UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DES SCIENCES DE MONTPELLIER

# QUELLES SONT LES MÉTHODES DE LUTTES DISPONIBLES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE CONTRE LE RAVAGEUR *MONOSTEIRA UNICOSTATA* ?

HAA001S - MÉMOIRE DE STAGE

2023

MOTS CLEFS : *PRUNUS DULCIS*, *MONOSTEIRA UNICOSTATA*, KAOLINITE, NÉMATODES, AGRICULTURE BIOLOGIQUE.

RÉSUMÉ : 283 MOTS - MANUSCRIT : 10 009 MOTS

ADRIEN MORCILLO

ENCADREMENT PAR MARGAUX ALLIX - CIVAMBIO66

Civam Bio 66

GIEE GROUPEMENTS D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

# Remerciements

Je remercie Dany La Noë, Directeur du CivamBio 66, de m'avoir permis de réaliser mon alternance au sein de cette association et de m'avoir accueilli avec bienveillance.

Je remercie également Margaux Allix, ma maître d'apprentissage et Responsable du pôle arboriculture au sein du CivamBio 66. Elle a su être présente à mes côtés malgré les circonstances du congé maternité et a su me guider tout en me laissant une grande autonomie. Je la remercie également pour sa confiance, sa patience, sa gentillesse et sa disponibilité ce qui m'a permis de m'épanouir pleinement au cours de mon alternance.

Je remercie par ailleurs l'ensemble des partenaires impliqués dans les différents projets pour la confiance qu'ils ont su m'accorder, pour leur disponibilité, leur goût du partage et pour avoir su m'intégrer au sein des projets.

Je tiens à remercier l'ensemble des producteurs accueillants les différentes expérimentations pour leur confiance, leur disponibilité, le partage de leurs passions et les nombreux moments passés avec eux.

Je remercie également tous les autres membres du CivamBio 66, Paule, Aurélie, Nathan, Philippe et Nicolas ainsi que les stagiaires, Émeline et Delphine pour leur accueil, leurs conseils et leurs bonne humeur quotidienne.

Enfin, je tiens à remercier mes proches et tout particulièrement ma mère, son conjoint et ma conjointe pour leur soutien au quotidien, leurs conseils, leur disponibilité, leur bienveillance et leur patience.

Un grand merci à vous tous !

# LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

Tonne : t

Hectare : ha

Millimètre : mm

Degrés Celsius : °C

Système de Défense Naturel : SDN

LEVEAB : LEver les VErrous à la culture de l'amandier en Agriculture Biologique

CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural

CIVAMBIO66 : Centre d'Initiative et de Valorisation de l'Agriculture Biologique et du Milieu Rural Bio de la Région des Pyrénées-Orientales

Mètre : m

Litre par hectare : l/ha

Pourcent : %

# Table des illustrations

**Figure 1 : Principaux pays producteurs d'amandes en coque (d'apres FAOSTATS 2023)** ..... 1

**Figure 2: Evolution des surfaces recoltees et de la production Française d'amandes entre 1990 et 2021 (FAOSTATS 2023)** ..... 1

**Figure 3 : Photographie de *Monosteira unicostata* sur feuilles d'amandiers.** ..... 2

**Figure 4 : Photographies de degats de *Monosteira unicostata* sur Amandier.** ..... 2

**Figure 5: Plan du dispositif experimental mis en place sur la parcelle de l'agriculteur partenaire.** ..... 7

**Figure 6 : Feuilles d'amandiers recouvertes par SOCALCIARBO.** ..... 8

**Figure 7 : Schema du dispositif experimental mis en place chez l'agriculteur.** ..... 9

**Figure 8 : Photographies de feuilles d'amandiers attaques par *Monosteira unicostata* a differentes intensites** ..... 9

**Figure 9 : Mosaic plot des degats en fonction de la modalite pour la periode de debut juin.** ..... 11

**Figure 10 : Mosaic plot des degats en fonction de la modalite pour la periode de debut juillet.** ..... 12

**Figure 11 : Mosaic plot des degats en fonction de la modalite pour la periode de debut aout.** ..... 13

**Figure 12 : Mosaic plot des degats en fonction de la modalite pour l'ensemble des periodes.** ..... 14

**Figure 13 : Mosaic plot des degats en fonction de la replication pour l'ensemble des periodes.** ..... 15

# Table des matières

1. INTRODUCTION ..... 1

1.1. La culture de l'amandier ..... 1

*1.2. Monosteira unicostata* ..... 2

1.3. Lutter contre *Monosteira unicostata* en agriculture biologique ..... 3

1.3.1. Substances naturelles ..... 4

1.3.2. Macro-organismes ..... 5

1.4. Problématique de l'étude ..... 6

1.4.1. Le projet LEVEAB ..... 6

1.4.2. Le CIVAMBIO66 ..... 6

2. MATERIELS ET METHODES ..... 7

2.1. Localisation de la parcelle ..... 7

2.2. Design et traitements étudiés ..... 7

2.3. Conditions d'applications ..... 8

2.4. Suivi du ravageur ..... 9

2.5. Analyses de données ..... 10

3. RESULTATS ..... 11

3.1. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début juin ..... 11

3.2. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début juillet ..... 12

3.3. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début août ..... 13

3.4. Analyse générale de l'effet des traitements sur les dégâts ..... 14

3.5. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début juillet ..... 15

4. DISCUSSION ..... 16

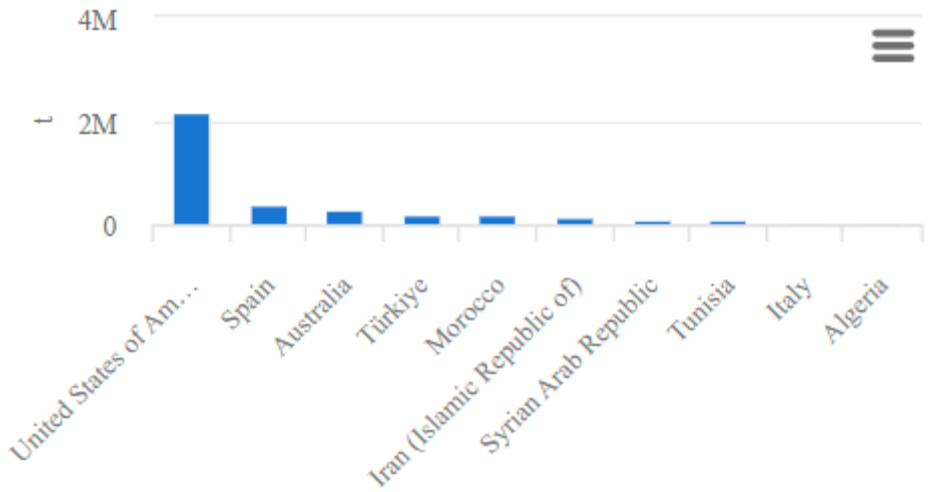


**Figure 1 : Principaux pays producteurs d'amandes en coque (d'après FAOSTATS 2023)**

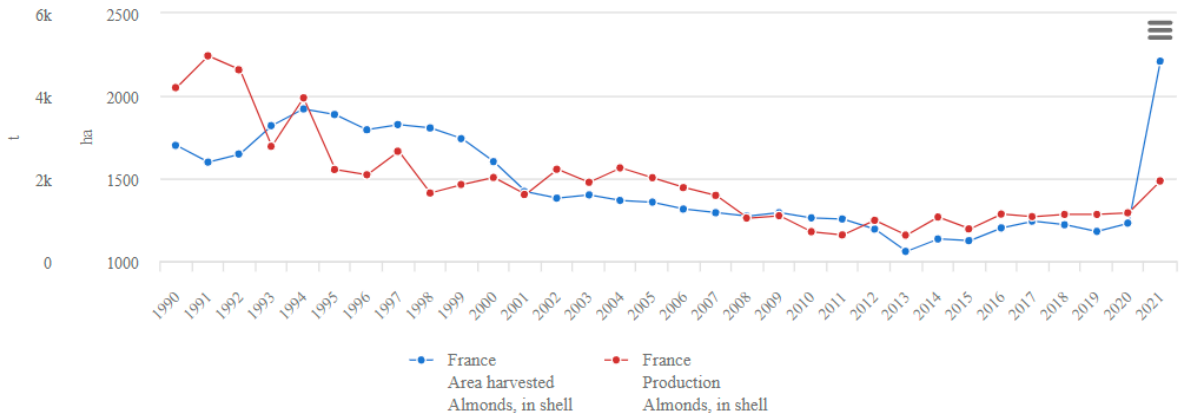


**Figure 2: Evolution des surfaces récoltées et de la production Française d'amandes entre 1990 et 2021 (FAOSTATS 2023)**

# 1. INTRODUCTION

## 1.1. La culture de l'amandier

L'amandier (*Prunus dulcis*) est cultivé depuis l'antiquité dans toute l'Asie occidentale ainsi que dans le pourtour du bassin méditerranéen depuis son importation par les phéniciens (Evreinoff, 1952). La production mondiale d'amandes en coque est passée d'environ 1,5 millions de tonnes (t) en 2000 à 4 millions t en 2021 (FAOSTATS). Cette hausse de la production souligne une augmentation de la demande des consommateurs. En 2021, les trois principaux pays producteurs d'amandes en coque (cf. **Fig. 1**) sont les États-Unis d'Amérique (2,2 millions t), l'Espagne (365 000 t) et l'Australie (285 000 t). Au sein des 10 pays ayant les productions les plus importantes, le bassin de production méditerranéen se distingue au travers (cf. **Fig. 1**) de l'Espagne, de la Turquie, du Maroc, de la Tunisie, de l'Italie et de l'Algérie, ces derniers produisant environ 1,1 Millions t d'amandes en coque (FAOSTATS). En France (cf. **Fig. 2)**, la culture de l'amandier a progressivement diminué entre 1990 et 2015 passant d'une production d'environ 4000 t d'amandes en coque pour une surface récoltée de 1700 hectares (ha) à 1000 t produites sur 1200 ha (FAOSTATS). Depuis 2015, la tendance s'est inversée puisque les surfaces récoltées sont de 2200 ha pour une production d'environ 2000 t (FAOSTATS). Au travers de la **Fig. 2** il est observable que les surfaces récoltées en France ont quasiment doublées entre 2020 et 2021 (passant d'environ 1200 à 2200 ha). Cette augmentation des surfaces récoltées démontre que de jeunes vergers ont été implantés sur le territoire et que leur arrivée en production se fait progressivement. La culture de l'amandier se fait principalement dans le cadre d'une diversification des exploitations agricoles. Par conséquent, de nombreux producteurs sollicitent un accompagnement technique pour apprendre à maîtriser cette culture. Pour répondre à cette demande, de nombreux instituts techniques mettent en place des programmes d'expérimentation pour concevoir des itinéraires techniques culturaux répondant aux problématiques rencontrées sur le terrain. La gestion des bioagresseurs représente un enjeux crutial pour la réussite de la culture de l'amandier (García Marí et Ferragut, 2020 et Biryol et al., 2022). Parmis les différents parasites rencontrés sur la culture, le Faux-tigre de l'amandier (*Monosteira unicostata*) est l'objet de préoccupations particulières, du fait qu'il n'existe pas actuellement de méthodes de lutte holomoguées en agriculture biologique en France.

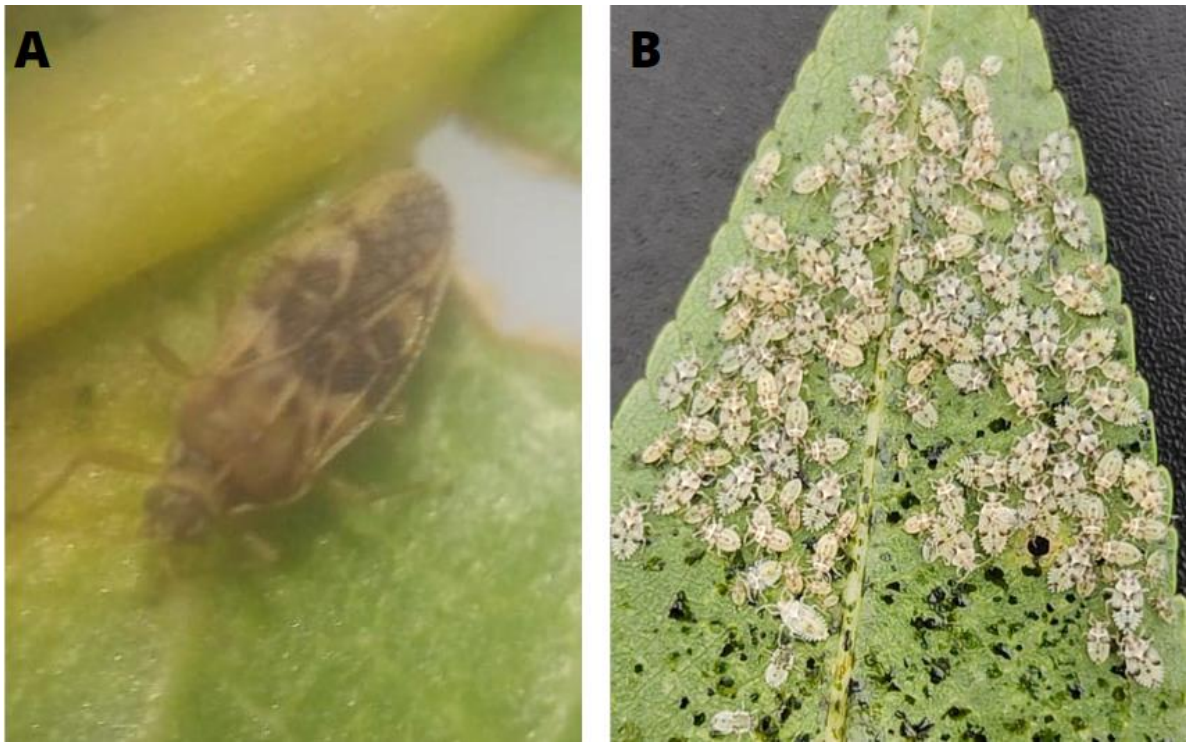


**Figure 3 : Photographie de *Monosteira unicostata* sur feuilles d'amandiers.**

Le panneau A présente un adulte de *Monosteira unicostata*. Le panneau B présente une colonie de *Monosteira unicostata* avec différents stades larvaires ainsi que des traces de déjections (tâches noires).

**Figure 4 : Photographies de dégâts de *Monosteira unicostata* sur Amandier.**

Le panneau A présente un rameau d'amandier attaqué par le ravageur *Monosteira unicostata*. Il est visible que les feuilles présentent des tâches de couleur jaune correspondant à une perte de pigments chlorophylliens. Le panneau B présente un arbre fortement attaqué par *Monosteira unicostata* ayant subi une défoliation.

## *1.2. Monosteira unicostata*

*Monosteira unicostata* ou plus communément appelé le Faux-tigre de l'amandier est un insecte (hémiptère) ravageur de la famille des Tingidés, que l'on peut rencontrer sur l'amandier (*Prunus dulci*), mais aussi sur diverses espèces d'intérêt fruitières (cerisier, pêcher, poire, etc.) ou sylvicoles (peupliers, trembles, etc…) (Sánchez-Ramos et al., 2015).

Les adultes (cf. **Fig. 3-A**) sont de petites punaises plates (de couleurs marron / gris), mesurant environ 2 millimètre (mm) (Ephytia, 2023). L'insecte se développe au travers de 5 stades larvaires. En général 3 à 4 générations peuvent se succéder (Ephytia, 2023) avec un chevauchement important en été : 1$^{ère}$ en juin, 2$^{-ème}$ en juillet-août, 3$^{-ème}$ en août et la dernière en août-septembre (au sud du Portugal) (García Marí et Ferragut, 2019). En hiver, les adultes de la dernière génération se réfugient sous l'écorce, dans les excavations du tronc et du collet, voire sous les feuilles mortes, et restent inactifs sans alimentation jusqu'au printemps (González-Núñez et al., 2017). Cependant il est aussi probable qu'ils migrent à l'extérieur du verger sur d'autres plantes hôtes. La femelle pond environ 70 à 150 œufs (à 30°C) de manière individuelle ou en groupe en insérant son oviscapte dans la feuille près de la nervure principale (Ephytia, 2023). L'évolution embryonnaire dure entre 10 à 18 jours suivant les générations (Ephytia, 2023). *Monosteira unicostata* est considéré comme un des ravageurs majeurs de l'amandier dans plusieurs pays méditerranéens, surtout, lorsque le verger est conduit en agriculture biologique (Sánchez-Ramos et al., 2015, Marcotegui et al., 2015 et García Marí et Ferragut, 2019).

En se nourrissant de la sève des feuilles, le ravageur entraîne la formation de petites tâches blanchâtres/jaunâtres visibles sur le dessus (cf. **Fig. 4-A**). Les surfaces inférieures des feuilles sont recouvertes des déjections brunâtres/noires du ravageur (cf. **Fig. 3-B)**. Ces attaques entraînent une réduction de la photosynthèse (cf. **Fig. 4-A)** des arbres, amenant à une défoliation précoce (cf. **Fig. 4-B**) qui, dans certains secteurs, peut être très importante. Ce phénomène peut engendrer à plus long terme des problèmes d'alternance et donc de productivité des arbres (González-Núñez et al., 2017, Marcotegui et al., 2015 et García Marí et Ferragut, 2019). De plus, lorsque les punaises sortent de l'œuf, elles élargissent l'incision de ponte qui devient une porte d'entrée aisée pour divers champignons phytopathogènes. Les dégâts sont maximaux en plein été lorsque les populations de 3ème et 4ème générations pullulent.

### 1.3. Lutter contre *Monosteira unicostata* en agriculture biologique

En agriculture biologique les producteurs ne peuvent pas bénéficier de produits phytopharmaceutiques conventionnels. Ils protègent leurs cultures en utilisant des produits de biocontrôle, qui reposent sur les mécanismes et interactions naturelles entre espèces (Agriculture.gouv, 2023). Le biocontrôle est classé en 4 familles (ACTA, 2017) de solutions que sont :

- Les macro-organismes : organismes vivants, généralement visibles à l'œil nu, tels que les insectes, les acariens ou les nématodes qui exercent une pression directe ou indirecte sur les populations de bioagresseurs.
- Les substances naturelles : d'origine végétale, bactérienne, animale ou minérale, peuvent soit être extraites d'un matériau naturel, soit être synthétisées chimiquement dans la mesure où elles demeurent strictement identiques à une substance naturelle. Leur mode d'action est généralement direct, elles agissent en bloquant les processus vitaux du ravageur. Toutefois, certaines substances ont un effet stimulateur ou mécanique.
- Les médiateurs chimiques : ou composés sémiochimiques sont des substances volatiles ou solubles, émises par les plantes et les animaux qui servent de signal entre êtres-vivants. Une fois biosynthétisés par l'organisme, ils sont émis à faible quantité dans l'air, l'eau ou le sol dans le but d'agir sur le comportement ou la physiologie d'autres organismes. Ils permettent le suivi des vols et le contrôle des populations d'insectes ravageurs. Deux grandes « familles » sont distinguées :
    - Les intraspécifiques à base de phéromones (sexuelles et d'agrégation)
    - Les interspécifiques à base de molécules allélochimiques (Kairomones, allomones, synomones, attractifs alimentaires et répulsifs)
- Les micro-organismes : organismes vivants invisibles à l'œil nu tels que les virus, les bactéries, les protozoaires et les champignons. Les solutions de biocontrôle composées de micro-organismes sont développées pour lutter directement contre le bioagresseur ou indirectement, en induisant chez la plante les Systèmes de Défense Naturels (SDN). Certains sont capables d'infecter et de tuer des organismes nuisibles tandis que d'autres vont jouer un rôle de compétition « spatiale ».

Des auteurs comme Marcotegui et González-Núñez soulignaient déjà la nécessité d'étudier et de mettre en place des programmes de lutte biologique contre le ravageur *Monosteira unicostata.* En effet, contrairement aux vergers conduit de manière conventionnelle, les producteurs en agricultures biologiques n'ont pas de méthodes de lutte homologuées contre ce ravageur. Des solutions commerciales exemptées d'homologation, comme les macro-organismes ou les substances naturelles, semblent être des pistes d'intérêt de par leur polyvalence d'action. Des premiers essais, menés par les mêmes auteurs, ont eu lieu en laboratoire et paraissent prometteurs. Cependant, il n'existe pas encore de recommandations sur l'utilisation de ces formulations. Il semble donc pertinent d'évaluer leur efficacité en conditions réelles, pour permettre de valider les résultats observés en conditions contrôlées, mais également pour mettre en lumière les leviers tant attendus par les agriculteurs pour faire face à *Monosteira unicostata*. Pour répondre à ces attentes, l'équipe du CIVAMBIO66 va mettre en place des expérimentations chez des agriculteurs partenaires en évaluant deux méthodes de lutte, à savoir, les traitements à base de kaolinite (une substance naturelle) d'une part, et, les traitements à base de nématodes (macro-organismes) d'autre part.

### 1.3.1. Substances naturelles

Comme évoqué précédemment, dans la partie 0, les substances naturelles peuvent avoir plusieurs origines. L'objectif de cette étude étant d'observer l'effet de la kaolinite sur le ravageurs *Monosteira unicostata*, il ne sera donc traité dans cette partie que les substances d'origine minérale.

Les substances naturelles d'origine minérale peuvent être diverses et il peut s'agir de substances telles que le cuivre, le souffre, la terre de diatomée (ACTA, 2017) ou bien, dans notre cas, de kaolinite. Ces substances agissent soit directement contre la cible par toxicité, étouffement ou abrasion, soit indirectement en créant des barrières physiques empêchant le parasite d'entrer dans le végétal ou en perturbant son orientation (camouflage visuel de la culture) (ACTA, 2017). Par ailleurs, ces substances peuvent être utilisées comme support pour d'autres produits (huiles essentielles).

### 1.3.2. Macro-organismes

L'utilisation de macro-organismes nécessite de connaître leur biologie, leurs comportements et leurs limites, afin de les employer dans des conditions optimales. Ils peuvent être classés en tant que prédateur ou parasite (ACTA, 2017). Les prédateurs sont définis en tant que tel lorsqu'ils sont de régime carnivore et capturent leurs proies (ACTA, 2017). Quant aux parasites, ils sont caractérisés par le fait d'utiliser leur hôte pour réaliser une partie de leur cycle de développement (ACTA, 2017). Contrairement aux prédateurs, qui sont principalement généralistes, les parasites entretiennent une relation stricte avec leurs hôtes. Autrement dit, un parasite est bien souvent inféodé à une espèce bien spécifique, bien que certaines interactions puissent être plurispécifiques (ACTA, 2017).

Au sein des parasitoïdes, les nématodes apparaissent comme un cas particulier. Les nématodes entomopathogènes contaminent leurs hôtes en pénétrant dans ce dernier (par les orifices naturels ou en traversant la cuticule) (ACTA, 2017). Contrairement aux autres parasites, ce n'est pas cette action qui engendre la mort de l'hôte, mais la présence de bactéries entomopathogènes dans le tube digestif des nématodes, qui une fois libérées, sont létales (ACTA, 2017).

Pour lutter contre un ravageur à l'aide de macro-organismes, plusieurs méthodes sont envisageables (ACTA, 2017). La première, consistant à favoriser l'installation d'un auxiliaire indigène en maintenant un milieu propice à son développement (haies champêtres, couverts végétaux, pratiques, abris, etc.), est appelée lutte par conservation. La seconde, connue sous le nom de lutte par acclimatation, cherche à introduire dans un territoire un auxiliaire exotique de manière pérenne. La troisième, dénommée lutte par augmentation, a pour but de réaliser des lâchers d'auxiliaires endogènes. Ils peuvent être inoculatifs ou inondatifs et vont alors être utilisés de manière plus ou moins précoce et massive en fonction de l'objectif (court ou long terme) (ACTA, 2017). La quatrième et dernière méthode liée aux micro-organismes est basée sur l'introduction de mâles stériles de sorte à limiter la fécondation des femelles par les mâles naturels non stériles. Il s'agit là de la lutte autocide.

## 1.4. Problématique de l'étude

### 1.4.1. Le projet LEVEAB

LEVEAB (LEver les VErrous à la culture de l'amandier en Agriculture Biologique) est un projet de recherche bénéficiant d'une subvention relevant du CASDAR (Compte d'affectation spéciale développement agricole et rural). Ce projet a pour but de permettre la production d'amandes biologiques sur le territoire français pour faire face à la demande des consommateurs et ainsi limiter les importations. Pour y parvenir, le projet prévoit d'identifier les différents leviers d'intérêt, de les évaluer (selon leur efficacité mais aussi par leur faisabilité économique, sociétale ou environnementale) afin de mieux les préconiser par la suite. Une des principales problématiques porte sur la gestion des bioagresseurs tels qu'*Eurytoma amygdali*, *Brachycaudus amygdalinus*, *Empoasca vitis,* ou encore ***Monosteira unicostata***. Le projet prévoit un réseau d'essais entre les 13 partenaires du projet, cherchant à mettre en lumière les méthodes de lutte les plus prometteuses en fonction des ravageurs présents par secteurs.

### 1.4.2. Le CIVAMBIO66

Le Centre d'Initiative et de Valorisation de l'Agriculture Biologique et du Milieu Rural Bio de la Région des Pyrénées-Orientales (CivamBio66) est une association de producteurs biologiques. Fondée en 1985, celle-ci regroupe à ce jour 316 des 1007 agriculteurs biologiques spécialisés dans les productions végétales du département. L'objectif du CIVAMBIO66 est double : d'une part accompagner les producteurs dans leur projet d'installation ou de conversion bio et d'autre part favoriser le développement de la production locale. Pour ce faire, différentes solutions sont mises en œuvre telles que des formations techniques, du conseil personnalisé, l'édition d'un livret référençant les différents producteurs, ou bien encore des programmes de recherche face à des problématiques spécifiques. Dans ce cadre, le Civambio66 expérimente en permanence de nouvelles techniques pour améliorer les pratiques agricoles afin de faire progresser la profession, notamment en termes de respect de la réglementation européenne de l'agriculture biologique en constante évolution. A ce titre, le CIVAMBIO66 se place comme un acteur d'intérêt dans le projet LEVEAB et va tenter de répondre à différentes problématiques telles que : la régularisation de bioagresseurs par la mise en place de couverts végétaux, ou au travers de traitements directement appliqués sur la culture comme avec la problématique suivante : **Quelles sont les méthodes de luttes disponibles en agriculture biologique contre le ravageur *Monosteira unicostata ?***

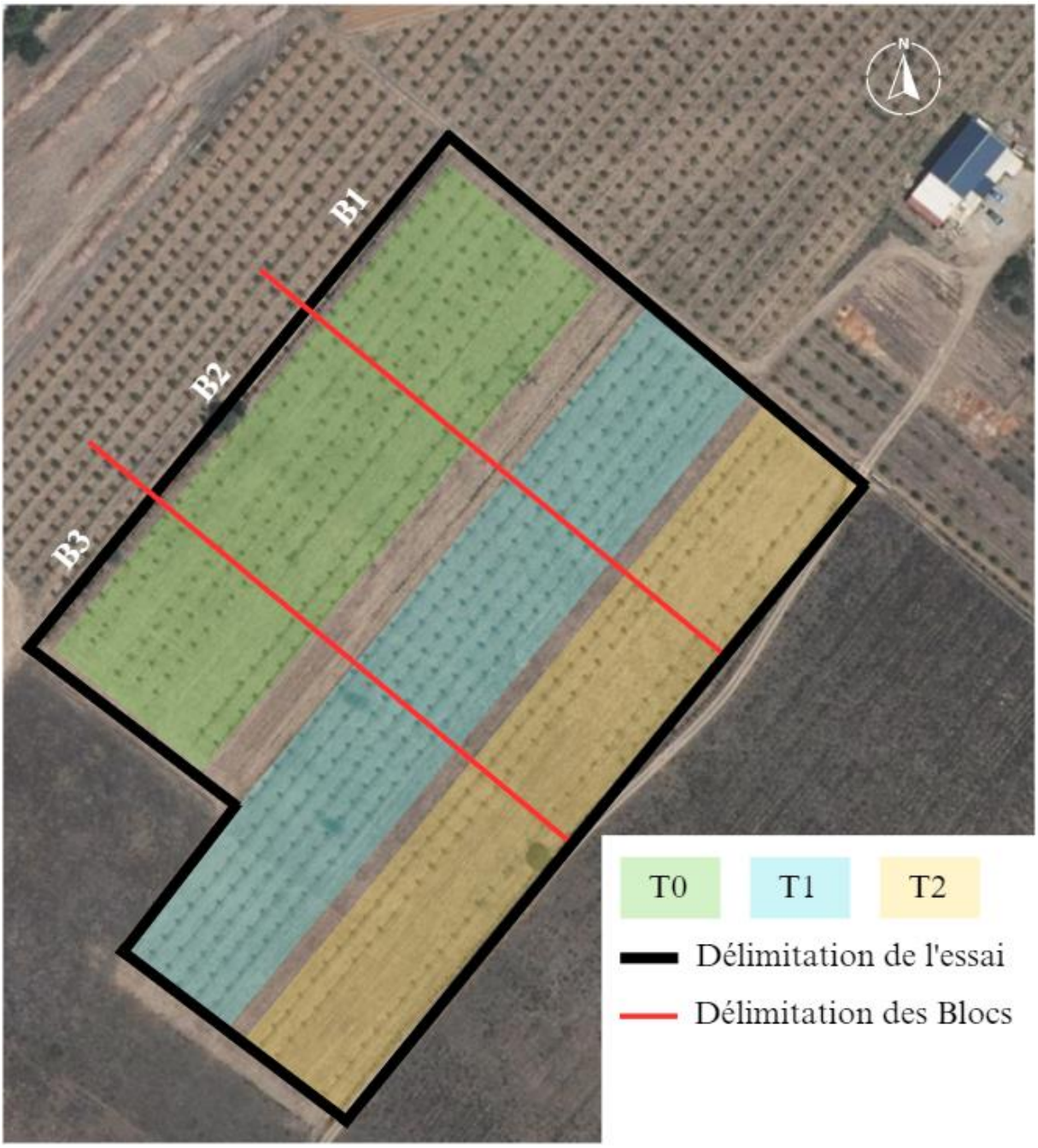


**Figure 5: Plan du dispositif expérimental mis en place sur la parcelle de l'agriculteur partenaire.**

Il est observable à l'aide de la figure que la parcelle contient 3 traitements ; TO qui équivaut au témoin non traité, T1 qui correspond aux traitements par nématodes et T2 qui comprend les traitements à base de kaolinite. La parcelle est subdivisée en 3 blocs suivant le gradient d'hétérogénéité nord-est / sud-ouest et le schéma de plantation de la parcelle.

# 2. MATERIELS ET METHODES

## 2.1. Localisation de la parcelle

L'essai suivi en 2023 se déroule chez un producteur d'amandes certifié Agriculture Biologique. La **Fig. 5** présente la parcelle expérimentale (42.647034, 2.782759, 83 m d'altitude) localisée dans le département des Pyrénées-Orientales à proximité de la commune de Thuir. La parcelle suit un schéma de plantation de 6x6 mètres (m) et mesure 3,2 hectares (ha). Elle est constituée de deux variétés d'amandier, Marinada et Nonpareil (2 rangs sur la modalité T0 et 1 rangs sur la modalité T1), toutes deux greffées sur GF677 et plantées en 2018.

## 2.2. Design et traitements étudiés

Le plan expérimental prévoit 3 modalités, à savoir, le témoin non traité (T0), les nématodes (T1) et la kaolinite (T2). La parcelle est subdivisée en 3 blocs (ou réplications) suivant le gradient d'hétérogénéité d'infestation du ravageur nord-est / sud-ouest (observé l'année précédente). Ci-dessous, le détail des formulations commerciales utilisées au sein de chaque modalité, ainsi que leur date d'application :

- T0 : Témoin non traité (pas de traitements)

- T1 : Application d'une bouillie (eau + formulation commerciale) de 1000 l/ha. 1ère application le 28/04/2023 de la formulation commerciale Capirel® contenant *Steinernema feltiae* et 2ème application le 27/07/2023 avec la formulation commerciale Casea® contenant *Steinernema carpocapsae.*

- T2 : Application d'une bouillie de 500 l/ha contenant 25 kg de la formulation commerciale SOCALCIARBO WP® additionné à 10 l de savon noir (mouillant). 1er traitement le 12/04/2023, 2ème traitement le 31/05/2023 et 3ème traitement le 19/07/2023.

L'ensemble des traitements testés ont été réalisés avec un pulvérisateur porté (sur tracteur) par l'agriculteur.

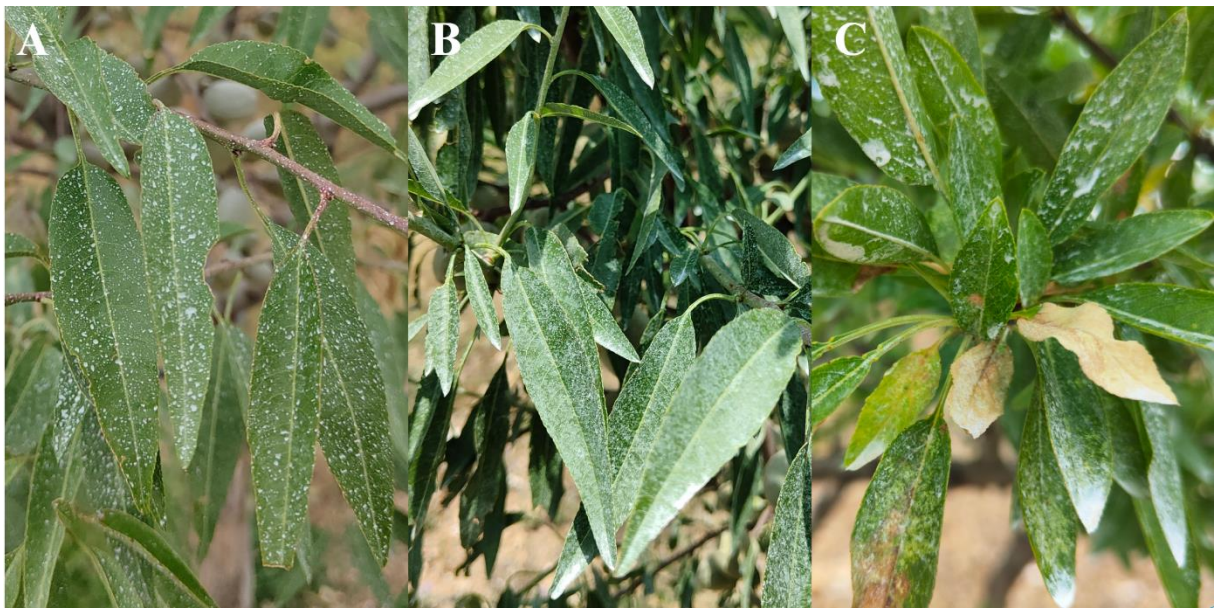


**Figure 6 : Feuilles d'amandiers recouvertes par SOCALCIARBO.**

En A la qualité d'application est mauvaise, le débit est trop faible. En B la qualité d'application est bonne, le débit est correct. En C la qualité d'application est mauvaise, le débit est trop important ce qui a entraîné un point de ruissellement visible par la formation d'une gouttelette en bout de feuille.

## 2.3. Conditions d'applications

Les conditions d'applications et le réglage du matériel sont déterminants pour obtenir les résultats escomptés (cf. **Fig. 6).** Outre les recommandations générales liées à l'application de produits phytopharmaceutiques, qui visent à éviter les traitements par vents supérieur à 20 km/h, lorsque les températures dépassent les 22°C ou lorsque des pluies (>20 mm) sont signalées pour les jours à venir, des recommandations plus spécifiques, cette fois liées aux fabricants sont à respecter.

Concernant la formulation SOCALCIARBO WP®, le fabricant recommande d'appliquer une bouillie supérieure à 750 l/ha et concentrée à 5 % de la solution commerciale (4 à 8 % en fonction de l'effet recherché). Le verger support n'ayant pas atteint sa taille adulte (surface de frondaison), la quantité de bouillie a été réduite à 500 l/ha. Pour favoriser la formation de fines gouttes (cf. **Fig. 6-B**), il est recommandé de réduire le début des buses. Par ailleurs, il est préconisé de travailler à une pression de 10 à 12 bars dans la mesure du possible afin de limiter l'usure du matériel (se référer aux préconisations du fabricant du matériel).

Pour les formulations Capirel® et Casea® qui ont été utilisées pour étudier la modalité Nématodes (T1) le fabricant recommande une application en fin de journée (photosensible) lorsque les températures diminuent et que le taux d'hygrométrie augmente. Concernant l'humidité relative, il est suggéré de viser une période où celle-ci dépasse les 75% pendant plusieurs heures après le traitement. Il est important de veiller à ce que filtres et buses soient suffisamment ouverts (50 mesh sinon risque d'obstruction) et que la pression ne dépasse pas les 20 bars au niveau de la buse. Il est recommandé d'utiliser un fort volume de bouillie (entre 1000 et 1500) en y intégrant 1,5 milliard de nématodes /ha. Dans un cadre expérimental, la firme recommande de réaliser deux applications, comme précédemment décrites, à 1 semaine d'intervalle. Dans le cas où les conditions météorologiques ne seraient pas favorables (manque de pluie en saison estivale), il est possible de ne réaliser qu'une seule application à 3 milliards de nématodes. Deux souches issues de deux formulations commerciales de la firme sont testées, une au printemps (*Steinernema feltiae* de Capirel®) et l'autre (*Steinernema carpocapsae* de Casea®) pendant l'été. *Steinernema feltiae* est positionnée en sortie d'hiver, car sa plage optimale de développement se situe entre 14 et 26°C, tandis que l'utilisation de la souche *Steinernema carpocapsae*, particulièrement active entre 19 et 31°C, se justifie davantage en saison estivale.

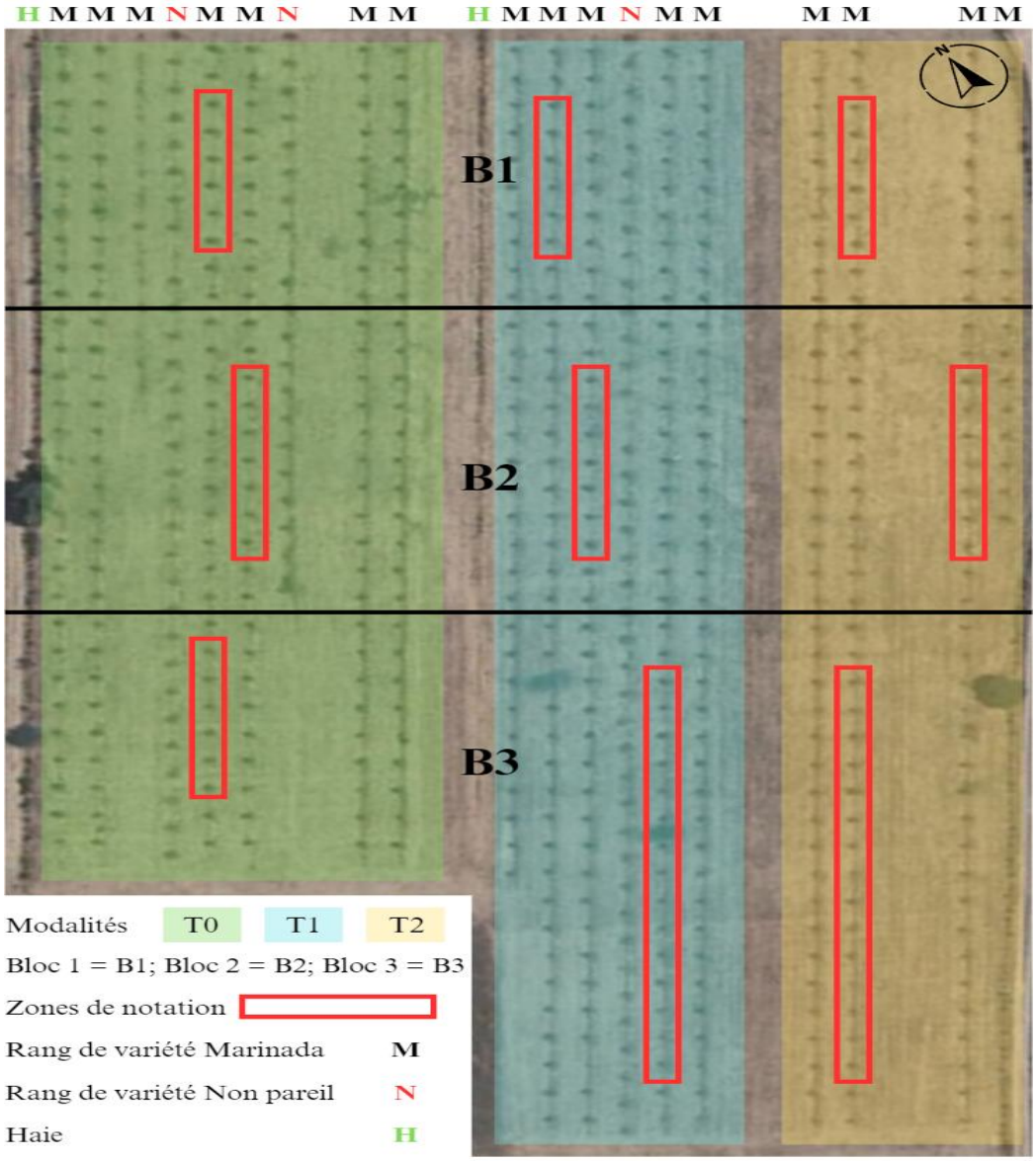


**Figure 7 : Schéma du dispositif expérimental mis en place chez l'agriculteur.**

Chaque rang contient une seule variété d'amandiers. Le nom de la variété est indiqué au-dessus de chaque rang par le code M ou N en fonction de si la variété est Marinanda ou Nonpareil. La modalité de référence (T0) est bordée par deux haies à l'Ouest et à l'Est. Les zones de notations sont caractérisées par les rectangles rouges.

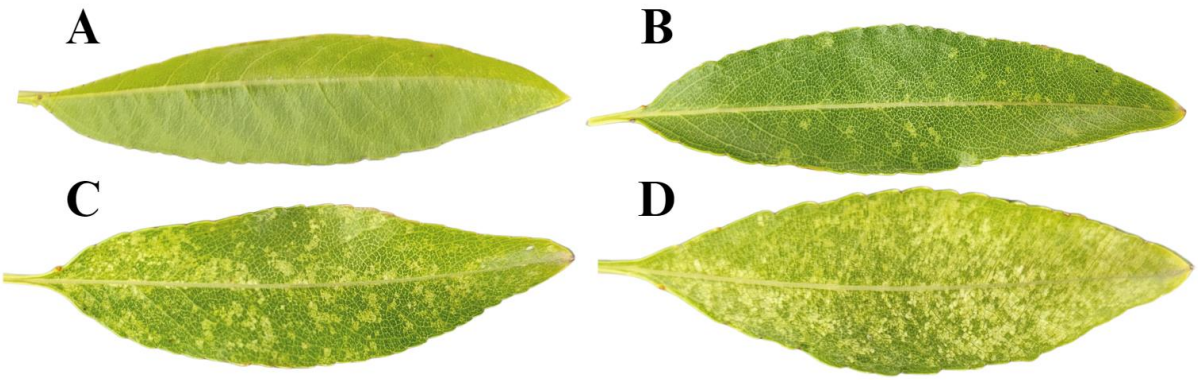


**Figure 8 : Photographies de feuilles d'amandiers attaqués par *Monosteira unicostata* à différentes intensités**

En A la feuille est sans dégâts, en B moins d'1/3 de la feuille est attaqué, en C entre 1/3 et 2/3 de la feuille sont attaqués et en D plus des 2/3 de la feuille sont attaqués.

## 2.4. Suivi du ravageur

Afin d'évaluer l'efficacité des solutions testées dans le but de contrôler le ravageur *Monosteira unicostata*, des notations sont prévues à partir de fin avril, et ce, tous les 15 jours. Toutes les observations seront réalisées sur la variété Marinada.

Une première observation réalisée le 10/04/2023, en amont des premiers traitements appliqués, permet de s'assurer que le ravageur ne soit pas encore présent sur la parcelle expérimentale. Une surveillance hebdomadaire de la parcelle permet de déceler l'arrivée du ravageur sur la culture, et par conséquent, de débuter les notations initialement prévues tous les 15 jours. Ces dernières sont réalisées au sein de chaque bloc dans les zones de notations représentées en **Fig.7** par des rectangles rouges. Les zones de notations sont déterminées de façon à éviter les rangs de bordures ou les arbres situés en bout de rangs. Ces périmètres, définis avant les premières notations, contiennent des arbres représentatifs de la parcelle (ni petits, ni grands, ni d'attaque particulière de ravageurs). Au sein de chaque zone de notations, 3 arbres sont sélectionnés aléatoirement. Dans le cas où un arbre présenterait un développement anormal en cours de saison ou une attaque particulière par un bioagresseur, ce dernier est écarté des observations.

Les notations sont réalisées sur le feuillage en suivant les 4 points cardinaux (Nord, Est, Sud, Ouest). 25 feuilles sont observées par orientation, ce qui correspond à 100 feuilles par arbre. La notation par orientation a pour but d'être représentative de l'arbre observé et non de définir une éventuelle localisation de l'attaque. Au sein de chaque bloc (ou zones de notations), il convient de réaliser la notation sur 3 arbres différents. La notation est menée sur l'ensemble des blocs pour chaque modalité.

Les dégâts sont notés par classe (inspiré de Maral, 2021). 3 classes sont utilisées (cf. **Fig. 8**) :

- 0 : pas de dégâts (cf. **Fig. 8-A**),
- 1 : moins de 1/3 de la feuille est attaqué (cf. **Fig. 8-B**),
- 2 : entre 1/3 et 2/3 de la feuille est attaqués (cf. **Fig. 8-C**),
- 3 : plus des 2/3 de la feuille sont attaqués (cf. **Fig. 8-D**),

## 2.5. Analyses de données

L'essai cherchant à mettre en lumière l'effet positif de traitement pour maîtriser le ravageur *Monosteira unicostata*, une analyse statistique des données est donc réalisée. Afin de tester l'indépendance entre la **variable qualitative dégâts** (mesuré sous forme de classes 0, 1, 2 ou 3) et le **facteur qualitatif modalité** (T0, T1, T2) le test du Chi-2 d'ajustement est utilisé pour comparer les deux modalités test (T1 et T2) à la référence (T0). Pour comparer l'efficacité des traitements entre les modalités test (T1 et T2) sur la variable dégâts, le test du Chi-2 d'indépendance est utilisé. Ces tests ont été sélectionnés de par la nature des variables et facteurs étudiés mais aussi de par la taille de l'échantillon (suffisamment grand).

Par ailleurs, afin de mesurer la répétabilité des données entre réplications (**facteur blocs**), et ainsi leur fiabilité, le test du Chi-2 d'indépendance est de nouveau utilisé.

Concernant les tests du Chi-2 d'ajustement les hypothèses sont formulées de la façon suivantes :

- H0 : les proportions de classes ne diffèrent pas entre modalité de référence (T0) et modalité test (T1 ou T2).
- H1 : les proportions de classes diffèrent entre population de référence (T0) et population test (T1 ou T2).

Concernant les tests du Chi-2 d'indépendance les hypothèses sont formulées de la façon suivantes :

- H0 : les proportions de classes ne diffèrent pas entre les deux modalités test (T1 et T2).
- H1 : les proportions de classes diffèrent entre les deux modalités test (T1 et T2).

Pour l'ensemble de ces tests, le seuil de décision est fixé à 5% (0.05). Lorsqu'il sera présenté une p-value significative cela signifie que l'hypothèse H1 est acceptée et à contrario lorsqu'une p-value non significative est communiquée cela renvoie à l'acceptation de l'hypothèse H0. Les analyses sont réalisées à l'aide du logiciel R-studio (version R-CRAN 4.3.0).

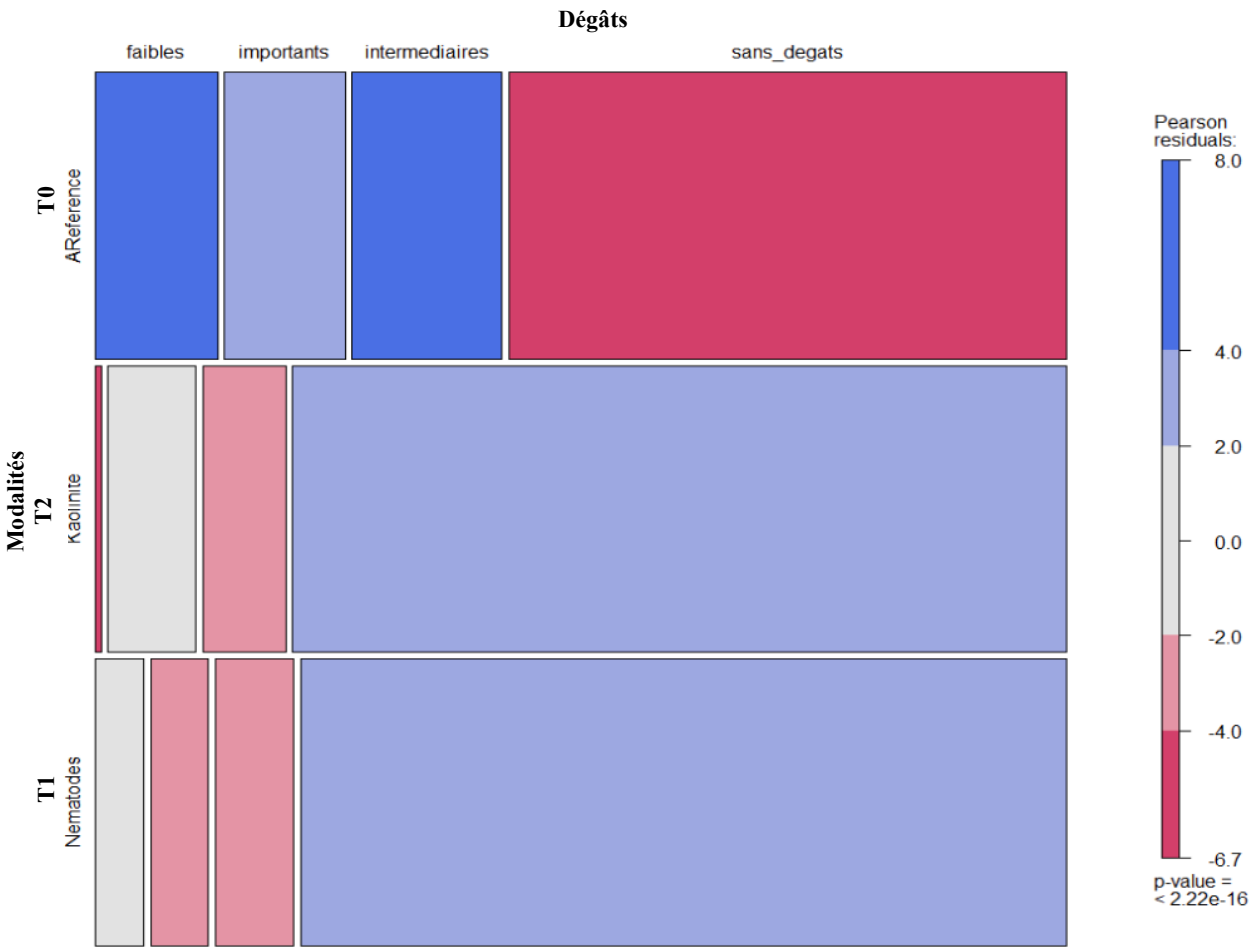


**Figure 9 : Mosaic plot des dégâts en fonction de la modalité pour la période de début juin.**

La modalité est représentée en axe des ordonnées par 3 lignes (AReference pour T0, Kaolinite pour T2 et Nématodes pour T1). Les dégâts sont représentés en axe des abscisses par 4 colonnes ; (1) faibles, (2) importants, (3) intermédiaires et (4) sans_dégâts, signifiant respectivement dégâts faibles, dégâts importants, dégâts intermédiaires et sans dégâts. La largeur des cases dépend du nombre d'individus la constituant au sein d'une modalité (une case large contiendra plus d'individus qu'une case plus étroite). La couleur bleue indique que la valeur observée est supérieure à la valeur attendue tandis que la couleur rouge indique que la valeur observée est inférieure à la valeur attendue. Les couleurs sont de deux niveaux (foncé ou clair) en fonction de la distance entre les résidus théoriques et observés. Une case de couleur grise signifie qu'il n'y a pas d'écarts entre les résidus théoriques et observés.

# 3. RESULTATS

## 3.1. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début juin

Dans cette étude l'effet de 3 modalités sont analysées (référence (T0), nématodes (T1) et Kaolinite (T2)) sur la variable dégâts (sans dégâts, dégâts faibles, dégâts intermédiaires et dégâts importants). Au cours de l'essai, 6 notations ont été réalisées, de mai à août. La **Fig. 9** présente la répartition des dégâts en fonction de la modalité pour la notation réalisée début juin.

Il est observable, à l'aide de la **Fig. 9,** que les modalités kaolinite (T2) et nématodes (T1) semblent avoir des niveaux de dégâts similaires. En effet, ces deux modalités possèdent une surreprésentation de feuilles ne comportant pas de dégâts par rapports aux effectifs théoriques (écart des résidus entre +2 et +4). Les feuilles présentant des dégâts intermédiaires sont quant à elles sous-représentées. En effet ces cellules possèdent des résidus observés qui s'écartent de -4 à -2 des effectifs théoriques et sont donc de couleur rouge clair. Par ailleurs, la largeur des cellules confirme cette sous-représentation de ces classes au regard de la largeur de la cellule représentant les feuilles sans dégâts. Concernant les feuilles avec des dégâts importants, il est observable que la modalité T1 (nématodes) en possède moins que ce que prévoyait le modèle (case rouge clair), mais que la modalité T2 (kaolinite) en possède un nombre prévisible. Pour ce qui est des feuilles marquées par de faibles dégâts, la modalité T1 en possède une quantité ne différant pas des effectifs attendus, en revanche, ces dernières sont fortement sous représentées au sein de la modalité T2. Cette sous-représentation est retranscrite par la largeur de la case et par sa coloration rouge foncé indiquant un écart très significatif des résidus. Concernant la modalité T0 (notée AReference dans le graphique ci-contre), il est observable que la quantité de feuilles observées ne présentant pas de symptômes soit en forte sous-représentation. Ce phénomène est reconnaissable, d'une part, grâce à la largeur de la cellule et d'autre part, avec la coloration rouge foncé de cette dernière. A l'inverse, cette modalité voit son nombre de feuilles présentant des dégâts faibles ou intermédiaires très fortement surreprésenté ainsi que ses feuilles présentant des dégâts importants. Les tendances qui se dégagent de la **Fig. 9**, à savoir plus de dégâts sur la modalité T0 que sur T1 et T2 et des dégâts similaires entre T1 et T2, sont confirmés par les tests du Chi-2 d'ajustement et du Chi-2 d'indépendance. En effet, le test du Chi-2 d'ajustement entre T0 et T1 et entre T0 et T2 montrent tous deux une différence très significative p-value inférieur à 2.2e-16. Quant au test du Chi-2 d'indépendance entre T1 et T2, sa p-value étant de 5.592e-08, nous pouvons aussi conclure à une différence significative entre modalités.

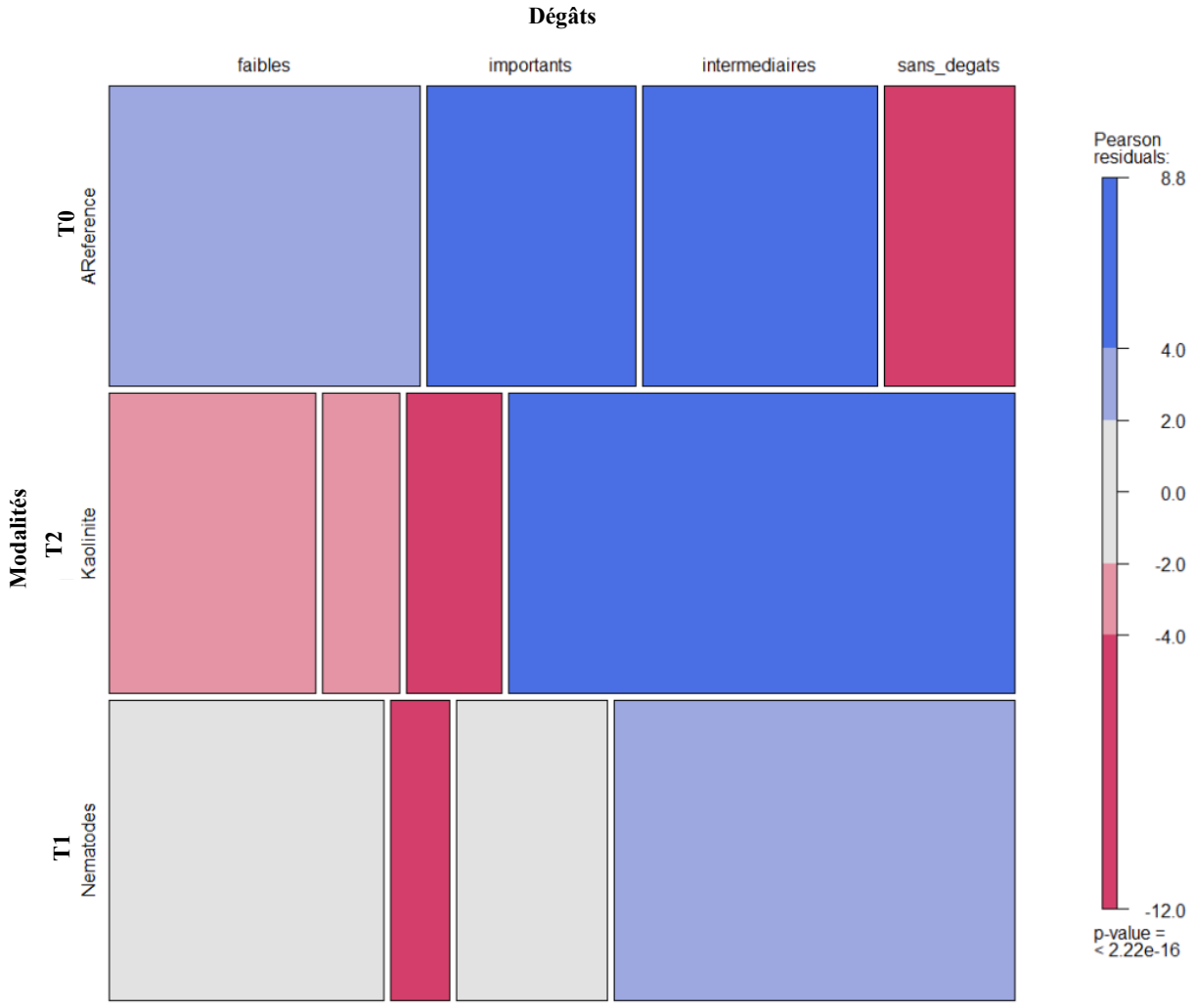


**Figure 10 : Mosaic plot des dégâts en fonction de la modalité pour la période de début juillet.**

La modalité est représentée en axe des ordonnées par 3 lignes (AReference pour T0, Kaolinite pour T2 et Nématodes pour T1). Les dégâts sont représentés en axe des abscisses par 4 colonnes ; (1) faibles, (2) importants, (3) intermédiaires et (4) sans_dégâts, signifiant respectivement dégâts faibles, dégâts importants, dégâts intermédiaires et sans dégâts. La largeur des cases dépend du nombre d'individus la constituant au sein d'une modalité (une case large contiendra plus d'individus qu'une case plus étroite). La couleur bleue indique que la valeur observée est supérieure à la valeur attendue tandis que la couleur rouge indique que la valeur observée est inférieure à la valeur attendue. Les couleurs sont de deux niveaux (foncé ou clair) en fonction de la distance entre les résidus théoriques et observés. Une case de couleur grise signifie qu'il n'y a pas d'écarts entre les résidus théoriques et observés.

### 3.2. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début juillet

La **Fig. 10** présente, pour la période de début juillet, la répartition des dégâts en fonction de la modalité. Il est observable, à l'aide de cette figure, que pour la modalité de référence (T0) sa classe feuilles sans dégâts est très fortement sous-représentée (visible par la coloration rouge signifiant un écart des résidus supérieur à 4). A l'inverse, sa classe comportant les individus identifiés comme ayant des dégâts faibles est surreprésentée, et ceux identifiés par des dégâts intermédiaires ou importants sont fortement surreprésentés (coloration bleue des cellules).

La modalité kaolinite (T2), située en deuxième ligne du mosaicplot présentée en **Fig. 10** montre que la classe sans dégâts est fortement surreprésentée dans l'échantillon par rapport aux effectifs théoriques. A contrario, 3 classes sont sous-représentées : deux d'entre-elles le sont fortement, à savoir, la classe référençant les individus identifiés comme ayant des dégâts faibles ou importants. La troisième classe (dégâts intermédiaires), quant à elle, est fortement sous-représentée. En effet, la coloration de sa cellule en rouge foncé indique un écart des résidus supérieur à 4.

Concernant la modalité nématodes (T1), deux classes possèdent des effectifs conformes aux attentes, en l'occurrence, la classe comportant de faibles dégâts et la classe répertoriant les dégâts intermédiaires. En revanche, au sein de cette modalité, peu de feuilles présentant des dégâts importants ont été observées. Cette sous-représentation est retranscrite par un écart des résidus supérieur à 4 (coloration rouge foncé de la cellule).

La **Fig. 10** permet d'observer que la répartition des dégâts en fonction de modalité, pour la période de début juillet, diffère entre modalités. Les modalités traitées (T1 et T2) présentent moins de feuilles avec d'importants dégâts que la modalité de référence (T0). A l'inverse, T1 et T2 détiennent plus de feuilles notées sans dégâts que T0. Ces observations sont complétées par les tests du Chi-2 d'ajustement et du Chi-2 d'indépendance qui sont tous deux significatifs. En effet, le test du Chi-2 d'ajustement entre T1 et T0 et entre T2 et T0 sont respectivement de 3.789e-08 et inférieur à 2.2e-16. Quant au test du Chi-2 d'indépendance entre T1 et T2, sa p-value étant de 3.258e-08, nous pouvons également conclure à une différence significative entre modalités traitées.

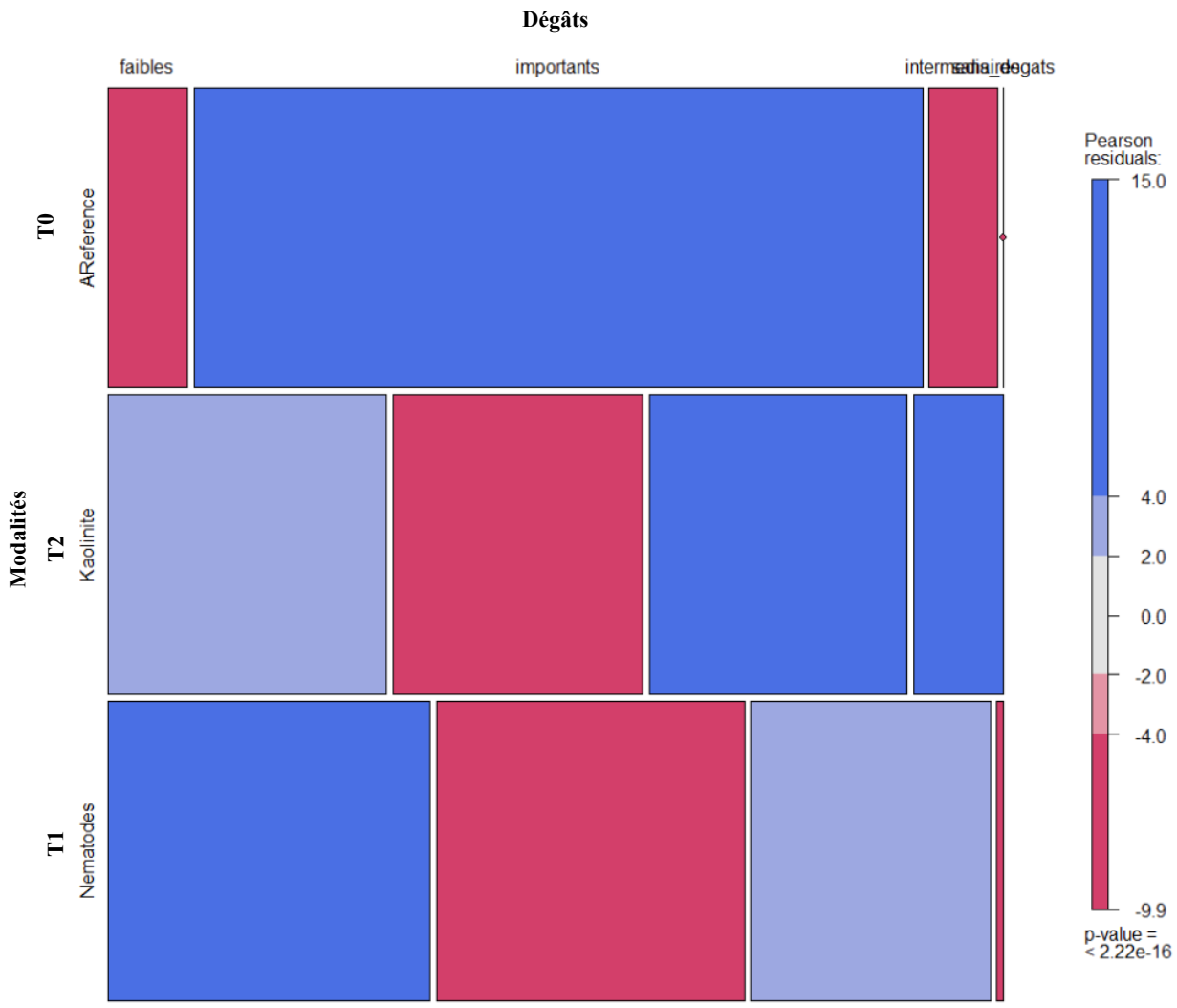


**Figure 11 : Mosaic plot des dégâts en fonction de la modalité pour la période de début août.**

La modalité est représentée en axe des ordonnées par 3 lignes (AReference pour T0, Kaolinite pour T2 et Nématodes pour T1). Les dégâts sont représentés en axe des abscisses par 4 colonnes ; (1) faibles, (2) importants, (3) intermédiaires et (4) sans_dégâts, signifiant respectivement dégâts faibles, dégâts importants, dégâts intermédiaires et sans dégâts. La largeur des cases dépend du nombre d'individus la constituant au sein d'une modalité (une case large contiendra plus d'individus qu'une case plus étroite). La couleur bleue indique que la valeur observée est supérieure à la valeur attendue tandis que la couleur rouge indique que la valeur observée est inférieure à la valeur attendue. Les couleurs sont de deux niveaux (foncé ou clair) en fonction de la distance entre les résidus théoriques et observés. Une case de couleur grise signifie qu'il n'y a pas d'écarts entre les résidus théoriques et observés.

### 3.3. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début août

La **Fig. 11** présente la répartition des dégâts en fonction de la modalité pour la notation réalisée début août. Il est observable sur le moisaic plot que la répartition des données considérées diffère systématiquement des effectifs théoriques. En effet, si l'on étudie la première ligne traitant de la modalité référence (T0), il est facilement identifiable que la classe dégâts importants est très fortement surreprésentée (visible par la largeur de la cellule et par sa couleur bleu foncé signifiant un écart significativement important des résidus par rapport à la normale). A l'inverse, les cases dégâts faibles (à gauche), dégâts intermédiaires (à droite) et sans dégâts (extrême droite) sont très fortement sous représentées. Cette observation est permise par la faible largeur de ces cellules (cellule sans dégâts très étroite) mais aussi par la couleur rouge foncé indiquant un écart très significatifs entre les résidus observés et ceux théoriques.

Concernant la modalité kaolinite (T2), la seule classe fortement sous-représentée est celle des dégâts importants. Cette distinction est permise par la couleur rouge foncé de la cellule. En revanche, cette modalité voit son nombre de feuilles comportant des symptômes faibles sur-représentés. Dans la même optique, le nombre d'individus identifiés par des dégâts intermédiaires ou sans dégâts est fortement sur-représentés par rapport aux effectifs prévus.

La seconde modalité d'intérêt (nématodes) affiche une forte sous-représentation de feuilles atteinte par d'importants dégâts, mais également de feuilles ne comportant pas de symptômes. En revanche, T2 comporte une surreprésentation de dégâts intermédiaires et une importante sur-représentation de la classe dégâts faibles.

La **Fig. 11** permet d'observer que la modalité T0 comporte plus de feuilles présentant des dégâts importants par rapport à T1 et T2 et que T1 et T2 possèdent plus de feuilles notées comme sans dégâts, avec des dégâts faibles ou des dégâts intermédiaires que T0. Les tests du Chi-2 d'ajustement entre T0 et T1 et entre T0 et T2 montrent tous deux une différence très significative puisque leurs p-value sont inférieures à 2.2e-16. Quant au test du Chi-2 d'indépendance entre T1 et T2, sa p-value étant inférieure à 2.2e-16, nous pouvons aussi conclure à une différence significative entre modalités.

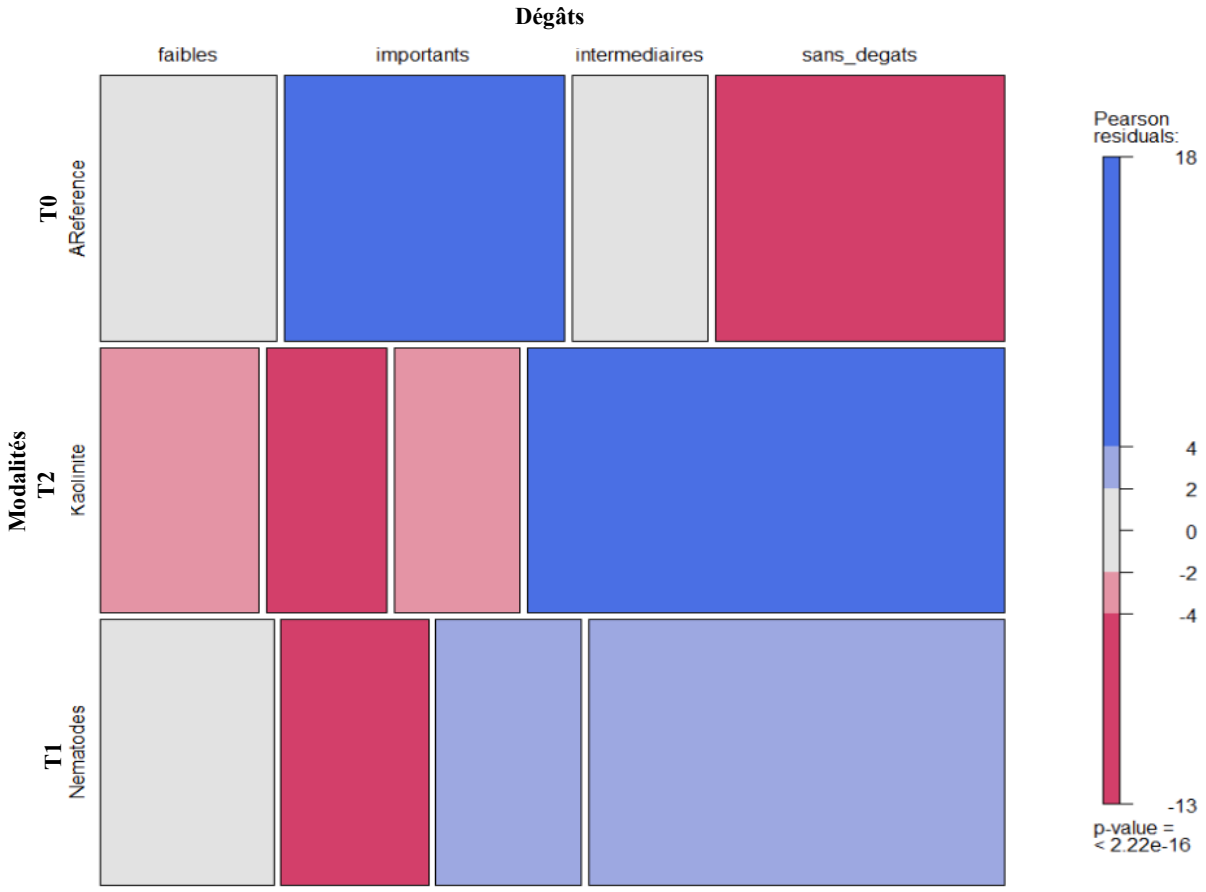


**Figure 12 : Mosaic plot des dégâts en fonction de la modalité pour l'ensemble des périodes.**

La modalité est représentée en axe des ordonnées par 3 lignes (AReference pour T0, Kaolinite pour T2 et Nématodes pour T1). Les dégâts sont représentés en axe des abscisses par 4 colonnes ; (1) faibles, (2) importants, (3) intermédiaires et (4) sans_dégâts signifiant respectivement dégâts faibles, dégâts importants, dégâts intermédiaires et sans dégâts. La largeur des cases dépend du nombre d'individus la constituant au sein d'une modalité (une case large contiendra plus d'individus qu'une case plus étroite). La couleur bleue indique que la valeur observée est supérieure à la valeur attendue tandis que la couleur rouge indique que la valeur observée est inférieure à la valeur attendue. Les couleurs sont de deux niveaux (rouge foncé et rouge clair) en fonction de la distance entre les résidus théoriques et observés. Une case de couleur grise signifie qu'il n'y a pas d'écarts entre les résidus théoriques et observés.

### 3.4. Analyse générale de l'effet des traitements sur les dégâts

La **Fig. 12** montre l'effet des modalités étudiées en fonction de la variable dégât sous la forme d'un mosaic plot. Ce graphique synthétise l'ensemble des différentes notations, toutes dates confondues (6 au total).

Il est observable, à l'aide de la **Fig. 12**, que la modalité référence (T0) comporte une surreprésentation de feuilles comportant des dégâts importants par rapport à l'effectif théorique (case bleu foncé). A contrario, cette modalité comporte une sous-représentation des feuilles ne comportant pas de dégâts vis-à-vis de l'effectif théorique (case rouge foncé). Concernant les cases grises de cette même ligne, les distributions observées sont conformes et ne diffèrent donc pas des effectifs attendus.

Pour la modalité T2 (Kaolinite), la catégorie sans dégâts apparait surreprésentée dans la **Fig.12**. Cela démontre un plus grand nombre de feuilles sans symptômes par rapport aux effectifs théoriques (case bleu foncé). A l'inverse, les classes dégâts faibles et intermédiaires sont sous-représentés par rapport aux effectifs attendus et possèdent des résidus allant de –2 à –4 (case rouge clair). La variable dégâts importants est, quant à elle, fortement sous représentée (rouge foncé).

Concernant la modalité Nématodes (T1), il est notable à l'aide de la **Fig. 12** que le nombre d'individus possédant des feuilles faiblement attaquées ne diffère pas des effectifs attendus (case grise). En revanche, peu de feuilles comportant d'importants dégâts sont observés, la couleur rouge foncé de la case indique donc une sous-représentation des individus de cette modalité au sein de cette classe. Les deux cases bleu ciel correspondant aux classes de dégâts intermédiaires et sans dégâts, indiquent une surreprésentation des individus observés par rapport aux effectifs théoriques.

Les tendances qui se dégagent de la **Fig. 12**, en l'occurrence plus de dégâts sur la modalité T0 que sur T1 et T2 et des dégâts équivalents entre T1 et T2 (bien qu'une tendance similaire soit observable) sont confirmées par les tests du Chi-2 d'ajustement et du Chi-2 d'indépendance. En effet, le test du Chi-2 d'ajustement entre T0 et T1 et entre T0 et T2 montrent tous deux une différence très significative avec une p-value inférieur à 2.2e-16. Quant au test du Chi-2 d'indépendance entre T1 et T2, sa p-value étant de 5.985e-12, nous pouvons aussi conclure à une différence significative entre modalités.

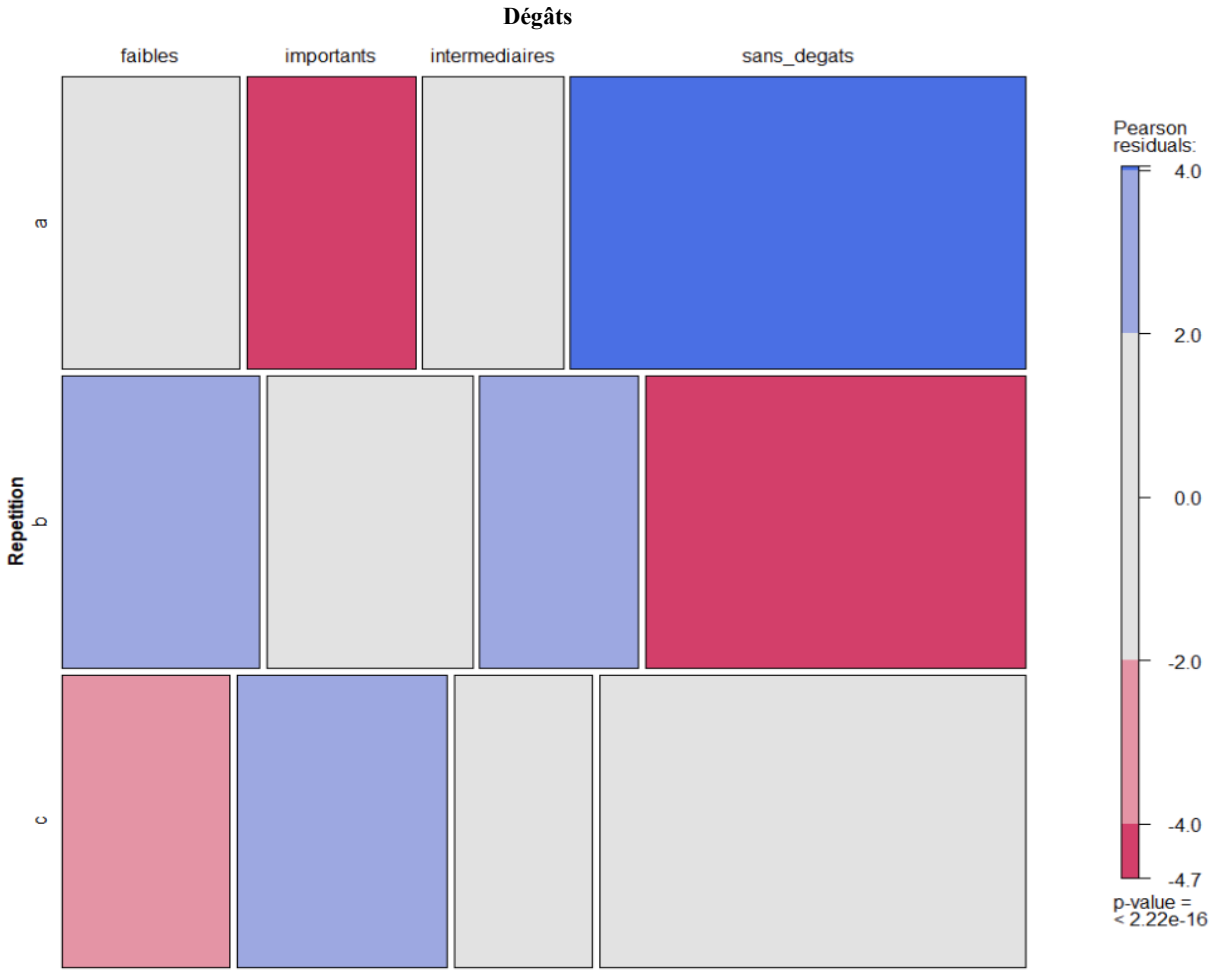


**Figure 13 : Mosaic plot des dégâts en fonction de la réplication pour l'ensemble des périodes.**

La référence est représentée en axe des ordonnées par 3 lignes (a pour bloc A, b pour bloc B et c pour bloc C). Les dégâts sont représentés en axe des abscisses par 4 colonnes ; (1) faibles, (2) importants, (3) intermédiaires et (4) sans_dégâts signifiant respectivement dégâts faibles, dégâts importants, dégâts intermédiaires et sans dégâts. La largeur des cases dépend du nombre d'individus la constituant au sein d'une modalité (une case large contiendra plus d'individus qu'une case plus étroite). La couleur bleue indique que la valeur observée est supérieure à la valeur attendue tandis que la couleur rouge indique que la valeur observée est inférieure à la valeur attendue. Les couleurs sont de deux niveaux (rouge foncé et rouge clair) en fonction de la distance entre les résidus théoriques et observés. Une case de couleur grise signifie qu'il n'y a pas d'écarts entre les résidus théoriques et observés.

### 3.5. Analyse de l'effet des traitements sur les dégâts début juillet

La **Fig. 13** présente les dégâts observés en fonction de la répétition (blocs) pour l'ensemble des périodes étudiées, et ce, toutes modalités confondues. Il est constatable à l'aide du mosaicplot présenté ci-contre que les répartition des dégâts fluctuent en fonction des répétitions.

Pour la répétition A, située en première ligne du graphique, il est notable que cette dernière présente moins d'individus classés comme dégâts importants que les effectifs théoriques attendus. A l'inverse, cette répétition contient une surreprésentation d'individus notés comme sans dégâts. Concernant les individus classés dans la catégorie dégâts faibles et dégâts intermédiaires leurs répartitions ne diffèrent pas de celle attendue (cellules colorés en gris).

Quant à la répétition B, située au centre de la parcelle (cf. **Fig. 7**), il est observable qu'elle contient une sous-représentation (l'écart des résidus entre population observée et théorique supérieur à -4) de la classe feuilles sans dégâts. En revanche, les classes de feuilles comportant de faibles dégâts et dégâts intermédiaires sont quant à elles surreprésentées. Quant à la classe de feuilles présentant des dégâts importants, où la cellule est colorée en gris, les effectifs observés ne diffèrent pas des effectifs théoriques.

La répétition C quant à elle voit sa classe dégâts faibles sous-représentée. Cette observation est permise par la coloration rouge clair qui indique un écart entre résidus observés et résidus théoriques située entre -2 et – 4. L'autre variation notable dans cette répétition est celle des dégâts importants qui est surreprésentée (coloration bleu clair par les résidus) dans l'échantillon observé par rapport à la population théorique. Quant aux classes de dégâts intermédiaires et sans dégâts, elles sont conformes aux résultats attendus puisque lors coloration est grise (écart des résidus entre échantillon observé et population théorique compris entre -2 et +2).

La variation des dégâts en fonction de la répétition a été testée par les tests du Chi-2 d'ajustement et d'indépendance. Le premier test confirme une dépendance significative entre la variable dégâts et le facteur répétition puisque les p-values sont de 2.2e-16 entre les répétitions A et B et de 3.93e-15 entre les répétitions A et C. Cette dépendance est aussi validée par le test du Chi-2 d'indépendance entre les répétitions B et C puisque la p-value est de 2.035e-14. En complément, des tests permettant d'observer l'effet du facteur répétitions sur la variable dégâts au sein de chaque modalité ont été réalisés. L'ensemble de ces 9 tests révèlent une dépendance significative (p-value inférieur à 0.05) de ces variables.

# 4. DISCUSSION

L'essai présenté dans ce document et mis en place chez un agriculteur partenaire, dans le cadre du projet LEVEAB qui vise à LEver les VErrous à la culture de l'amandier en Agriculture Biologique et à mettre en lumière les méthodes de luttes disponibles en agriculture biologique contre le ravageur *Monosteira unicostata*.

La **Fig. 9**, un graphique en mosaïque, présente les dégâts occasionnés par le ravageur *Monosteira unicostata* en fonction de la modalité pour le début du mois de juin. Il est observable qu'à cette période l'infestation du ravageur débute, puisque le nombre de feuilles attaquées est encore inférieur à celui des feuilles sans dégâts. A cette période, les modalités traitées (T1 et T2) semblent moins attaquées que la modalité non traitée de référence (T0). La répartition des feuilles sans dégâts est similaire entre modalités testées, tandis que les feuilles saines sont d'un niveau supérieur par rapport à la modalité de référence (cf. **Fig. 9**). Cette analyse est permise par la taille et la coloration des cases de la colonne sans dégâts. En effet, au sein des modalités traitées, leur fréquence est surreprésentée tandis qu'elle est sous-représentée dans la modalité de référence. Cette observation est confirmée par la présence supérieure de feuilles comportant des symptômes (dégâts faibles, intermédiaires ou importants) dans la modalité non traitée (T0) par comparaison avec les modalités traitées (T1 et T2). Par ailleurs, comme évoqué dans la partie 3.1, ce constat est conforté par les tests statistiques du Chi-2 d'ajustement et d'indépendance qui démontrent une dépendance significative entre variables testées. Il semblerait donc que les traitements appliqués au sein des modalités T1 et T2 aient réussi à contrôler, en partie, le développement du ravageur. Le test du Chi-2 d'indépendance a permis de déceler une différence significative entre les deux modalités testées, malgré leur comportement similaire. Il semblerait donc que la modalité T1 (kaolinite) soit plus performante que la modalité T2 (nématodes) à cette période de l'année.

Le mois suivant, l'infestation du ravageur se poursuit et les dégâts sont désormais plus importants. En effet, la **Fig. 10**, permet d'observer que la taille des cellules intégrant les individus classés comme étant « sans dégâts » a diminué pour laisser place à plus d'individus classés comme attaqués, et ce, quel que soit la modalité observée. Il apparait que les modalités traitées comportent une sous-représentation de feuilles fortement attaquées (T1 et T2) par rapport à des effectifs théoriques. De plus, la modalité T2 (kaolinite) détient une plus faible représentation de feuilles comportant des dégâts identifiés comme faibles ou intermédiaires.

Les tests du Chi-2 d'ajustement confirment cette observation puisqu'ils démontrent une dépendance significative entre modalités traitées et non traitées. Cela signifie que les traitements appliqués sont encore efficaces contre le ravageur à cette période de l'année et qu'ils permettent donc de diminuer les dégâts observés dans l'essai. Si l'efficacité entre les modalités T1 et T2 est comparée, le test du Chi-2 d'indépendance est significatif. Cela démontre une meilleure efficacité de la modalité T1 par rapport à T2 pour contrôler le ravageur jusqu'à début juillet.

La **Fig. 11** permet d'appréhender l'ampleur des dégâts en pleine saison estivale (début août). C'est à cette période que les dégâts du ravageur deviennent fortement préoccupants et que les populations explosent (3$^{-ème}$ génération). Ainsi en atteste la cellule « dégâts importants » pour la modalité référence, la proportion de feuilles attaquées à plus de 66% a très fortement augmentée entre le mois de juillet et le mois d'août. De plus, cette dernière est grandement surreprésentée dans cette modalité. Le graphique montre une très faible quantité (sous-représentées) de feuilles non attaquées, détenant de faibles dégâts ou des dégâts intermédiaires dans la modalité de référence. A contrario, les feuilles présentant des dégâts importants sont sous-représentées dans les modalités traitées (T1 ou T2). Dans ces mêmes modalités les feuilles attaquées à moins de 33% ou entre 33% et 66% sont surreprésentées par rapport aux effectifs théoriques. La seule variation entre ces deux modalités porte sur la présence de feuilles ne comportant pas de dégâts, plus importante dans le cas de la modalité T2 (kaolinite). Par ailleurs, les tests statistiques effectués à cette période étant tous significatifs, nous pouvons par conséquent conclure à une efficacité des traitements en comparaison à la modalité de référence et à un meilleur contrôle du ravageur dans la modalité T1 que T2 jusqu'à début août.

La **Fig. 12** synthétise les résultats observés pendant l'étude pour l'ensemble de la période analysée. Il est visible que globalement sur la totalité de l'essai, la modalité de référence (T0) comporte une sous-représentation d'individus classés comme étant sans dégâts. Ce constat renseigne bien évidement sur le degré d'infestation du ravageur au sein de l'essai, mais aussi, sur l'incapacité de la culture à résister à son attaque. Si l'on se réfère aux classes sans dégâts dans les modalités traitées, ces dernières n'obtiennent pas la même distribution des données et apparaissent comme sous-représentées, ce qui signifie qu'elles sont moins attaquées que la référence. Dans la même optique, il est visible que la modalité nématodes (T1) comporte une sur-représentation de feuilles attaquées entre 33% et 66% et une sous-représentation de feuilles attaquées à plus de 66%. Cette observation démontre que même si les feuilles sont attaquées, elles le sont dans une moindre mesure, en évitant les dégâts les plus importants.

Pour ce qui concerne la modalité kaolinite (T2), l'ensemble des feuilles attaquées est sous-représenté, attestant d'une faible proportion de feuilles attaquées bien qu'elle ne permette pas d'éviter les attaques les plus virulentes. Les tests statistiques appliqués renvoient eux aussi à des résultats significatifs lorsque l'on compare les modalités traitées à la modalité de référence, ce qui confirme (i) la présence du ravageur sur la parcelle, (ii) les traitements à base de nématodes ou de kaolinites permettent de contrôler *Monosteira unicostata* et que (iii) les traitements à base de kaolinite semblent permettre un meilleur contrôle de *Monosteira unicostata*.

En revanche, concernant la modalité Nématodes (T1), la « diminution de l'efficacité » observée au cours du derniers mois peut s'expliquer par le fait d'une seconde application réalisée trop tardivement d'autant que cette technologie a pour cible les stades larvaires du ravageur. En effet, celle-ci n'a eu lieu que fin juillet en raison des conditions de sécheresse extrême qui ont alors sévies dans la région. Il est possible qu'avec davantage de précipitations courant juin/juillet, la seconde application aurait été plus efficace. De plus, il est également probable que les symptômes observés lors de la notation de début août résultaient des dégâts occasionnés par les populations de ravageurs présentes avant le second traitement. Il est donc délicat de conclure à une efficacité du second traitement sans poursuivre les notations dans les semaines à venir.

La **Fig. 13**, qui présente les dégâts observés en fonction des répétitions (blocs), met en évidence une variabilité des dégâts foliaires au sein de ces blocs. En effet, il semblerait, d'après la figure, que le bloc A (ou répétition A) soit moins attaqué que le bloc B, lui-même moins touché que le bloc C. Cette variation non-induite et contrôlée des dégâts au sein de l'essai s'explique principalement par la taille de l'essai d'environ 3 ha au total et d'approximativement 1 ha par modalité. L'autre cause de cette variation se trouve dans la relative faiblesse de l'échantillon observé par répétition au sein d'une modalité. En effet, dans la mesure où 3 arbres sont notés par répétition, si un des arbres présente une forte variabilité par rapport aux autres, cela impactera alors fortement l'ensemble de la répétition.

Pour remédier à la variabilité des résultats due au facteur répétition, plusieurs possibilités sont envisageables lors de la reconduite de l'essai, à savoir, (i) diminuer la taille de l'essai, (ii) augmenter le nombre d'arbres suivis dans chaque répétition, (iii) augmenter le nombre de répétitions pour mieux apprécier le gradient ou (iv) utiliser des modèles statistiques à effets mixtes pour mieux contrôler leur impact.

Par ailleurs, l'utilisation d'une classe de notations constitue à la fois un frein pour quantifier précisément les dégâts au sein des parcelles expérimentales, mais aussi pour le traitement de ces données. Il serait alors pertinent, si l'essai est reconduit, de modifier le protocole de notations en intégrant à la fois plus de répétitions (supérieur à 4) et plus d'arbres observés (supérieur à 6). Pour compenser cette charge de travail supplémentaire, il est envisageable de réaliser une notation par rameaux (10 par orientation par exemple) en utilisant une grille de notation la plus fine possible (a minima un pourcentage). Disposant alors d'une variable quantitative, une analyse par modèle linéaire mixte intégrant facteurs fixes et aléatoires, permettrait sûrement une analyse plus aisée mais surtout plus précise. Il serait également, il serait pertinent d'intégrer une variable « nombre d'individus » voire une seconde variable « stade de l'individu » afin de déceler l'efficacité d'une solution sur son pouvoir biocide, ce qui viendrait compléter les quantifications de dégâts.

Pour rappel, cet essai a pour but d'apporter des solutions « clefs en main » aux producteurs d'amandes en agriculture biologiques, aujourd'hui dans l'impasse pour lutter contre *Monosteira unicostata*. Cet ouvrage tente de proposer des méthodes de luttes contre ce ravageur mais ne teste pas de programmes de traitement à proprement dit. Il semble donc nécessaire de poursuivre les travaux engagés par le CIVAMBIO66 mais aussi par l'ensemble des partenaires pour concevoir, tester et préconiser les programmes de traitements que pourraient utiliser les producteurs en recherche de solutions. Il serait envisageable de concevoir une méthode de lutte combinant les deux modalités testées. Il serait éventuellement possible d'appliquer la formulation commerciale Capirel® à l'automne pour limiter la présence du ravageur en années N+1, d'utiliser SOCALCIARBO WP® en début de saison (effets sur d'autres ravageurs problématiques comme *Eurytoma amygdali*, *Brachycaudus amygdalinus*, ou *Empoasca vitis*) pour limiter la pullulation des premières générations. Il serait également possible de poursuivre la lutte avec SOCALCIARBO WP® ou avec une huile minérale d'été (comme le LOVELL®). En effet, cette huile minérale d'été semble adaptée à la problématique or son utilisation n'a pas pu se faire cette année puisque la dérogation la concernant est arrivée trop tardivement (début août).

Pour conclure, l'essai mis en place chez l'agriculteur partenaire dans le département des Pyrénées orientales par le CIVAMBIO66 dans le cadre du projet LEVEAB a permis de tester deux méthodes de luttes contre le ravageur *Monosteira unicostata*. La première modalité, qui était composée de solutions commerciales (Capirel® et Casea®) à base de nématodes, a réussi à contenir les dégâts occasionnés par le ravageur en limitant le développement des populations de manière précoce (traitement au printemps). Cependant cette méthode atteint ses limites avec des conditions d'applications contraignantes et souvent peu réunies en saison estivale (besoin d'une forte hygrométrie ou de pluies) mais aussi avec un coût encore trop élevé. La seconde modalité, utilisant la kaolinite de la formulation SOCALCIARBO WP®, à, elle aussi, réussi à endiguer la prolifération du ravageur. L'essai place la modalité T2 (kaolinite) comme plus efficace que la modalité T1 (nématodes) mais ce résultat est à tempérer. En effet, une forte variabilité a été observée dans la parcelle (3 ha) ce qui rend l'interprétation des résultats plus délicate.

Il convient néanmoins de retenir que les travaux du CIVAMBIO66 ont permis de tester en conditions réelles les résultats observés en laboratoire. Cette validation permet d'orienter les prochains essais vers la construction de programmes de traitements mélangeant les solutions commerciales testées (nématodes en hiver et kaolinite en été) à d'autres présentant un potentiel intérêt (huiles minérales d'été comme le LOVELL®).

# REFERENCES

**ACTA** (2017) Index ACTA biocontrôle n°1.

**Agriculture.gouv** (2023) Qu'est-ce que le biocontrôle ? https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-le-biocontrole.

**Biryol S, Demirbağ Z, Erdoğan P, Demir I** (2022) Development of Beauveria bassiana (Ascomycota: Hypocreales) as a mycoinsecticide to control green peach aphid, Myzus persicae (Homoptera: Aphididae) and investigation of its biocontrol potential. Journal of Asia-Pacific Entomology **25**: 101878.

**Chambre d'agriculture des Pyrénées-Orientales** (2023) Agriculture Bio. https://po.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/agriculture-bio/.

**Ephytia** (2023) *Monosteira unicostata*. http://ephytia.inra.fr/fr/C/16523/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Caracteristiques-du-ravageur-et-de-ses-degats.

**Evreinoff VA** (1952) Quelques observations biologiques sur l'Amandier. jatba **32**: 443.

**García Marí F et Ferragut F** (2019) Plagas agrícolas. Phytoma-España S.L., Valencia.

**González-Núñez M, Marcotegui A, Pascual S, Fernández C, Cobos G, Armendáriz I, Cobo A, Sánchez-Ramos I** (2017) Insecticidas de origen botánico y mineral para el control del tigre del almendro. Boletín Sociedad Española de Entomología Aplicada **2** : 11–16.

**Maral H** (2021) Effect of spinosad, azadirachtin and kaolin on Stephanitis pyri (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Tingidae) under laboratory conditions. Turkish Journal of Entomology **45**: 87–97.

**Marcotegui A, Sánchez-Ramos I, Pascual S, Fernández CE, Cobos G, Armendáriz I, Cobo A, González-Núñez M** (2015) Kaolin and potassium soap with thyme essential oil to control *Monosteira unicostata* and other phytophagous arthropods of almond trees in organic orchards. J Pest Sci **88**: 753–765.

**Sánchez-Ramos I, Pascual S, Fernández CE, Marcotegui A, González-Núñez M** (2015) Effect of temperature on the survival and development of the immature stages of *Monosteira unicostata* (Hemiptera: Tingidae). Eur J Entomol **112**: 664–675.

# RESUME

**Evaluation de méthodes de luttes contre le ravageur *Monosteira unicostata*.**

L'amandier (*Prunus dulcis*) est un arbre fruitier qui est cultivé depuis l'antiquité dans le bassin méditerranéen. Le projet LEVEAB vise à développer une filière de production d'amandes biologiques française pour faire face à la demande croissante des consommateurs. Pour atteindre cet objectif un ensemble d'actions est mené, comme au travers de (i) la recherche de kairomones pour le piégeage massif d'*Eurytoma amygdali*, (ii) l'identification des végétaux favorisant la présence d'auxiliaires et régulant les ravageurs, (iii) l'identification de facteurs favorisant *Eurytoma amygdali* ou (iv) la mise en place d'expérimentations en vergers de solutions accessibles en agriculture biologique pour comparer leur efficacité ainsi que l'optimisation de leurs conditions d'application. Le CIVAMBIO66, partenaire du projet, a mis en place différents essais pour tenter de répondre aux différentes problématiques comme celles présentées dans cet ouvrage : « **Quelles sont les méthodes de luttes disponibles en agriculture biologique contre le ravageur *Monosteira unicostata* ? »**

D'après l'analyse, les deux modalités testées (T1 nématodes et T2 kaolinite), ont permis de contrôler le ravageur *Monosteira unicostata* en diminuant les dégâts occasionnés sur la culture**.** Par ailleurs, la modalité T2 kaolinite semble offrir un meilleur contrôle de l'insecte cible, bien que la nuance entre les deux modalités soit complexe à apprécier. En effet, les critères de quantification des dégâts proposés sous forme de classes (0, 1, 2, 3) n'offrent qu'une représentation partielle de l'échelle d'intensité des dommages observés au champs. Cependant, la conception non aléatoire de l'essai, visant à maximiser l'effet de masse des traitements, restreint l'analyse statistique. L'objectif final est une méta-analyse des résultats, provenant de divers partenaires, afin de générer des solutions pertinentes, pratiques et applicables sur le terrain.



Mots clefs : *Prunus dulcis*, *Monosteira unicostata*, Kaolinite, Nématodes, Agriculture Biologique.

# SUMMARY

**Evaluation of control methods against the *Monosteira unicostata* pest.**

The almond tree (*Prunus dulcis*) is a fruit tree that has been cultivated in the Mediterranean basin since ancient times. The LEVEAB project aims to develop a French organic almond production industry to meet growing consumer demand. To achieve this objective, several actions are being carried out, including (i) research into kairomones for mass trapping of Eurytoma amygdali, (ii) identification of plants that encourage the presence of beneficial insects and regulate pests, (iii) identification of factors that favour *Eurytoma amygdali*, and (iv) setting up orchard trials of solutions available in organic farming to compare their effectiveness and optimize their application conditions. CIVAMBIO66, a partner in the project, has set up several trials to answer questions such as those presented in this book: **"Witch control methods are available in organic farming against the pest *Monosteira unicostata*?".**

According to the analysis, the two methods tested (T1 nematodes and T2 kaolinite) were able to control the pest *Monosteira unicostata* by reducing the damage caused to the crop. T2 kaolinite also appeared to provide better control of the target insect, although the difference between the two methods is difficult to assess. In fact, the proposed damage quantification criteria in the form of classes (0, 1, 2, 3) offer only a partial representation of the scale of damage intensity observed in the field. However, the non-random design of the study, aimed at maximizing the mass effect of the treatments, limits the statistical analysis. The last objective is a meta-analysis of the results from different partners in order to generate relevant, practical solutions that can be applied in the field.



Key words: *Prunus dulcis*, *Monosteira unicostata*, Kaolinite, Nematodes, Organic farming.