



**HAL**  
open science

## Sys'Noix : un système innovant pour la réduction des intrants en vergers de noyers

Marine Barbedette, Daniel Delaigue, Jean-Baptiste Philibert, Cyrielle Masson, Delphine Sneedse, Muriel Pouchard, Michel Bougy, Stéphane Dupre

### ► To cite this version:

Marine Barbedette, Daniel Delaigue, Jean-Baptiste Philibert, Cyrielle Masson, Delphine Sneedse, et al.. Sys'Noix : un système innovant pour la réduction des intrants en vergers de noyers. *Innovations Agronomiques*, 2024, 98, pp.190-204. 10.17180/ciag-2024-vol98-art13 . hal-04816870

**HAL Id: hal-04816870**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04816870v1>**

Submitted on 3 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



# Sys'Noix : un système innovant pour la réduction des intrants en vergers de noyers

Marine BARBEDETTE<sup>1</sup>, Daniel DELAIGUE<sup>1</sup>, Jean-Baptiste PHILIBERT<sup>1</sup>, Cyrielle MASSON<sup>1</sup>,  
Delphine SNEEDSE<sup>1</sup>, Muriel POUCHARD<sup>1</sup>, Michel BOUGY<sup>1</sup> et Stéphane DUPRE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SENURA – 385 Route de Saint-Marcellin, 38160 Chatte, France

**Correspondance** : mbarbedette@senura.com

## Résumé

Dans le cadre de l'appel à projets DEPHY EXPE Ecophyto, la SENURA a mené un projet de 2018 à 2023, appelé " Sys'Noix ", dont l'objectif était de réduire les intrants en vergers de noyers, en particulier, l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) (-100 % d'herbicides, -50 % de fongicides, de -50 % à -100 % d'insecticides), en maintenant la durabilité économique des exploitations.

Deux systèmes ont pu être testés, l'un d'entre eux, développé ici, consistait à reconcevoir un verger de variété Lara par la mise en place de barrières physiques.

L'étude a montré qu'il est possible de cultiver des noyers sous bâches anti-pluie et filets anti-insecte en réduisant l'IFT. De bons résultats ont été obtenus sur les nécroses bactériennes et fongiques, sur les événements climatiques et les rendements, tandis que des résultats mitigés ont été observés sur les insectes nuisibles. Cependant, le coût élevé de l'infrastructure soulève des questions quant à la possibilité de l'installer à grande échelle.

**Mots-clés** : Noyer, barrière physique, réduction intrants, pérennité économique

## Abstract - Sys'Noix: using physical barriers to reduce inputs on walnut orchards

As part of the Ecophyto DEPHY EXPE call for projects, SENURA carried out a project from 2018 to 2023, called 'Sys'Noix', the aim of which was to reduce inputs in walnut orchards, in particular the Treatment Frequency Indicator (TFI) (-100 % herbicides, -50 % fungicides, from -50 % to -100 % insecticides) while maintaining the economic sustainability of the farms.

Two systems were tested, one of which, developed in this paper, involved redesigning an orchard of the Lara variety by installing physical barriers.

The study showed that it is possible to grow walnut trees under rain covers and insect proof nets while reducing the TFI. Good results were obtained on bacterial and fungal necrosis, climatic events and yields, while mixed results were observed on insect pests. However, the high cost of the infrastructure raises questions as to whether it can be installed on a large scale or not.

**Keywords**: walnut, physical barriers, reducing inputs, economic sustainability

## 1. Introduction

La culture du noyer représente le deuxième verger en France avec près de 26 903 hectares en 2022 (AGRESTE, 2023) répartis sur deux bassins de production : le bassin Sud-Ouest, représenté par l'AOP noix du Périgord et le bassin Sud-Est, par l'AOP noix de Grenoble (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2024). Dans ces deux zones, la variété Franquette est historiquement la plus présente. Cette variété est plus rustique et sa gestion est plus extensive que d'autres variétés comme

Lara. Cette dernière représente un autre segment de la production. C'est une variété plus intensive et plus sensible aux bioagresseurs. Elle est également présente dans les deux régions.

L'étude menée par le CTIFL entre 2008 et 2011 (Brachet et al., 2011) a montré que les IFT (hors biocontrôle) varient entre  $5 \pm 3$  pour Franquette et  $7 \pm 4$  pour Lara. Au cours de ces dernières années, il a augmenté avec le développement et/ou l'apparition de certains bioagresseurs (L'antracnose *Colletotrichum*, mouche du brou...). Parallèlement à cette pression sanitaire croissante, les préoccupations des riverains vis-à-vis des applications de produits phytosanitaires se sont aussi accentuées.

D'autre part, de 2016 à 2020, la SENUra a travaillé sur la gestion des intrants dans le cadre du contrat de rivière Sud Grésivaudan (Barbedette, 2022). A la suite de quoi, elle s'est engagée dans un projet DEPHY EXPE intitulé « Sys'Noix » de 2018 à 2023 en partenariat, sur le volet biodiversité, avec le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes) et la LPO (Ligue de Protection des Oiseaux) de l'Isère. L'objectif était de réduire l'IFT (-100 % d'herbicides, -50 % de fongicides, de -50 % à -100 % d'insecticides) tout en maintenant la durabilité économique des exploitations. Deux systèmes ont été évalués en comparaison à des pratiques « producteurs ». La première expérimentation a consisté à évaluer la combinaison de leviers déjà connus (désherbage mécanique, confusion sexuelle...) en favorisant les régulations naturelles sur un verger traditionnel de variété Franquette. La seconde expérimentation, plus innovante, visait à reconcevoir un jeune verger de variété Lara avec des barrières physiques en substitution aux applications phytosanitaires. Elle a permis de tester les limites du système et d'évaluer les avantages et inconvénients d'une telle installation dans un verger de noyers. Cet article illustre les principaux résultats obtenus sur l'évaluation du système mis en place sur la variété Lara.

## 2. Matériels et méthode

### Site d'expérimentation

L'expérimentation a été menée de 2018 à 2023 dans le département de l'Isère au cœur de la zone de production du Sud-Est. Elle a été mise en place chez un producteur, dans un jeune verger dense de variété Lara, planté en 2012 et conduit en agriculture conventionnelle. La Figure 1 ci-dessous détaille le dispositif expérimental mis en place.



**Figure 1** : Dispositif expérimental (source : SENUra)

Cette variété a été sélectionnée pour plusieurs raisons : tout d'abord, elle est très présente dans les deux bassins de production (Sud-Est et Sud-Ouest) et est représentative d'un segment de production (noix fraîche). Ensuite, il s'agit d'une variété productive, conduite en haute densité et plutôt sensible aux



bioagresseurs ce qui nécessite souvent une protection renforcée du verger contrairement à d'autres variétés plus rustiques (ex : *Franquette*). Enfin, l'arbre de cette variété est souvent moins haut ce qui la rend plus adaptée à un système contraint (hauteur, largeur) avec des barrières physiques.

Mis à part le choix variétal, la parcelle a été sélectionnée pour ses problématiques sanitaires en particulier vis-à-vis des nécroses fongiques et bactériennes, son âge (6 ans), permettant à la fois une re-conception du verger et la collecte de données de production pendant la durée de l'expérimentation.

La parcelle a été divisée en deux parties, séparées entre elles par une zone tampon. On retrouve d'une part, la modalité de « référence » pilotée par le producteur sur 0,5 ha de surface, et d'autre part, la modalité innovante appelée « Sys'Noix » sur 0,4 ha (3 rangs).

L'année 2018, première année du projet, a consisté à caractériser le site d'expérimentation ce qui a permis de vérifier son homogénéité d'un point de vue édaphique, biotique et abiotique. Puis, 5 arbres ont été sélectionnés par modalité et observés tout au long du projet.

Au total, 6 indicateurs (ex : *production, pression phytosanitaire...*) et 35 variables ont été suivis (ex : *rendement, calibre, qualité, pourcentage de dégâts...*) mais pour le présent article, seulement une partie des résultats obtenus entre 2019 et 2023 seront détaillés.

## **2.2. Conduite culturelle dans le système de référence**

Durant toute la durée de l'expérimentation, le producteur a piloté la modalité de référence selon ces pratiques habituelles :

Fertilisation : organique (lisier, fumier) et minérale (ammonitrate) fractionnée en plusieurs apports ;

Irrigation : goutte à goutte enterré.

Protection du verger : surveillance accrue des ravageurs (<1 % véreuses) du fait du système de commercialisation, propreté du rang et de l'inter-rang pour contrôler facilement les fuites d'irrigation et faciliter la récolte au sol.

## **2.3. Conduite et leviers déployés dans le système innovant**

Le pilotage du système innovant a été réalisé par la SENUA. Afin de réduire les interventions phytosanitaires, différents leviers ont été déployés. Ces leviers sont décrits pas à pas dans les paragraphes suivants et sont représentés en Figure 2.

La fertilisation et l'irrigation sont identiques à la référence que ce soit en type, quantité ou période d'apport. La taille a été réalisée annuellement au lamier pour contenir les arbres et limiter les dommages occasionnés à l'installation.

### **2.3.1. Stratégie de gestion des maladies et ravageurs**

Pour lutter contre les bioagresseurs du noyer, des barrières physiques ont été installées. Il s'agit d'une installation mono-rang, unique en vergers de noyers. Le dispositif est spectaculaire puisqu'il mesure 9 m de haut. Avec une telle infrastructure, l'objectif était de substituer les fongicides, bactériostatiques et les insecticides en privilégiant, les premières années, les insecticides biologiques en traitement d'assainissement et à terme viser le zéro phyto.

Les bâches anti-pluie, avec leur action « parapluie », empêchent le développement de maladies fongiques (*Gnomonia l.* et *Colletotrichum sp.*) et bactériennes (*Xanthomonas arboricola p.v juglandis*). Elles sont déployées à l'aide d'une nacelle élévatrice en avril avant la période de sensibilité à l'antracnose (causée par *Gnomonia l.*) c'est-à-dire avant les stades « Df » et « Df2 » (échelle de Germain) et avant une période de précipitations. Elles restent déployées jusqu'à la récolte (septembre) et couvrent tous les autres risques fongiques et bactériens.

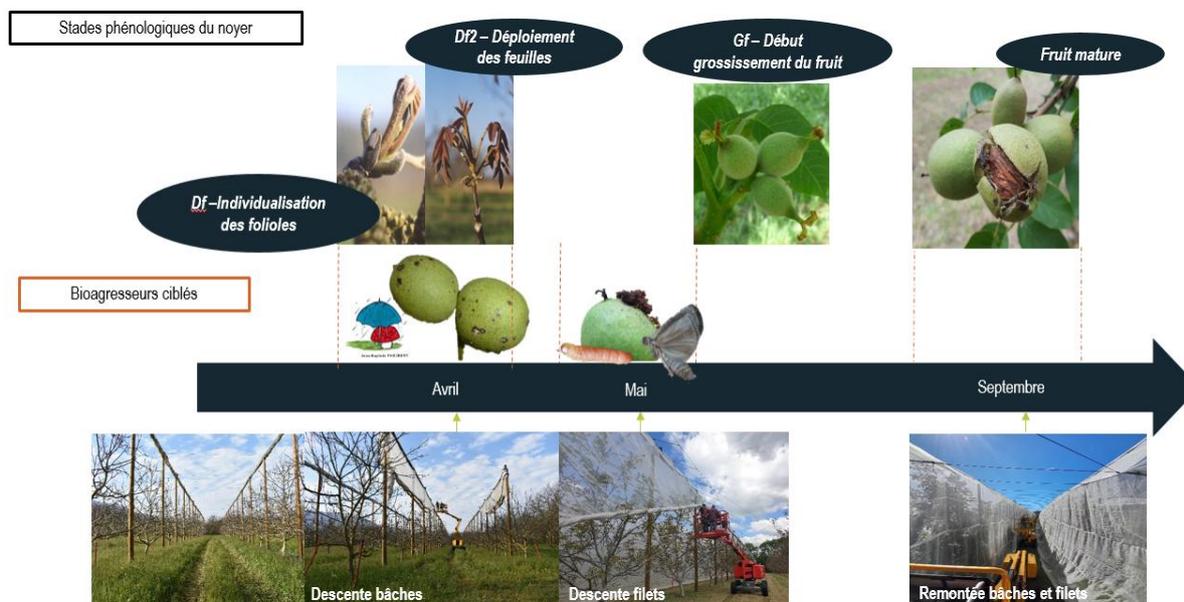
Bien que l'objectif principal des bâches anti-pluie ne soit pas ici de protéger les noyers des aléas climatiques, c'est aussi une fonction qu'elles peuvent remplir. Ce projet a aussi été l'occasion d'en mesurer l'effet.

Les filets anti-insecte protègent les noyers des ravageurs, comme le carpocapse (*Cydia pomonella*) et la mouche du brou (*Ragoletis completa*), en les empêchant d'accéder aux noix. Ils doivent être descendus en mai, avant l'apparition du carpocapse, et rester en place jusqu'à la récolte (septembre). Une nacelle élévatrice est également nécessaire pour cette action.

Enfin, l'ensemble de l'installation doit être remonté avant le début de la récolte mais le plus tard possible pour éviter les attaques tardives des bioagresseurs. En parallèle, les filets sont réparés si cela est nécessaire. Ces opérations sont réalisées par un prestataire de service dans la mesure du possible et à l'aide de deux nacelles élévatrices.

### 2.3.2. Stratégie de gestion des adventices

Les herbicides sont remplacés par un entretien mécanique combiné du rang et de l'inter-rang permettant une réduction du nombre d'interventions (limitation du tassement sol et réduction du temps de travail). Seules deux opérations sont réalisées au cours de la saison : la première, juste avant la descente des filets anti-insecte et la seconde, avant récolte.



**Figure 2 :** Description chronologique des actions réalisées sur la modalité innovante en fonction du temps, des stades phénologiques et de l'arrivée des bioagresseurs (source : SENURA)

### 2.4. Indicateurs et variables observés

L'ensemble des indicateurs et variables décrits dans les paragraphes suivants sont systématiquement observés et mesurés dans les deux modalités afin de pouvoir les comparer.

#### 2.4.1. Pression phytosanitaire : nombre de traitements, dose appliquée, surface traitée

La pression phytosanitaire est évaluée à partir de l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitement). Cet indicateur rend compte du nombre de doses de produits phytopharmaceutiques appliquées par hectare pendant une campagne culturale (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2023). La formule de calcul utilisée est décrite ci-dessous (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire 2018) :

$$IFT = \frac{\text{Dose appliquée}}{\text{Dose homologuée}} \times \frac{\text{Surface traitée}}{\text{Surface de la parcelle}}$$



Chaque année, les opérations culturales des deux systèmes sont enregistrées et récupérées pour calculer l'IFT et permettre une comparaison. Il est calculé par cible (fongicide, herbicide...), par année (2019-2023) et par modalité (Référence / Sys'Noix) pour suivre l'évolution des pratiques. Dans le cadre de ce projet, l'IFT de biocontrôle est exprimé séparément et concerne, pour la filière noix, exclusivement les insecticides. C'est pourquoi, il pourra y avoir à la fois un IFT insecticide (chimique) et un IFT de biocontrôle (insecticide). Pour compléter cet indicateur, un nombre d'interventions a été calculé pour mettre en perspective les résultats.

#### **2.4.2. Pression sanitaire : dégâts cumulés « saison » et « récolte »**

Pour évaluer la pression sanitaire, 5 toiles tissées ont été installées sur chaque modalité pendant la durée de l'expérimentation. Ces dernières ont été mises en place sur le rang sous la canopée de chaque arbre. Elles mesurent environ 2 mètres de large et 6 mètres de long (longueur de la canopée). Cette surface d'échantillonnage permet une bonne représentativité des problèmes sanitaires de l'arbre d'après des travaux menés par la SENURA. Cette méthode consiste à recueillir les chutes de noix tout au long de la période de suivi, à identifier l'origine des dégâts et à les quantifier. Les relevés ont été réalisés tous les 7 à 10 jours de juin à septembre.

Les principales catégories de dégâts rencontrées sont les suivantes (SENURA 2020) : dégâts de « bactériose », dégâts de « *Colletotrichum* », dégâts de « bactériose et *Colletotrichum* », dégâts « d'antracnose » (*Gnomonia l.*), dégâts de « carpocapse », dégâts de « mouche du brou » et dégâts « autres » (symptômes non identifiés ou dégâts de grêle...). Pour chaque catégorie et par modalité, les noix ont été additionnées et un taux de dégâts a été calculé.

#### **2.4.3. Production : rendement, calibre et qualité**

L'évaluation des performances de production passe par le calcul de trois variables à la récolte : rendement, calibre et la qualité des fruits. Le rendement est obtenu à partir du ramassage manuel des noix de 10 arbres : 5 avec toile tissée et 5 autres sélectionnés à proximité pour plus de représentativité. Seules les noix commercialisables ont été ramassées. Elles ont ensuite été pesées séparément selon leur maturité (noix avec brou ou noix en coque). Afin d'évaluer le calibre et la qualité, 3 échantillons de 100 noix ont été prélevés sur la récolte principale c'est-à-dire la plus importante quantitativement (récoltes traditionnellement réalisées en 2 ou 3 fois).

Le rendement a été calculé annuellement grâce aux quantités de noix ramassées lors des différentes récoltes et grâce aux mesures faites sur les échantillons de noix (poids sec/frais). Il est exprimé en équivalent de tonnes de noix sèches à l'hectare.

Le calibre a été obtenu à partir des échantillons de 100 noix après passage dans des grilles décroissantes de calibrage : >38 mm, 38-36 mm, 36-34 mm, 34-32 mm, 30-32 mm, 28-30 mm et <28 mm. Une pesée de chaque catégorie de calibre est réalisée ce qui permet le calcul d'un pourcentage de noix par calibre.

L'évaluation de la qualité des noix passe par l'évaluation de la couleur et du remplissage du cerneau. Elle a été réalisée sur la moitié des échantillons (soit 50 /100 noix /échantillon). Après cassage des noix, les cerneaux ont été triés, pesés et comptés par catégorie : blonds (qualité supérieure), arlequins clairs, arlequins foncés, cerneaux flétris (25 %, 50 %, 75 %, 100 %), cerneaux citronnés, déchets. Un pourcentage par catégorie a été calculé.

#### **2.4.5. Etat général de l'arbre : vigueur**

Cet indicateur permet de vérifier si les arbres ont un comportement identique ou non en fonction de la modalité. Pour cela une mesure annuelle (l'hiver) de circonférence de tronc est réalisée à 20 cm du sol. Un taux d'accroissement peut ensuite être calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{Taux d'accroissement} = \frac{\text{circonférence } N - \text{circonférence}(N - 1)}{\text{circonférence } N - 1} \times 100$$



### **2.4.6. Indicateur Climatique**

L'évaluation de l'indicateur climatique a été permise par la mesure de plusieurs variables en particulier température, humidité relative, humectation, point de rosée. L'objectif est d'apprécier l'existence ou non de différence entre système et de mieux comprendre le comportement des noyers en milieu contraint.

Ces mesures ont été réalisées à partir de capteurs Tinytag TGP-4500 et TGPR-0704 (humectation). Chaque capteur était présent 1 fois sur chaque modalité. La période considérée pour chaque modalité correspondait au premier jour après descente des filets anti-insecte et le premier jour avant remontée de l'infrastructure (mi-septembre). Ces dates sont légèrement variables d'une année à l'autre. Pour chaque variable climatique, une mesure par heure a été enregistrée.

### **2.4.7. Approche économique : coût de l'installation et chiffre d'affaire**

L'enregistrement des temps de travaux et des coûts relatifs à la mise en place des barrières physiques ainsi que le calcul du chiffre d'affaires (rendement x prix des noix €/kg) ont permis une première approche économique de cette infrastructure. Ces données viendront compléter une étude économique plus approfondie qui ne fait pas l'objet de cet article.

### **2.5. Analyse multicritères**

En fonction des variables utilisées, une analyse descriptive a été réalisée dans un premier temps (histogramme, nuage de points, diagramme radar...). Après vérification des conditions de normalité et d'homoscédasticité et si des différences ont été identifiées, alors une analyse statistique a été réalisée. Lorsque les deux modalités étaient seulement comparées entre elles c'est un test non paramétrique de Mann Whitney (petits échantillons) qui a la plupart du temps été utilisé au seuil de risque alpha =5 %. Une analyse plus globale multi variée a parfois été utilisée.

## **3. Résultats**

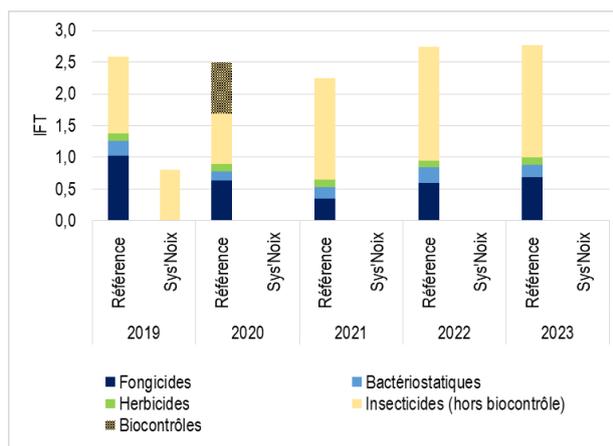
### **3.1. IFT**

La figure 3 décrit l'évolution de l'IFT entre 2019 et 2023 par modalité. L'IFT total est découpé en fonction de l'action des produits utilisés.

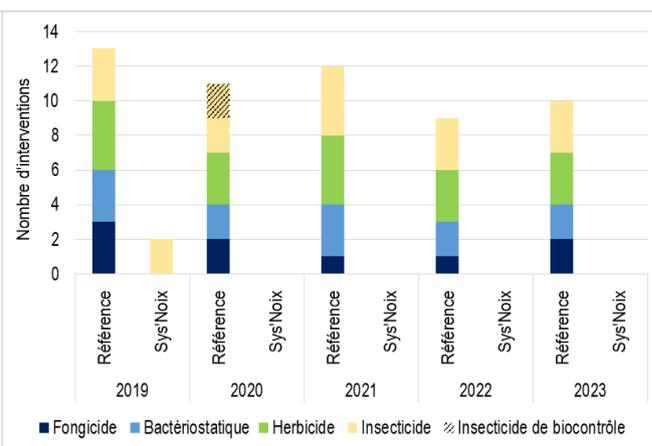
L'IFT initial de la référence est d'environ 2,5 ce qui est relativement faible par rapport à l'IFT moyen (7+/-4) de cette variété (Brachet et al., 2011). Les fongicides et les insecticides sont les catégories de produits les plus représentées. D'une manière globale et à l'exception de l'année 2022, l'IFT total tend à augmenter en raison du verger qui grandit (surface foliaire traitée qui augmente).

L'installation des barrières physiques sur la modalité Sys'Noix a eu lieu en 2019. Cette année-là, bien que deux insecticides chimiques aient été réalisés pour assainir la parcelle avant fermeture de l'infrastructure, l'IFT insecticide a été réduit de 33 % et l'IFT total de 69 %. Par la suite, plus aucun traitement n'a été réalisé.

L'objectif principal de réduction de l'IFT a été atteint, mais il est important de vérifier si la pression sanitaire a été maîtrisée et si la production maintenue avec une telle réduction.



**Figure 3 :** Evolution des IFT entre 2019 et 2023 par modalité



**Figure 4 :** Evolution du nombre d'interventions phytosanitaires par modalité entre 2019 et 2023

La figure 4 recense le nombre d'interventions réalisées chaque année par modalité pour protéger le verger des bioagresseurs. Le nombre total d'interventions est réparti par type d'action.

Il est possible de constater que le nombre d'interventions sur la référence varie entre 9 (2022) et 13 (2019) mais tend globalement à décroître au fur et à mesure des années. Le désherbage représente le plus grand nombre de passages (3,4 en moyenne), suivi par les insecticides (3 en moyenne).

La mise en place des barrières physiques sur la modalité Sys'Noix a permis, à terme, une réduction totale des interventions fongicides, bactériostatiques et herbicides. Les interventions insecticides ont été réduites totalement en 2020. L'arrêt de la protection phytosanitaire par pulvérisation entraîne une réduction des charges, du temps de travail et de l'émission des gaz à effet de serre.

### 3.2. Pression sanitaire

La **figure 5** représente les variations annuelles de pression sanitaire depuis 2018 pour les deux modalités en fonction du type de bioagresseur.

Au début de l'expérimentation, en 2018, avant mise en place des barrières physiques, les deux zones identifiées pour les suivis étaient homogènes (environ 20 % de dégâts cumulés). Les nécroses bactériennes et fongiques du noyer étaient alors les principaux dégâts (environ 15 %).

En 2019, des pertes importantes ont été enregistrées sur la référence (60 %) suite à un important orage de grêle alors qu'elles ont été réduites sur Sys'Noix (15 %). Le même constat peut être fait en 2021 après une saison particulièrement pluvieuse, favorable aux champignons et bactéries.

Les pertes cumulées sur Sys'Noix sont à la fois stables sur la durée de l'essai et inférieures à la référence dans 3 cas sur 4.

Une très bonne efficacité des bâches anti-pluie a été constatée sur les nécroses d'origine fongiques et bactériennes. En moyenne sur 5 ans, les dégâts de nécrose ont été réduits de 63 % par rapport à la référence.

Concernant les ravageurs, la pression en mouche du brou a été globalement trop faible durant l'essai pour conclure à l'efficacité des filets. Aussi, les filets anti-insecte n'ont pas permis un contrôle suffisant du carpocapse pour répondre à l'objectif producteur (<1 % dégâts) et ce malgré l'application complémentaire d'insecticides la première année et la mise en place de bandes cartonnées dès 2021. Ces résultats sont à relativiser au regard d'une pression plus importante sur le rang suivi par rapport aux rangs adjacents également protégés. Il semble particulièrement important d'assainir la parcelle avant d'installer les filets.

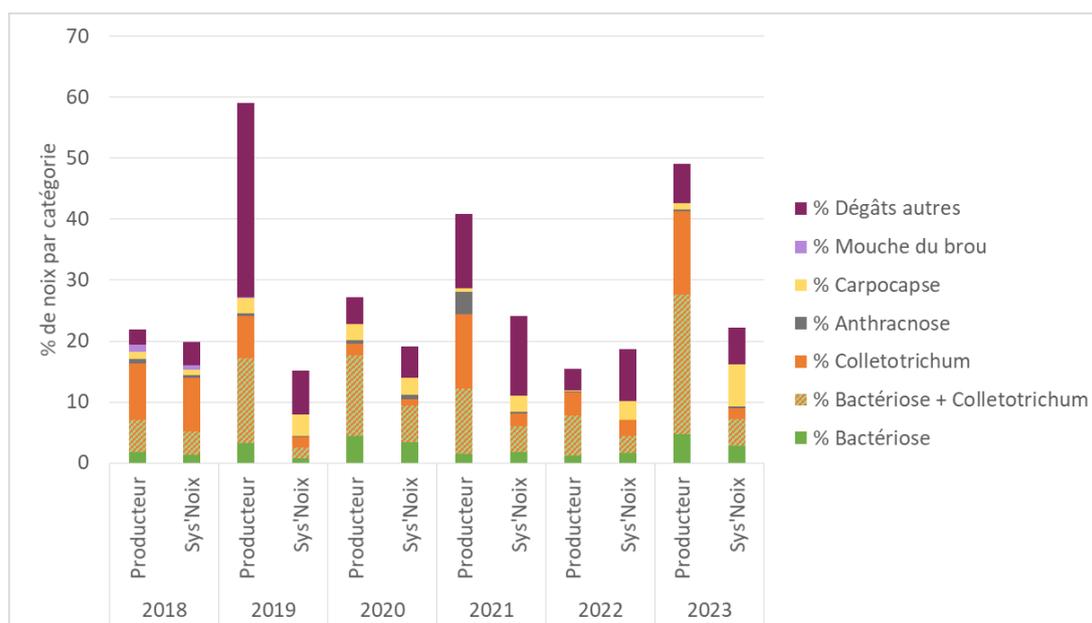


Figure 5 : Evolution de la pression sanitaire depuis 2018 par modalité et par bioagresseur

### 3.3. Production : rendement, calibre, qualité

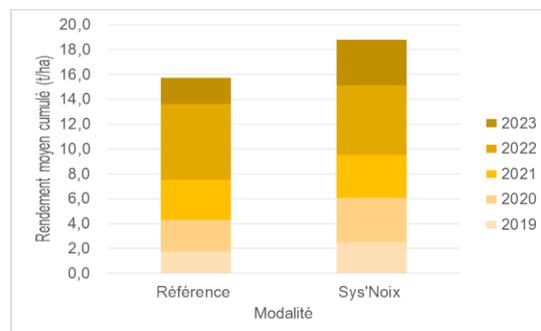
#### **3.3.1. Rendement :**

La figure 6 illustre l'évolution des rendements depuis 2018 par modalité. Ces derniers sont exprimés en équivalent de noix sèches par hectare. En 2018, avant l'installation du système innovant, la parcelle présentait un rendement homogène. D'une manière générale, le graphique révèle une montée en production du jeune verger dans les deux systèmes de culture.

Le rendement moyen du système innovant tend à être supérieur à la référence 4 années sur 5, avec 3 années significatives. Ces résultats s'expliquent par une production préservée des aléas climatiques. En effet, l'année 2019 a été marquée par une tempête majeure de grêle et de vent sur la zone Sud-Est de production de noix. Suite à quoi, des pertes importantes ont été observées par chutes et/ou blessures de fruits ou d'arbres, favorables aux portes d'entrées de bioagresseurs. Cet épisode climatique a également eu des répercussions l'année suivante. L'année 2021 a été une saison particulièrement pluvieuse. Malgré l'absence de différence significative, la tendance est positive pour la modalité Sys'Noix qui a été préservée d'attaques de pathogènes. L'année 2022 a été caractérisée par une productivité historique nationale sans différence significative de rendement entre modalités. Toutefois, celui de la modalité innovante tend à être inférieur à celui de la référence, probablement due à une contrainte spatiale des arbres sous filets. Après une année de surproduction, l'année 2023 a été très peu productive au niveau national. Des épisodes de grêle se sont également cumulés. A nouveau, la modalité Sys'Noix s'en sort mieux que la référence grâce à des pertes moins conséquentes.



En production cumulée (figure 7), sur 5 années d'essai, la modalité Sys'Noix obtient 20 % de rendement supplémentaire comparée à la référence producteur ce qui représente un gain moyen de 3,1t/ha. En plus, de maintenir voire d'améliorer la production, les arbres ne semblent pas stressés par le changement d'environnement (2019) et par la contrainte spatiale.



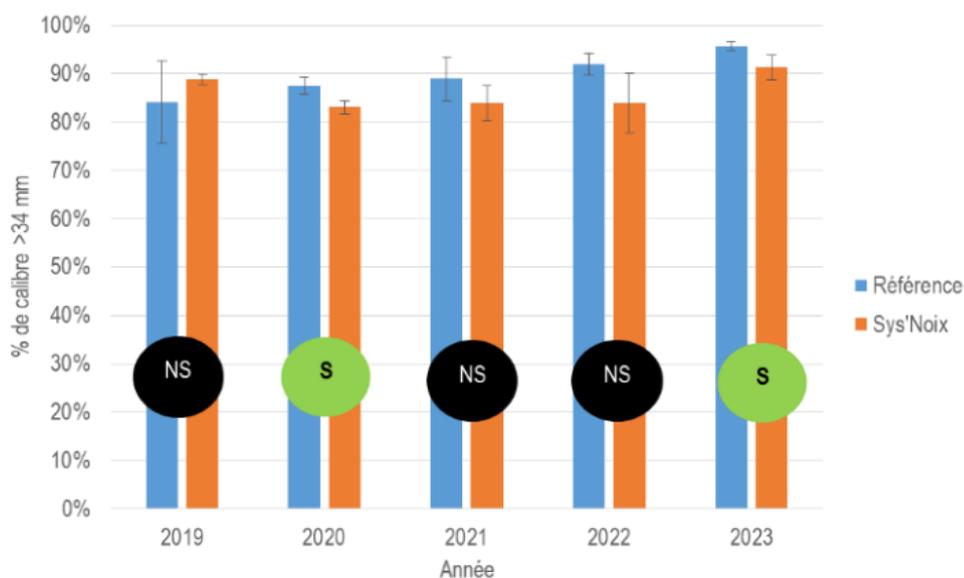
**Figure 6 :** Evolution des rendements depuis 2018 par modalité. NS = pas de différence significative ; S = différence significative Test de Mann Whitney au seuil de risque alpha <5 %

**Figure 7 :** Rendement moyen cumulé entre 2019 et 2023 par modalité

### 3.3.2. Calibre :

Lara est une variété de noix qui produit de gros calibres. Afin de voir si les systèmes mis en place ont eu un impact sur cette variable, un focus est fait ici sur les calibres supérieurs à 34 mm de diamètre. La figure 8 représente l'évolution moyenne de cette classe de calibres pour chaque modalité entre 2019 et 2023.

Les calibres de la modalité innovante tendent à être plus petits que ceux de la référence dans 4 cas sur 5, avec 2 années significatives. Seule l'année 2019 dénote. En effet, la tendance est inversée pour cette année-là, avec des calibres sur Sys'Noix qui tendent à être plus importants malgré une différence non significative. Sans tenir compte d'un effet éventuel de l'année, il existe bien une différence significative de calibres supérieurs à 34 mm en faveur de la référence sur l'ensemble de l'étude.

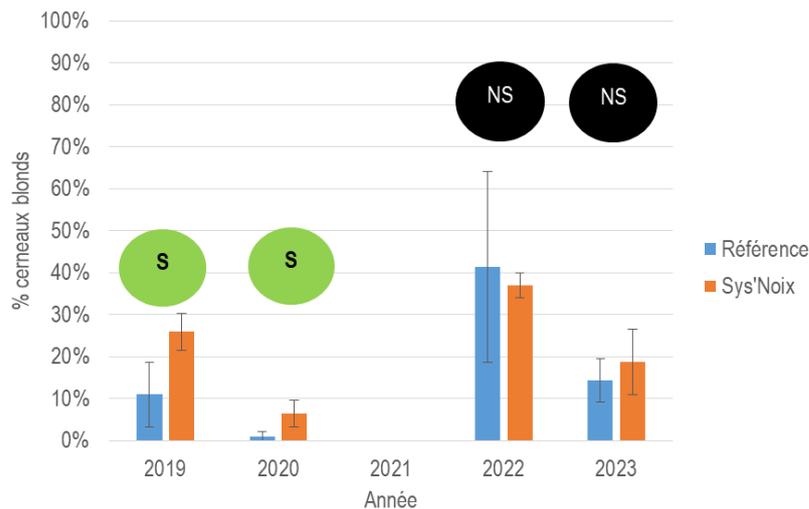


**Figure 8 :** Evolution des calibres moyens >34 mm par modalité de 2019 à 2023 - NS = pas de différence significative ; S = différence significative Test de Mann Whitney au seuil de risque alpha <5 %



### 3.3.3. Qualité :

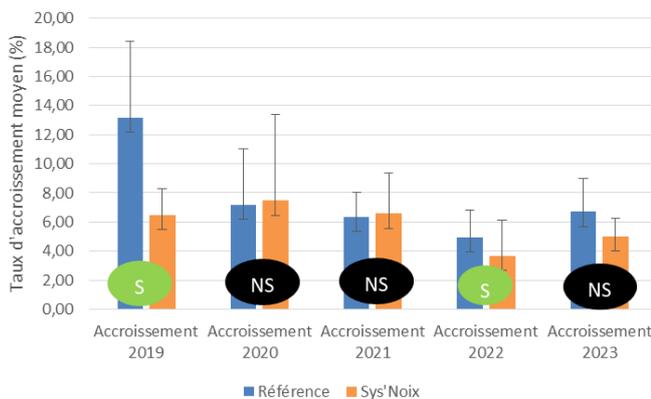
Comme le calibre, la qualité est un paramètre important de la rémunération des noix. Dans ce paragraphe, l'accent est mis sur les cerneaux blonds qui sont les mieux valorisés. La figure 9 retrace l'évolution du pourcentage moyen de cette catégorie par année et par modalité. Le pourcentage de cerneaux blonds varie selon les années. Il tend à être supérieur pour la modalité bâchée 3 années sur 5, avec 2 années significatives. En 2021, la qualité n'a pas été bonne, c'est pourquoi il n'y a pas de cerneau blond dans les deux modalités. Seule l'année 2022 montre, encore une fois, une tendance inverse bien que non significative, avec un pourcentage de cerneaux blonds sur Sys'Noix est inférieur à la référence.



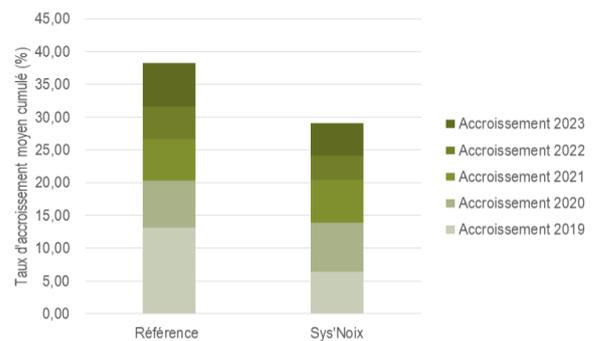
**Figure 9 :** Evolution du pourcentage de cerneaux blonds moyen par année et par modalité - NS = pas de différence significative ; S = différence significative Test de Mann Whitney au seuil de risque alpha <5 %

### 3.4. Etat général de l'arbre

Parmi les variables choisies pour mesurer l'état général de l'arbre, un focus est réalisé sur la vigueur. Cette dernière est traduite dans les figures suivantes par l'accroissement de tronc. La figure 10 montre l'évolution annuelle par modalité. Quant à la figure 11, elle décrit l'accroissement moyen cumulé par modalité.



**Figure 10 :** Taux d'accroissement moyen par modalité au cours du temps- NS = pas de différence significative ; S = différence significative Test de Mann Whitney au seuil de risque alpha <5% %



**Figure 11 :** Accroissement moyen cumulé pour chaque modalité

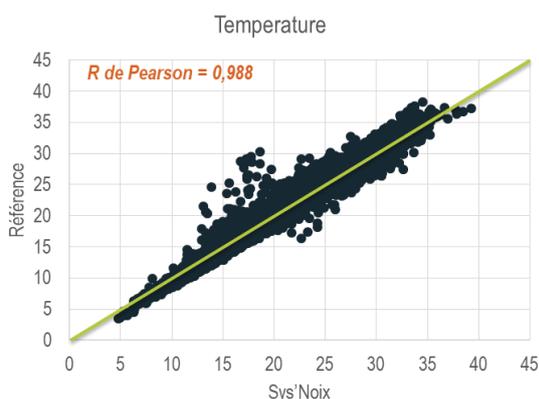


D'après la figure 10, il semble qu'il existe une différence significative de vigueur en défaveur de la modalité Sys'Noix en 2019 et 2022. L'hypothèse d'un stress occasionné lors de la mise en place de l'infrastructure est envisagée. Par la suite, les accroissements 2020 et 2021 ne sont pas significativement. Enfin en 2023, malgré l'absence de différence significative, une tendance existe et confirme les observations précédentes. La modalité innovante tend à avoir une vigueur moindre 3 années sur 5, avec 2 années significatives.

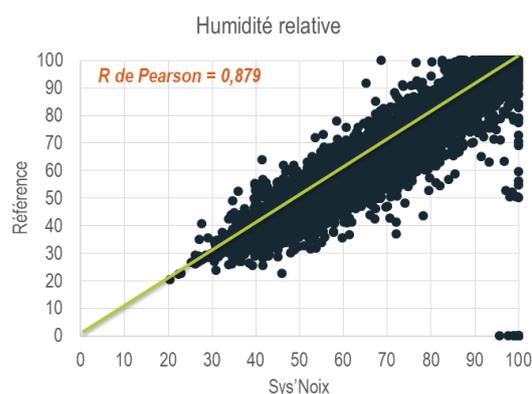
Bien que les arbres bâchés apparaissent plus vigoureux visuellement, en accroissement cumulé sur les 5 années de suivi, il en ressort une vigueur réduite de 24 % en comparaison à la référence (figure 11). Il est probable que cet artefact visuel soit dû davantage aux pousses bien vertes induites par une taille annuelle plus drastique (contention des arbres sous infrastructure). La vigueur varie en fonction des conditions climatiques de l'année et apparaît ralentie en système bâché au regard de cette variable.

### 3.5. Indicateurs climatiques

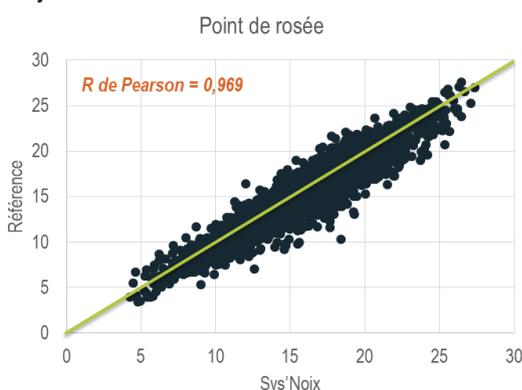
Les mesures de températures (figure 12), d'humidité relative (figure 13 et de point de rosée (figure 14) sont très fortement corrélées (indice de pearson > 80 %) entre la référence et la modalité innovante ce qui au premier abord n'était pas très évident. Autrement dit, les mesures pour ces variables ne sont pas différentes et évoluent similairement que l'on soit dans un système ou dans l'autre. Néanmoins,



**Figure 12 :** Températures enregistrées sur la référence en fonction de celles enregistrées sur Sys'Noix



**Figure 13 :** Humidités relatives enregistrées sur la référence en fonction de celles enregistrées sur Sys'Noix



**Figure 14** Mesures du point de rosée sur la référence en fonction de Sys'Noix

visuellement, il semble que l'atmosphère soit globalement un peu plus humide et que le point de rosée soit plus élevé dans le système innovant (plus de points sous la droite verte d'équilibre). Du côté de la température cette tendance est moins nette. Il est probable que la diminution des nécroses fongiques et bactériennes dans le système innovant s'explique davantage par l'action mécanique des bâches anti-pluie que par l'atmosphère de cet espace « clôt ».



### 3.6. Résultat économique : coût de l'infrastructure

Les performances techniques sont importantes, mais l'aspect économique de l'étude doit également être pris en compte. En effet, après réduction des produits phytosanitaires, le maintien de la viabilité économique de l'exploitation est le deuxième objectif. Les résultats présentés ci-après donnent un bref aperçu du coût de l'infrastructure. L'analyse économique plus globale ne sera pas présentée dans cet article.

Le coût du système dans son intégralité (matériel et main-d'œuvre) est d'environ 45 000 € pour 0,4 ha (113 000 €/ha) et a nécessité 18 jours de travail. L'amortissement de ce type d'infrastructure est à prévoir sur 10 ans minimum. En outre, des coûts annuels doivent être pris en compte. Ceux-ci sont décrits dans le Tableau 1 pour la surface d'expérimentation et pour un hectare. Le déploiement des bâches anti-pluie et la descente des filets anti-insecte prennent à peu près le même temps (1 jour / action) et coûtent environ 800 € chacun. La remontée de l'installation a été réalisée par un prestataire de service.

D'après la Figure, le chiffre d'affaires cumulé est de +20 % pour la modalité innovante soit un gain cumulé d'environ 6 000 € en comparaison à la référence.

Les coûts supplémentaires liés aux installations et à leur manipulation ne sont donc pas compensés par la hausse de rendement observée dans la modalité Sys'Noix.

Aussi, bien que la charge mentale liée à l'organisation du calendrier cultural soit allégée sur le plan phytosanitaire dans la modalité innovante (substitution des traitements/broyage répétés par des actions plus ponctuelles), ces interventions restent néanmoins beaucoup plus chronophages du fait des pics d'activité impliquant plusieurs intervenants : en moyenne 18 fois plus de temps de travail.

**Tableau 1 : Descriptif des actions annuelles menées sur l'infrastructure du système innovant**

INTERVENTIONS ANNUELLES	INTERVENANT	COUT MOYEN (€) * MOYENNE SUR 2 ANS	TEMPS MOYEN A 3 PERS. * MOYENNE SUR 2 ANS
DESCENTE DES BACHES ANTI-PLUIE	SENuRA	Location nacelle + Main d'oeuvre ~ 800 € (~ 2 000 € / ha)	~1 jour (~2 jours / ha)
DESCENTE DES FILETS ANTI-INSECTE	SENuRA	Location nacelle + Main d'oeuvre ~ 800 € (~ 2 000 € / ha)	~1 jour (~2 jours / ha)
REMONTEE BACHES + FILETS (+ ENTRETIEN)	Prestataire	Prestation ~ 3400 € (~ 8 500 € / ha)	~ 2-3 jours (5-7 jours / ha)
	<b>TOTAL</b>	<b>~ 5 000 € / 0,4 ha (~12 500 € / ha)</b>	<b>~ 2-3 jours (9-11 jours / ha)</b>

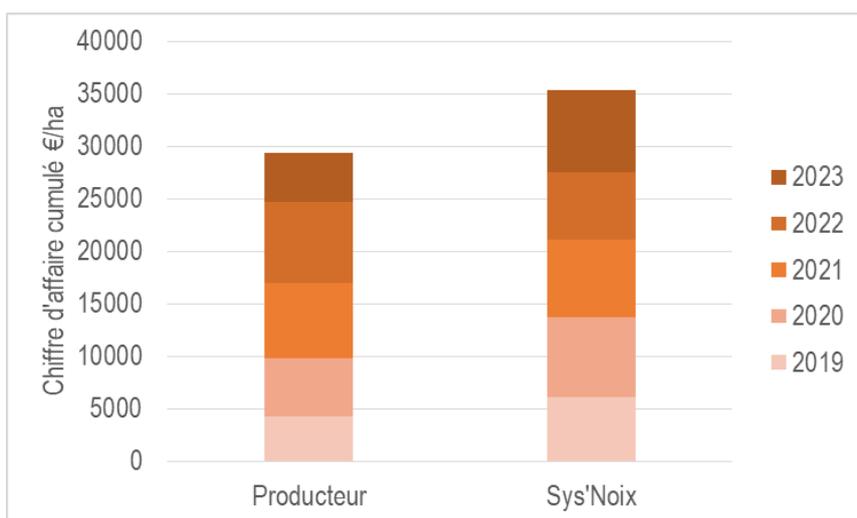


Figure 15 : Chiffre d'affaires cumulé par modalité

### 3.7. Analyse multicritères

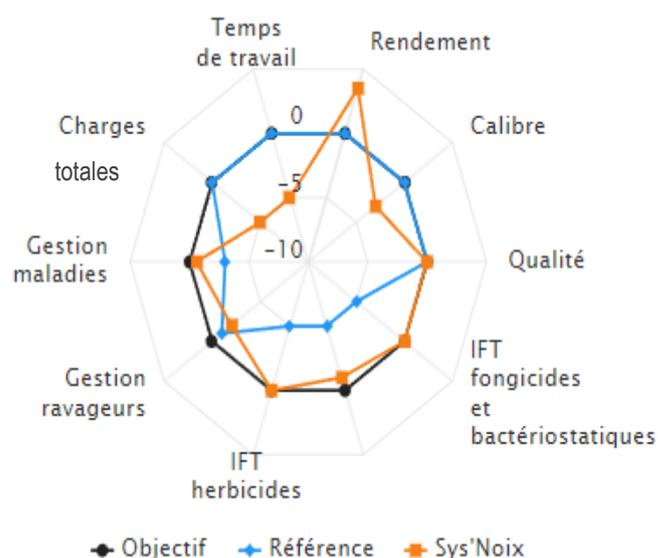


Figure 16 : Evaluation multicritères du système testé par rapport à la référence – écart exprimé en nombre d'années relatif à la durée du projet et à l'objectif visé (en noir), une valeur négative est obtenue lorsqu'il est en deçà de l'objectif, elle est positive lorsqu'elle est au-dessus.

Sur l'indicateur de production, la maîtrise des pressions sanitaires, les charges totales, et le temps de travail, l'objectif initial était d'obtenir des résultats au moins équivalents à la référence (figure 16). Pour les IFT, l'objectif fixé était de faire mieux que la référence en réduisant totalement les interventions phytosanitaires. Des produits phytosanitaires ayant été utilisés dans le système de référence, ce dernier est représenté avec une valeur négative à l'objectif sur le diagramme.

En ce qui concerne la modalité innovante, l'objectif a été rempli pour les IFT, la gestion des maladies et la qualité. Il n'a pas été rempli pour les charges totales, le temps de travail, les calibres et la gestion des ravageurs (carpocapse). Néanmoins, il a été dépassé sur les rendements.



## 4. Conclusions et perspectives

Ces 6 années d'expérimentation ont montré que la culture de noyers sous bâches anti-pluie et filets anti-insecte était possible. La pollinisation est satisfaite et les arbres sont en bonne santé.

L'objectif de réduction de l'IFT a été atteint avec une réduction de 69 % la première année, puis de 100 % les années suivantes. Malgré un IFT de référence déjà faible, en relation à la jeunesse du verger (surface foliaire de traitement moindre) et à la technicité du producteur (interventions raisonnées), l'arrêt des traitements a aussi permis une réduction de 9 à 13 passages d'engins par an (réduction de l'impact sur le sol et l'environnement) et une réduction de la charge mentale vis-à-vis du calendrier cultural (interventions ponctuelles systématiques).

Bien que les arbres aient été moins vigoureux dans le système innovant (-23 %) et contraints dans leur développement par l'infrastructure, leur production n'en a pas pâti (+20 % rendement cumulé pendant ces 5 années). Il serait intéressant de poursuivre ce travail pour évaluer les limites de la production en espace contraint. La modalité innovante tend à avoir de plus petits calibres (-3,7 % calibres >34 mm) mais la qualité reste globalement équivalente, et ce malgré, des fluctuations liées à l'année.

Les bâches anti-pluie ont eu un effet bénéfique dans la lutte contre les nécroses fongiques et bactériennes avec, en moyenne, 63 % de réduction de dégâts. Il s'agit à l'heure actuelle du meilleur moyen de lutte en termes d'efficacité. De plus, leur effet para grêle, bien que secondaire, a pu être évalué et a permis une meilleure production 3 années sur 5.

L'efficacité des filets anti-insecte n'a pas pu être évaluée sur mouche du brou en raison d'une très faible pression du ravageur pendant la durée du projet. Néanmoins, elle a pu l'être sur carpocapse. Il en ressort une efficacité plus mitigée que sur les nécroses.

La substitution du désherbage chimique par un entretien mécanique combiné du rang et de l'inter-rang en deux temps, associé aux frottements des filets sur le sol, a permis une bonne maîtrise des adventices. Toutefois, deux interventions peuvent être jugées insuffisantes pour le suivi des fuites d'eau en système goutte à goutte enterré. Pour améliorer les conditions de ramassage au sol, la gestion de l'enherbement après relevé des filets pourrait être affinée.

L'implantation de ce type d'infrastructure nécessite de repenser la conduite de verger.

Malgré un bénéfice sur la production, une diminution de la charge mentale et des coûts liés à l'arrêt des traitements, la mise en place de barrières physiques reste très coûteuse et chronophage.

Pour conclure, la situation économique actuelle de la filière, le coût et le temps associés à cet investissement et l'inventaire verger actuel (variété franquette majoritaire) interroge quant à la possibilité d'adoption de ce système à court terme et à large échelle, et ce, malgré des résultats agronomiques prometteurs. Néanmoins, avec le changement climatique, une pharmacopée réduite, le vieillissement des vergers et l'arrivée de nouvelles variétés, les pratiques seront amenées à évoluer et la poursuite des recherches sur ce sujet reste primordiale pour préparer l'avenir.

### 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.

### ORCIDs des auteurs

BARBEDETTE M. : 0009-0002-0067-9300

### Contributions des auteurs

Collecte et analyse de données, rédaction et gestion de projet – Marine BARBEDETTE

Appui méthodologique et collecte de données – Cyrielle MASSON, Jean-Baptiste PHILIBERT, Muriel POUCHARD, Delphine SNEEDSE

Gestion administrative et financière – Stéphane DUPRE

Conduite culturelle – Daniel DELAIGUE, Michel BOUGY

### Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne pas 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.

### Remerciements

Un grand merci à l'ensemble de l'équipe de la SENUA, aux stagiaires et aux partenaires techniques (LPO – Rémy FONTERS et CTIFL – Jean-Michel RICARD) pour leur appui dans la réalisation de ces 6 années d'expérimentation. Merci également à Marianne NAUDIN, ancienne collègue de la SENUA, qui a rédigé et initié ce projet.

### Déclaration de soutien financier

Le projet Sys'Noix est une action du plan ECOPHYTO, il a été supporté financièrement par les Ministères en charge de l'Agriculture, de l'Ecologie, de la Santé et de la Recherche et par l'Office Français pour la Biodiversité (OFB).

### Références bibliographiques :

Barbedette M., 2022. CdR\_Restitution\_producteurs\_essai\_BI\_27janv22.pdf.

Brachet M., Zavagli F., Villeneuve F., Tisiot R., Verhaeghe A., 2011. Application aux cultures fruitières et légumières - Les indicateurs de pression d'utilisation des produits phytopharmaceutiques. Infos Ctifl 30–39.

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2023. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Available (<https://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift>)

Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2024. Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Available (<https://agriculture.gouv.fr/noix-fraiches-et-noix-seches>.)



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.