été perturbé par le gel et un accident d'irrigation mais semblent de très bon niveau dans les vergers régionaux de même mode de conduite (Com. Pers.). Avant d'installer ce type de verger, il faut cependant s'assurer de disposer du système de récolte



spécifique (machine à vendanger surélevée) et d'un suivi très pointu de l'alimentation hydro-minérale.

### **Transfert de certains leviers de l'essai.**

**Le levier variétal** : la variété Soleta, donné comme peu sensible aux champignons de blessure (*Fusicoccum amygdali* et *Monilia*) s'est montrée particulièrement sensible à la Rouille (*Tranzchelia pruni-spinosae*) et au *Coryneum*. C'est une information essentielle qui va orienter les choix variétaux et/ou justifier la mise en place d'une protection fongique très rigoureuse sur cette variété.

**La bâche tissée au sol** : son efficacité est optimale si elle est bien entretenue. On peut ainsi transférer l'idée d'un système efficace, de coût raisonnable, qui permet d'oublier complètement la problématique du désherbage sur le rang de plantation. En revanche, à déconseiller fortement dans les terrains avec risques de campagnols.

**Les bandes fleuries** sont transférable également, et donne de bons résultats si elles démarrent bien et se maintiennent. Cela est naturellement lié à la présence de pluies après semis. Ces bandes fleuries attirent les insectes auxiliaires comme les Syrphes et les Chrysopes qui viennent se nourrir de nectar. Ils passent ensuite sur les amandiers pour consommer les pucerons présents. Cependant, sa gestion peut être rendu difficile, en raison de l'arrêté abeille imposant une tonte des fleurs en saison s'il y a usage d'insecticides.

**Le filet** ne peut être dissocié du mode de conduite, c'est à dire qu'il ne peut être transféré que sur des vergers en haie fruitière. Précisons que l'efficacité du filet (5x4, 1,71 x 2,21) est réelle dans nos essais mais devra très clairement être confirmée lors de pressions fortes de l'insecte.

**L'efficacité des traitements** : nous avons constaté la possibilité de se passer d'un IFT cuivre si l'encadrement de la floraison est rigoureuse et si l'intervention est pertinente en saison selon les durées d'humectation. Sur les cicadelles (*Assymetrasca decedens*) et le lépidoptère *Anarsia lineatella*, les attaques considérées comme moyenne sur les vergers d'essai n'ont pas nécessité d'interventions. Cela sous-entend néanmoins de bien identifier la notion de dégâts acceptables.

### **Pistes d'amélioration, enseignements et perspectives**

Ces travaux de recherche constituent le premier pas vers un verger d'amandiers plus performant en termes de production mais aussi en termes de respect de l'environnement. En effet, un programme, nommé ELZEARD s'est appuyé sur le concept "Innovation" de l'étude REVATRA pour proposer un verger en haie fruitière envisagé comme plus performant. Les arbres sont plantés à 5 m x 3 m avec une hauteur attendue de 3,50 m (Porte greffe vigoureux et maîtrise de la vigueur obligatoires). La haie permet la pose du filet et les premiers résultats ont montré son étanchéité sur *Eurytoma amygdali*. Des essais complémentaires sont envisagés pour étudier l'effet barrière du filet sur d'autres insectes dont *Monosteira uncostata* qui se développe en cas de fortes chaleurs. En 3ème feuille, le rendement a été plus élevé que la modalité témoin en gobelets à 6 m x 6m.

D'autres programmes présents (comme LEVEAB) ou à venir vont compléter la recherche de la triple performance, économique, environnementale et sociale.

Les pistes d'amélioration concernent notamment le choix de variétés peu sensibles aux bioagresseurs et performantes en termes de rendement. Elles concerneront aussi l'amélioration du désherbage hors herbicides avec de nouveaux matériels physiques (bâche peu impactante campagnols) ou de désherbage mécanique permettant de baisser les coûts et les interventions. Enfin, il est nécessaire de multiplier les pistes de recherche sur la limitation des dégâts d'*Eurytoma amygdali*. Cela concerne les kairomones d'attraction de l'insecte (premiers essais en laboratoires à compléter), les hormones d'oviposition et la recherche d'auxiliaires.



## Ethique

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

## Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

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

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

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

## ORCID des auteurs

Fabrice Lheureux : [0000-0001-6916-3981](https://orcid.org/0000-0001-6916-3981)

## Contributions des auteurs

Rédaction : FL

Relecture : JMM

## Déclaration d'intérêt

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

## Déclaration de soutien financier

Action du plan Ecophyto piloté par les ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie, de la santé et de la recherche, avec l'appui technique et financier de l'Office français de la Biodiversité.

## Références bibliographiques :

Christy G., 2017. Valorisation de l'amande française : bilan de marché et perception des professionnels. Étude économique CTIFL : 54p. <https://www.ctifl.fr/valorisation-de-l-amande-francaise-bilan-de-marche-et-perception-des-professionnels>

Grassely C., Duval H., 1997. L'amandier. Monographie CTIFL :166p.

Grisvard P. 2023. Le Tigre de l'amandier, *Monosteira unicostata* (Mulsant & Rey, 1852) (Hemiptera, Tingidae), une espèce de punaise nouvelle pour la faune d'Alsace (France, Grand Est). Bulletin de la Société d'Histoire naturelle et d'Ethnographie de Colmar, 79 (16) : 175-177.

Khanmohamadi F., Khajehali J., Izadi H., 2016. Diapause and Cold Hardiness of the Almond Wasp, *Eurytoma amygdali* (Hymenoptera: Eurytomidae), Two Independent Phenomena. J Econ Entomol. Aug;109(4):1646-50. doi: 10.1093/jee/tow150. PMID: 27354509.

Miarnau X., Zazurca L., Torguet L., Zúniga E., Batlle I., Alegre S., Luque J., 2021. Cultivar susceptibility and environmental parameters affecting symptom expression of red leaf blotch of almond in Spain. Plant Disease, 105 :040-947. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-20-0869-RE>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue Innovations Agronomiques et son DOI, la date de publication.