Gestion des biosolutions et suivi contre *Drosophila suzukii*, *Halyomorpha halys* et *Monilinia fructicola*.







RAPPORT présenté par Mme Commandeur Alizée
Promotion 2025/2026 : BUT 3 Parcours Agronomie
Encadrant IUT : M. Garcia Pascal
Encadrant Entreprise : M. Espert Rémi

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement toutes les personnes ayant contribué au bon déroulement de mon stage. Cette expérience, enrichissante sur les plans professionnel et personnel, n'aurait pas été la même sans leur accueil, leur accompagnement et leur bienveillance.

J'adresse tout d'abord mes plus sincères remerciements à M. Rémi Espert, mon maître de stage, pour son accueil, sa confiance et sa disponibilité. Sa patience, ses conseils et ses explications m'ont permis de progresser et de découvrir de nombreux aspects du métier dans d'excellentes conditions. Je le remercie également pour sa bonne humeur, qui a contribué à créer une ambiance de travail agréable et motivante.

Je remercie également M. Cédric Bertrand pour son accueil, sa gentillesse et le temps qu'il m'a consacré. Ses conseils, son expérience et son professionnalisme m'ont beaucoup apporté tout au long du stage.

Je souhaite aussi remercier Camille Mercier, Louis Pellet et Falya Steinauer pour leur sympathie, leur aide et les moments partagés. Nos échanges et notre entraide ont permis de créer une atmosphère conviviale et de rendre cette expérience encore plus agréable.

Enfin, je remercie l'ensemble de l'équipe pour sa disponibilité et sa bienveillance. Grâce à toutes ces personnes, j'ai pu acquérir de nouvelles compétences, découvrir le monde professionnel dans de très bonnes conditions et vivre une expérience importante pour la suite de mon parcours scolaire et professionnel.

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAU

Figure 1 : Adulte de Drosophila suzukii (Source : Stolon Bio, 2014)..... 13
Figure 2 : Différences morphologiques caractéristiques entre Drosophila suzukii et D. simulans. (Source : Eppo)..... 13
Figure 3 : Cycle biologique de Drosophila suzukii (Source : Deconninck G. & Simoes-Berton B.,2023, Passion-Entomologie)..... 14
Figure 4 : Photo d'une cerise ouverte contenant un vers de D. suzukii qui est entouré en bleu (Source personnelle).....14
Figure 5 : Symptômes liés à la ponte de D. suzukii.....14
Figure 6 : Schéma explicatif de la stratégie push-pull (adaptée de Björkman et Meadow, 2020 ; Lamy et al., 2018)..... 15
Figure 7 : Adulte d'Halyomorpha halys (source : Bioplanet beneficial).....16
Figure 8 : Ensemble de photos des dégâts possibles sur aubergine par H. halys.....17
Figure 9 : Cycle de vie d'Halyomorpha halys (source : Jardiner autrement).....17
Figure 10 : Pêche présentant des symptômes de moniliose (Source : BASF Agricultural Solutions France, « Monilioses du pêcher : symptômes, traitement et solutions ») 18
Figure 11 : Image traduite du cycle de développement de Monilinia fructicola, agent responsable de la moniliose des fruits à noyau (Source : American Phytopathological Society (APS), APS Education Center.)..... 19
Figure 12 : Localisation géographique du site expérimental d'ANTEDIS où l'étude a été réalisée..... 20
Figure 13 : Photo du verger de cerisier d'ANTEDIS à Toulouges (Source personnelle)..... 20
Figure 14 : Plan expérimentales avec la parcelle ainsi que les modalité les disposition des pièges et les arbres manquants (Source personnelle).....21
Figure 15 : Dispositif de piégeage ANDERMATT pour la capture de Drosophila suzukii rempli avec le liquide attractif (Source personnelle).....22
Tableau 1 : Les différentes catégories d'observation sur les fruits (Source personnelle). 22
Figure 16 : Localisation géographique du site expérimental de la SICA CENTREX où l'étude a été réalisée..... 23
Figure 17 : Plan du dispositif de plantation des aubergines avec la luzerne et les pièges réalisé sur excel (Source personnelle)..... 24
Figure 19 : Diagnostic des résidus simulés du modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) utilisé pour analyser les captures de Drosophila suzukii. Les résidus du modèle binomial négatif ont été simulés et évalués avec le package DHARMa sous RStudio.....28
Figure 20 : Analyse de l'effet du rang d'implantation et des modalités expérimentales sur les captures de Drosophila suzukii, réalisée sous RStudio à partir des données cumulées des pièges entre le 27 avril et le 28 mai 2026 (quatre dates de comptage) (source personnelle).....29
Figure 21 : Boxplot du nombre de D. suzukii capturées dans l'ensemble des pièges avec p= 0,00171, à partir des données cumulées par piège avec la moyenne de chaque piègereprésenter par la ligne noir du 27 avril au 28 mai 2026 avec 4 comptage des pièges , 1 toute les deux semaines (source personnelle)..... 30
Figure 22: Évolution du nombre de captures de D. suzukii au cours du temps entre 27 avril et le 18 mai 2026, selon les pièges avec une courbe de moyenne en pointillés (source personnelle).....30

Figure 23 : Pourcentage de fruits touchés selon la modalité ; lettres différentes : p < 0,05 après correction de Tukey (source personnelle).....31
Figure 24 : Boxplot du pourcentage de fruits sains selon les modalités expérimentales. (Réalisé sous R studio).....32
Figure 25: Boxplot du pourcentage de fruits présentant des larves de mouches autres que Drosophila suzukii selon les modalités expérimentales. (Réalisé sous R studio).....32
Figure 26 : Boxplot du pourcentage de fruits présentant des larves de Drosophila suzukii selon les modalités expérimentales..... 33
Figure 27 : Boxplot du pourcentage de fruits présentant des potentielles pontes avec des trous de pontes sur les cerises selon les modalités expérimentales. (Réalisé sous R studio)..... 34
Figure 28 : Effet du tunnel sur les dégâts observés sur les fruits d'aubergine et répartition des captures de Halyomorpha halys selon le côté et le numéro du piège..... 35
Figure 29. Nombre de nectarines atteintes selon la modalité, le bloc et le rang (source personnelle).....36

LISTE DES ACRONYMES

Acronyme	Définition
AGROLAB BIOMED	Chaire de la Fondation UPVD consacrée à l'innovation agricole, à l'agroécologie méditerranéenne et à la réduction des intrants de synthèse.
ANOVA	*Analysis of Variance* — analyse de la variance.
APS	*American Phytopathological Society* — Société américaine de phytopathologie.
BIOSOLUDOE	Projet Interreg SUDOE consacré aux stratégies de protection intégrée des cultures fondées sur l'utilisation de biosolutions.
CE	Communauté européenne.
CRIOBE	Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement.
DHARMa	Package R permettant de vérifier la qualité d'ajustement des modèles statistiques à partir de résidus simulés.
D. suzukii	*Drosophila suzukii*
D. simulans	*Drosophila simulans*
EFSA	*European Food Safety Authority* — Autorité européenne de sécurité des aliments.
EPPO	*European and Mediterranean Plant Protection Organization* — Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes.
FAO	*Food and Agriculture Organization* — Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
GLMM	*Generalized Linear Mixed Model* — modèle linéaire généralisé mixte.
GPS	*Global Positioning System* — système mondial de positionnement.
H. halys	*Halyomorpha halys*
HSD	*Honestly Significant Difference* — méthode de comparaisons multiples associée au test de Tukey.
IBMA	*International Biocontrol Manufacturers Association* — Association internationale des fabricants de produits de biocontrôle.
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change* — Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
IPPC	*International Plant Protection Convention* — Convention internationale pour la protection des végétaux.
IRTA	*Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries* — Institut de recherche et de technologie agroalimentaires.
LL	*Living Lab* — laboratoire vivant.
M. fructicola	*Monilinia fructicola*
R. cerasi	*Rhagoletis cerasi*
SICA CENTREX	Société d'intérêt collectif agricole – Centre Expérimental des Fruits et Légumes du Roussillon.
SUDOE	Sud-Ouest européen.
UPVD	Université de Perpignan Via Domitia.

Représentations graphiques statistiques

Terme	Définition
Boxplot ou boîte à moustaches	Graphique représentant la distribution d'une variable à l'aide de la médiane, des quartiles et des valeurs extrêmes.
Heatmap ou carte thermique	Représentation dans laquelle l'intensité d'une couleur traduit la valeur d'une variable.
QQ-plot	Graphique comparant les quantiles des résidus observés à ceux d'une distribution théorique afin d'évaluer l'adéquation du modèle.
Intervalle interquartile	Intervalle compris entre le premier et le troisième quartile et contenant les 50 % centraux des observations.
Médiane	Valeur séparant une série d'observations en deux groupes de même effectif.
Valeur extrême ou outlier	Observation très éloignée de la majorité des autres valeurs de la série.
Lettres de significativité	Lettres attribuées aux modalités après les comparaisons multiples. Deux modalités partageant au moins une lettre ne diffèrent pas significativement.

Symboles statistiques

Symbole	Définition
α	Seuil de significativité fixé avant l'analyse statistique. Dans cette étude, α = 0,05.
p	Valeur de *p* utilisée pour évaluer la compatibilité des résultats avec l'hypothèse nulle.
χ^2	Statistique du test du khi-deux.
F	Statistique du test de Fisher.
IC 95 %	Intervalle de confiance à 95 % associé à une estimation.
n	Nombre d'observations ou effectif analysé.
%	Pourcentage.

Unités

Unité	Définition
m	Mètre.
cm	Centimètre.
cL	Centilitre.
mL	Millilitre.
L	Litre.
ha	Hectare.
mL/L	Millilitres de produit par litre de solution.
L/ha	Litres de produit ou de bouillie appliqués par hectare.
°C	Degré Celsius.

GLOSSAIRE

Terme	Définition
Agroécosystème	Écosystème transformé et géré par l'être humain dans un objectif de production agricole.
Attract-and-kill	Stratégie consistant à attirer un ravageur vers un dispositif dans lequel il est capturé ou éliminé.

Azadirachtine	Substance naturelle extraite des graines de neem, connue pour ses propriétés insecticides et ses effets sur le comportement et le développement des insectes.
Bioagresseur	Organisme susceptible de provoquer des dégâts sur une culture, comme un ravageur, un agent pathogène ou une adventice.
Biocontrôle	Ensemble de méthodes de protection des cultures reposant sur des organismes vivants, des substances naturelles ou des médiateurs chimiques.
Biosolution	Produit ou méthode d'origine biologique ou naturelle utilisé pour protéger ou stimuler les cultures.
Biostimulation	Stimulation des processus naturels de la plante afin d'améliorer sa nutrition, sa croissance ou sa résistance aux stress.
Conidie	Spore asexuée produite par certains champignons et assurant leur dissémination.
Formulation blanche	Formulation contenant les mêmes coformulants que le produit testé, mais dépourvue de matière active.
Hotspot climatique	Région particulièrement exposée aux effets du changement climatique.
Humectation	Période durant laquelle la surface d'un organe végétal reste humide, ce qui peut favoriser la germination des spores et l'infection.
Incidence	Proportion d'individus ou de fruits présentant la maladie ou les dégâts étudiés.
Inoculum	Ensemble des éléments d'un agent pathogène capables de provoquer une nouvelle contamination.
Living Lab	Dispositif d'innovation associant chercheurs, professionnels et utilisateurs dans des conditions réelles.
Matière active	Substance d'un produit responsable de l'effet biologique recherché contre le bioagresseur.
Métabolite secondaire	Molécule produite par un organisme sans intervenir directement dans sa croissance, mais pouvant jouer un rôle de défense ou de communication.
Moniliose	Maladie fongique provoquée par des champignons du genre *Monilinia*, responsable notamment de pourritures brunes sur les fruits à noyau.
Mycélium	Ensemble des filaments constituant la partie végétative d'un champignon.

Ovipositeur	Organe utilisé par la femelle d'un insecte pour déposer ses œufs. Celui de *Drosophila suzukii* est denté et lui permet de perforer les fruits sains.
Pathosystème	Ensemble formé par un bioagresseur, sa plante hôte et les conditions environnementales déterminant leur interaction.
Pentatomide	Insecte appartenant à la famille des Pentatomidae, qui comprend notamment la punaise diabolique.
Phénologie	Étude de l'apparition des différents stades biologiques en fonction des saisons et des conditions climatiques.
Phéromone d'agrégation	Signal chimique attirant plusieurs individus d'une même espèce vers une zone déterminée.
Phéromone sexuelle	Signal chimique intervenant dans la recherche et l'attraction d'un partenaire reproducteur.
Phytophage	Organisme qui se nourrit de tissus ou de substances produits par les végétaux.
Phytotoxicité	Ensemble des effets indésirables provoqués par un produit sur la plante traitée.
Polyphage	Qualifie un organisme capable de se nourrir sur un grand nombre d'espèces végétales.
Protection intégrée	Stratégie associant plusieurs méthodes de lutte complémentaires tout en privilégiant les solutions présentant le moins de risques pour l'environnement.
Prophylaxie	Ensemble des mesures préventives destinées à limiter l'apparition ou la propagation d'un bioagresseur.
Push-pull	Stratégie associant un élément répulsif éloignant le ravageur de la culture et un élément attractif l'attirant vers une zone piège.
Sévérité	Niveau d'intensité ou de gravité des symptômes ou des dégâts observés.
Sporulation	Processus de production et de libération des spores par un champignon.
Tensioactif	Substance réduisant la tension superficielle d'un liquide et favorisant son étalement ou, dans un piège, l'immersion des insectes capturés.
Véraison	Stade marquant le début de la maturation du fruit, généralement accompagné d'un changement de couleur et de composition.

SOMMAIRE

Remerciements..... 2
INTRODUCTION..... 11
Drosophila suzukii..... 13
Halyomorpha halys, la punaise diabolique..... 16
Monilinia fructicola..... 18
1. MATÉRIEL ET MÉTHODES..... 20
1.1. Drosophila suzukii sur cerisier..... 20
1.2. Halyomorpha halys en culture d'aubergine sous abri..... 23
1.3. Monilinia fructicola sur nectarine..... 26
2. RÉSULTATS..... 28
2.1. Drosophila suzukii..... 28
2.2. Halyomorpha halys..... 34
3. DISCUSSION..... 36
3.1. Drosophila suzukii : efficacité et seuil agronomique..... 36
3.2. Halyomorpha halys : un essai non concluant faute de pression..... 37
3.3. Monilinia fructicola : effet du traitement et hétérogénéité spatiale..... 37
3.4. Enseignements transversaux..... 38
CONCLUSION GÉNÉRALE..... 38
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 39
RÉSUMÉ..... 41
CONCLUSION PERSONNELLE..... 41

INTRODUCTION

La protection des cultures constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour l'agriculture mondiale. Les pertes liées aux ravageurs, maladies et adventices sont estimées entre 20 et 40 % de la production agricole annuelle, malgré les moyens de lutte existants (Oerke, 2006 ; FAO, 2021). Dans un contexte de croissance démographique et de changement climatique, la nécessité de produire davantage tout en limitant les impacts environnementaux impose une évolution profonde des systèmes agricoles (IPCC, 2021).

À l'échelle mondiale, l'intensification des échanges commerciaux et des transports contribue fortement à la dispersion d'espèces exotiques envahissantes, favorisant l'émergence de nouveaux bioagresseurs dans les agroécosystèmes (Bebber et al., 2014 ; IPPC, 2021). Ces introductions sont d'autant plus problématiques que les systèmes agricoles actuels présentent parfois une faible résilience écologique, facilitant l'installation et la prolifération de ces organismes en dehors de leur aire d'origine.

À l'échelle européenne, les régions méditerranéennes sont particulièrement exposées à ces dynamiques. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat souligne que le bassin méditerranéen constitue un « **hotspot** » du changement climatique, caractérisé par une augmentation des températures, une diminution de la disponibilité en eau et une intensification des épisodes extrêmes (IPCC, 2021). Ces évolutions affectent directement les systèmes agricoles, en modifiant la phénologie des cultures, la dynamique des bioagresseurs et la stabilité des agroécosystèmes.

Dans ce contexte, l'espace SUDOE* (Sud-Ouest européen), défini dans le cadre du programme de coopération territoriale Interreg SUDOE, regroupe le sud-ouest de la France, l'Espagne et le Portugal. Cet espace présente une forte cohérence agroclimatique malgré sa diversité géographique. Il est caractérisé par un climat méditerranéen à influence océanique, marqué par des sécheresses récurrentes, une forte variabilité interannuelle des conditions climatiques et une pression croissante des contraintes abiotiques et biotiques.

Les systèmes agricoles dominants (viticulture, arboriculture fruitière, maraîchage et oléiculture) y occupent une place centrale et sont particulièrement sensibles à la dégradation des sols, au stress hydrique et à l'augmentation de la pression des bioagresseurs. Cette situation engendre une dépendance importante aux intrants phytosanitaires, tout en soulevant des enjeux de durabilité environnementale et économique (Geiger et al., 2010 ; Malaj et al., 2014).

C'est dans ce contexte qu'a été développé le projet européen BIOSOLUDOE*, financé par le programme Interreg SUDOE. Ce projet vise à concevoir et déployer des Stratégies de Protection Intégrée des cultures fondées sur l'usage de biosolutions, afin de tendre vers une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement. Il répond à un constat partagé sur l'espace SUDOE : situé aux avant-postes du changement climatique en Europe, ce territoire subit une pression accrue des ravageurs, à laquelle la réponse conventionnelle par les produits phytosanitaires de synthèse se heurte à des problématiques d'impact sur l'environnement et la santé humaine. Les biosolutions et les principes de protection intégrée constituent des alternatives prometteuses, mais demeurent encore peu utilisées, faute de références, de démonstrations et de sensibilisation auprès des agriculteurs. L'échange d'expériences et le partage de connaissances à l'échelle du SUDOE apparaissent dès lors particulièrement pertinents, compte tenu des problématiques et des cultures communes à cette zone géographique.

Pour répondre à ces enjeux, le projet s'appuie sur un réseau de cinq living-labs (LL*) répartis entre la France (×2), l'Espagne (×2) et le Portugal (×1), au sein desquels les stratégies sont conçues dans une approche multi-acteurs puis déployées en conditions opérationnelles. Les travaux portent sur deux à trois pathosystèmes prioritaires par living-lab, en arboriculture et en maraîchage, secteurs où les marges de progrès sont jugées les plus importantes. Cette démarche s'accompagne d'activités partagées de formation et de sensibilisation des agriculteurs, mobilisant des outils pédagogiques numériques spécifiques, ainsi que de l'élaboration de recommandations pratiques à destination des politiques publiques régionales.

Le projet rassemble dix partenaires représentant six régions de l'espace SUDOE, sous la coordination du bénéficiaire principal Agri Sud-Ouest Innovation. Il réunit des acteurs aux compétences complémentaires, couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur de la protection des plantes. Les partenaires expérimentaux assurent la conduite des essais : l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD) — via le Centre de Recherches Insulaires et Observatoire de l'Environnement —, Invenio, la Fundación para las Tecnologías Auxiliares de la Agricultura, l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA*) et le Centro Operativo Tecnológico Hortofrutícola Nacional (CENTRO de Competências). Les activités de communication et de pédagogie sont portées notamment par My Training Box et IBMA España. Enfin, des acteurs institutionnels assurent la gouvernance et l'ancrage territorial du projet, parmi lesquels la Generalitat de Catalunya (Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) et la Diputación Provincial de Huelva (Servicio de Desarrollo Local y Fondos Europeos). Cette démarche unique, fondée sur la coopération transnationale, a vocation à servir d'exemple pour d'autres régions de l'espace SUDOE et, plus largement, en Europe.

En France, l'Université de Perpignan Via Domitia, à travers la chaire AGROLAB BIOMED, est l'un des partenaires expérimentaux du projet. Cette chaire constitue une structure de recherche partenariale dédiée à l'agroécologie méditerranéenne et à la biologie des sols, associant recherche académique et acteurs du monde socio-économique. Elle vise à développer des connaissances et des solutions innovantes autour des interactions plantes–sol–microorganismes, du fonctionnement des agroécosystèmes et du développement de biosolutions (biocontrôle, biostimulation).

Une dimension essentielle de cette chaire repose sur son ancrage territorial. Les problématiques étudiées sont directement issues des besoins exprimés par les acteurs agricoles du territoire du Roussillon, notamment les agriculteurs et les filières locales. Ces retours de terrain mettent en évidence des enjeux majeurs tels que la raréfaction de la ressource en eau, la dégradation de la qualité des sols, la perte de biodiversité fonctionnelle et l'augmentation de la pression des bioagresseurs dans les systèmes viticoles et arboricoles. Cette démarche de co-construction permet d'orienter les recherches vers des problématiques concrètes et directement opérationnelles.

Dans le cadre du projet BIOSOLUDOE, la chaire AGROLAB BIOMED conduit quatre essais, réalisés sur deux campagnes expérimentales consécutives et sur les mêmes dispositifs, afin de limiter l'influence des variations climatiques interannuelles et d'évaluer la stabilité et la reproductibilité des stratégies testées dans des conditions agronomiques réalistes. Parmi ces essais, trois sont suivis et analysés dans le présent rapport, l'essai consacré à l'abricotier n'étant pas traité ici. L'intégration du projet au sein de la chaire permet ainsi de renforcer le lien entre recherche, expérimentation de terrain et transfert vers les acteurs agricoles, tout en assurant une continuité entre les échelles locale (Roussillon) et européenne (SUDOE).

Enfin, ce rapport s'inscrit dans ce dispositif de recherche et porte sur l'étude de trois bioagresseurs majeurs : *Drosophila suzukii*, *Halyomorpha halys* et *Monilinia fructicola*. Ces organismes présentent des modes de développement et des impacts agronomiques distincts, mais partagent des problématiques communes liées à leur forte capacité de dispersion, à leur adaptation aux conditions environnementales et à la limitation des solutions phytosanitaires conventionnelles (Cini et al., 2012 ; Leskey & Nielsen, 2018).

Les stratégies évaluées dans ce travail reposent sur des approches de biocontrôle et de protection intégrée, incluant l'utilisation de dispositifs de piégeage, de médiateurs chimiques (attractifs et répulsifs) et de substances naturelles issues d'extraits végétaux. L'objectif est d'évaluer leur efficacité sur la dynamique des populations et les niveaux de dégâts observés, afin de contribuer au développement de méthodes de protection des cultures plus durables, compatibles avec les exigences de l'agroécologie et adaptées aux systèmes agricoles méditerranéens.

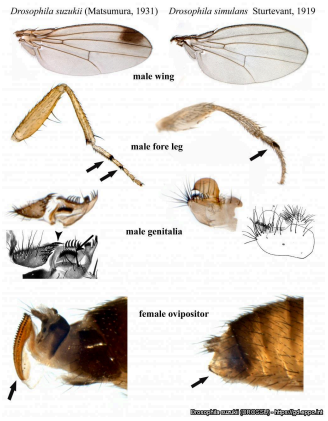
Drosophila suzukii



Parmi les bioagresseurs étudiés, *Drosophila suzukii* (Figure 1) occupe une place centrale en raison de son impact majeur sur les productions fruitières à noyau et à petits fruits, notamment le cerisier. Cette espèce invasive, originaire d'Asie du Sud-Est, s'est progressivement implantée en Europe au début des années 2000 avant de se diffuser rapidement dans l'ensemble des zones de production fruitière (Cini et al., 2012 ; Asplen et al., 2015).

Figure 1 : Adulte de Drosophila suzukii (Source : Stolon Bio, 2014).

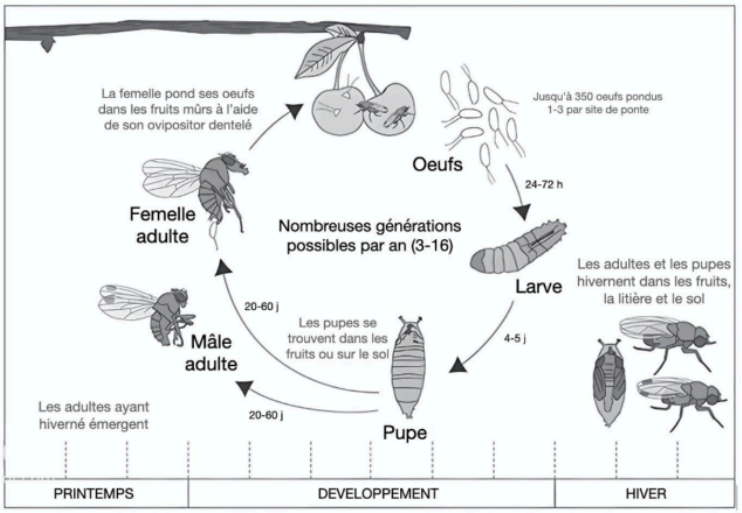
Son succès d'installation est lié à sa grande plasticité écologique, à son cycle de développement rapide et à l'absence initiale de régulation biologique efficace dans les nouveaux territoires colonisés (Asplen et al., 2015).



La particularité biologique de *Drosophila suzukii* réside dans son mode de ponte, qui la distingue fortement des drosophiles saprophages classiques. La femelle possède un **ovipositeur** fortement sclérifié (Figure 2), muni de structures dentées lui permettant de perforer l'épiderme de fruits sains en cours de maturation, ce qui n'est pas réalisable pour les autres drosophiles qui n'ont pas cet ovipositeur dentelé (Figure 2). (Walsh et al., 2011).

Contrairement à la plupart des espèces du genre Drosophila, qui se développent sur des substrats en décomposition, cette capacité lui permet d'exploiter des fruits commercialement exploitables, ce qui augmente considérablement son impact économique (Lee et al., 2011 ; EPPO, 2024).

Figure 2 : Différences morphologiques caractéristiques entre Drosophila suzukii et D. simulans. (Source : Eppo)



Une fois la ponte réalisée, les œufs éclosent rapidement et donnent naissance à des larves qui se développent directement à l'intérieur de la pulpe. Ce développement larvaire (Figure 3, Figure 4) entraîne une dégradation progressive des tissus (Figure 5) , provoquant une altération de la structure cellulaire, une perte de fermeté et un ramollissement du fruit (Dreves & Langellotto, 2016).

Figure 3 : Cycle biologique de Drosophila suzukii (Source : Deconninck G. & Simoes-Berton B.,2023, Passion-Entomologie).



Le cycle de vie de *Drosophila suzukii* comporte trois phases principales : la reproduction au printemps, le développement larvaire durant la période estivale et la survie hivernale des adultes et des pupes. Au printemps, les adultes émergent et les femelles pondent leurs œufs dans des fruits allant du stade pré-mûr au stade mûr grâce à leur ovipositeur dentelé. Les œufs éclosent après 24 à 72 heures et les larves se développent dans les fruits, provoquant leur dégradation et favorisant l'apparition de pourritures. Plusieurs générations peuvent ainsi se succéder au cours de l'année, avant l'entrée en hivernation des individus.

Figure 4 : Photo d'une cerise ouverte contenant un vers de D. suzukii qui est entouré en bleu (Source personnelle)



Figure 5 : Symptômes liés à la ponte de *D. suzukii*

A gauche : Symptômes d'infestation par *Drosophila suzukii* sur cerise avec différents stades de dégradation d'une cerise (Source : Forum phyto, La santé des plantes, 2014)
A droite : Cerise sur l'arbre présentant une dégradation avancée liée à une infestation probable de *Drosophila suzukii* (Source personnelle)

Très rapidement, ces altérations internes s'accompagnent de phénomènes de fermentation secondaire liés à l'activité de micro-organismes tels que des levures et des bactéries.

L'ensemble de ces processus conduit à une dégradation rapide de la qualité des fruits (Figure 5), les rendant impropres à la commercialisation (Lee et al., 2011).

Les cerises constituent une culture particulièrement sensible à ce ravageur. Leur épiderme fin, leur teneur élevée en sucres et leur période de maturation estivale créent des conditions particulièrement favorables à l'attractivité et au développement de l'espèce (Asplen et al., 2015).

De plus, les conditions climatiques chaudes et parfois instables des régions méditerranéennes permettent le développement de plusieurs générations successives au cours de la saison, entraînant une dynamique populationnelle souvent exponentielle en période de production (Tochen et al., 2014).

La gestion de *Drosophila suzukii* représente donc un défi majeur pour les producteurs. Les stratégies de lutte conventionnelle montrent des limites importantes, notamment en raison de la proximité de la récolte qui restreint l'utilisation des produits phytosanitaires, mais également en raison de la capacité de recolonisation rapide des parcelles après traitement (Isaacs et al., 2018). Dans ce contexte, le développement de stratégies alternatives intégrées devient indispensable (Asplen et al., 2015).

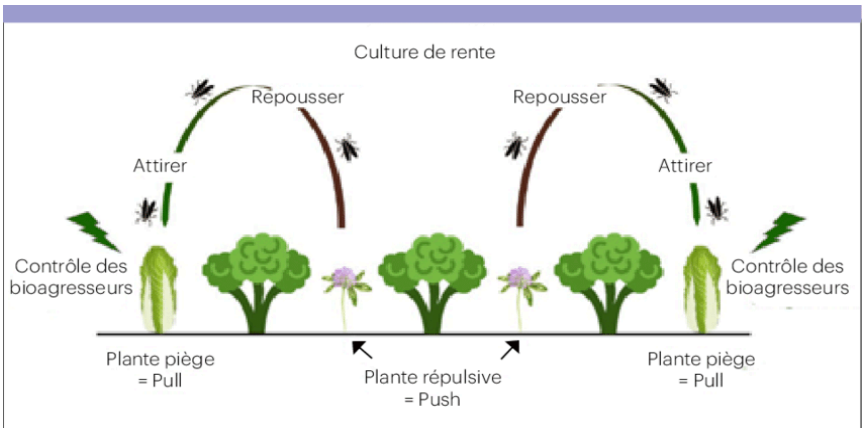


Figure 6 : Schéma explicatif de la stratégie push-pull (adaptée de Björkman et Meadow, 2020 ; Lamy et al., 2018)

La méthode « push-pull » associe des plantes répulsives (« push ») et des plantes pièges (« pull ») pour contrôler les bioagresseurs. Les plantes répulsives éloignent les ravageurs de la culture de rente, tandis que les plantes pièges les attirent en périphérie afin de limiter les dégâts et favoriser une lutte biologique .

C'est dans cette optique qu'a été mise en place une stratégie expérimentale reposant sur une approche de type push-pull (Figure 6) associant plusieurs leviers complémentaires (Cook et al., 2007). Cette stratégie vise à modifier le comportement du ravageur en agissant à la fois sur son attraction et sa distribution spatiale au sein du verger. D'une part, des dispositifs de piégeage attractifs sont utilisés afin de concentrer les individus dans des zones spécifiques où ils peuvent être capturés plus efficacement. D'autre part, une substance d'origine végétale, l'azadirachtine, a été intégrée au dispositif expérimental.

L'azadirachtine est un métabolite secondaire extrait des graines de neem (Azadirachta indica), un arbre originaire d'Inde largement étudié pour ses propriétés insecticides naturelles (Isman, 2006). Dans le cadre de cette étude, cette substance a été utilisée sous forme de formulation commerciale (NeemAzal®-T/S), fournie dans le cadre d'une collaboration avec Andermatt Biocontrol. Bien que cette molécule soit connue pour ses effets insecticides directs, notamment par perturbation de la

croissance et du développement des insectes (Mordue & Nisbet, 2000), son utilisation dans cet essai a principalement été orientée vers son potentiel comportemental.

En effet, l'objectif n'était pas uniquement d'obtenir un effet létal direct, mais plutôt d'évaluer sa capacité à modifier le comportement des adultes, notamment en influençant leur activité d'alimentation, leur comportement de ponte et leur attraction vers les fruits (Forster et al., 2014). L'hypothèse sous-jacente est que des modifications comportementales, même subtiles, peuvent contribuer à réduire la pression exercée sur la culture lorsqu'elles sont combinées à des dispositifs de piégeage efficaces.

La stratégie mise en place vise donc à créer un système intégré où les individus sont à la fois attirés vers des dispositifs de capture et potentiellement détournés des fruits par l'effet de la substance appliquée. Cette approche permet d'explorer des alternatives aux stratégies conventionnelles, en s'inscrivant dans une logique de réduction des intrants chimiques et de renforcement des méthodes de biocontrôle (Cook et al., 2007). L'expérimentation conduite sur le cerisier a ainsi pour objectif d'évaluer l'efficacité de cette combinaison entre piégeage attractif et application d'azadirachtine, en mesurant à la fois la dynamique des populations dans les pièges et l'impact final sur l'état sanitaire des fruits à la récolte.

Halyomorpha halys, la punaise diabolique

Si *Drosophila suzukii* illustre la problématique des ravageurs des petits fruits et des fruits à noyau, un second insecte, polyphage celui-ci, pose des difficultés à une échelle bien plus large. Il s'agit d'*Halyomorpha halys* (Figure 7), communément appelée punaise diabolique. Cette espèce invasive originaire d'Asie de l'Est s'est progressivement implantée en Europe et constitue aujourd'hui une contrainte importante pour de nombreux systèmes agricoles, notamment en maraîchage et en arboriculture (Leskey & Nielsen, 2018 ; EPPO, 2024).

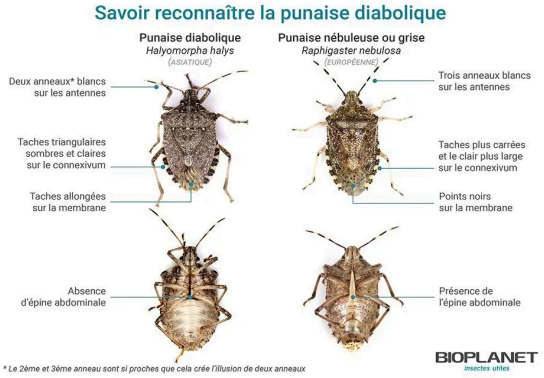
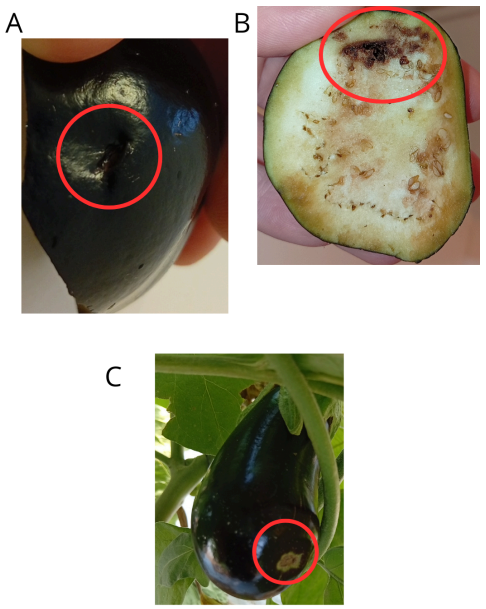


Figure 7 : Adulte d'Halyomorpha halys (source : Bioplanet beneficial).

Son caractère polyphage lui permet d'exploiter une très grande diversité de plantes hôtes, incluant des cultures fruitières et maraîchères telles que la tomate, le poivron, la pomme, la poire ou encore l'aubergine (Nielsen et al., 2017). Cette absence de spécialisation alimentaire constitue un avantage écologique majeur, lui permettant de maintenir des populations élevées tout au long de l'année en fonction des ressources disponibles.

Le mode de nutrition d'*Halyomorpha halys* repose sur un appareil buccal de type piqueur-suceur, qui lui permet d'insérer ses stylets dans les tissus végétaux afin d'en extraire les contenus cellulaires



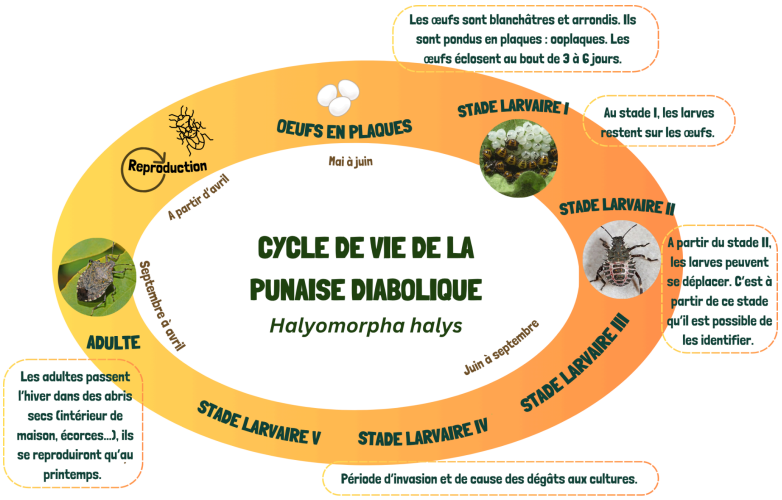
(Rice et al., 2014). Cette activité provoque des altérations physiologiques importantes au niveau des fruits, notamment des déformations, des zones liégeuses internes, des nécroses localisées et une dégradation globale de la qualité commerciale (Figure 8).

Son cycle biologique (Figure 9) comprend un stade œuf, cinq stades nymphaux (juvéniles) successifs, puis le stade adulte, avec une à deux générations par an selon les conditions climatiques (Leskey & Nielsen, 2018).

Figure 8 : Ensemble de photos des dégâts possibles sur aubergine par H. halys

A : Zone de piqûre suspectée sur la surface externe d'un fruit d'aubergine, entourée en rouge.
B : Observation de la face interne du fruit au niveau de la zone correspondante, présentant une coloration brunâtre des tissus, pouvant témoigner d'une réaction consécutive à la piqûre.
C : Présence d'une zone liégeuse sur la surface du fruit, entourée en rouge, pouvant être associée à une potentielle piqûre de *H. halys*.

À l'automne, les adultes recherchent des abris pour hiverner et pénètrent fréquemment dans les habitations ou autres bâtiments, où ils peuvent former d'importants regroupements.



L'un des aspects les plus problématiques de ce ravageur réside dans le fait que les dégâts ne sont pas toujours visibles en surface, ce qui complique fortement leur détection précoce et augmente le risque de pertes lors de la commercialisation (Leskey & Nielsen, 2018).

En culture d'aubergine sous abri, ces attaques peuvent engendrer des pertes économiques significatives.

Figure 9 : Cycle de vie d'Halyomorpha halys (source : Jardiner autrement).

Après l'hivernation, les adultes reprennent leur activité au printemps, s'accouplent et pondent leurs œufs. Le développement se poursuit par cinq stades larvaires (L1 à L5) avant l'émergence de nouveaux adultes. Les nymphes à partir du stade L2 et les adultes sont les principaux stades nuisibles, responsables des dégâts sur les fruits par leurs piqûres d'alimentation. En automne, les adultes rejoignent des sites d'hivernation afin de survivre à la période froide.

Les systèmes sous serre ou tunnel, bien qu'ils offrent une protection contre certaines contraintes climatiques, peuvent également favoriser le développement des populations de ravageurs en limitant les régulations naturelles et en créant des conditions stables propices à leur reproduction (Nielsen et al., 2017).

De plus, la mobilité importante d'*H.halys* rend les stratégies de lutte conventionnelle souvent peu efficaces, les populations étant capables de recoloniser rapidement les parcelles après traitement.

Dans ce contexte, une stratégie de type attract-and-kill a été mise en place afin d'évaluer une approche alternative de gestion de ce ravageur (Leskey & Nielsen, 2018). Cette stratégie repose sur l'utilisation de signaux chimiques attractifs, en particulier des phéromones d'agrégation et des phéromones sexuelles spécifiques à l'espèce, afin de concentrer les individus dans des zones ciblées où ils peuvent être capturés plus efficacement. On s'attend à attirer plus de larves au stade L2 et L3 avec les phéromones d'agrégation et d'adultes avec les phéromones sexuelles, etant donnée que c'est les stades qui sont le plus agréé et que le stade L1 dure trop peu de temps, et que seule le stade adulte se reproduit. Les pièges utilisés dans cette étude sont des dispositifs commerciaux de type Diablex®, contenant des composés phéromonaux d'agrégation notamment le (E,E,Z)-2,4,6-décatriénoate de méthyle et des composés phéromonaux sexuels.

En complément de ce dispositif de piégeage, l'expérimentation intègre également une dimension agroécologique par l'utilisation de la luzerne (Medicago sativa). Cette plante a été introduite dans certaines modalités expérimentales dans une logique de diversification fonctionnelle de l'environnement cultural (Hajek & Eilenberg, 2018). Elle est supposée agir comme élément attractif secondaire et modifier la structure de l'habitat, influençant ainsi les déplacements et la distribution spatiale des punaises au sein des tunnels. L'association de la luzerne et des pièges vise donc à créer un système combiné où les ravageurs sont à la fois attirés hors de la culture principale et capturés dans des zones spécifiques.

Monilinia fructicola



Enfin, le troisième bioagresseur étudié n'est pas un insecte mais un champignon phytopathogène : *Monilinia fructicola*, agent responsable de la moniliose des fruits à noyau (Figure 9) , notamment chez le pêcher et le nectarinier (Ogawa et al., 1995 ; EPPO, 2024). Ce pathogène constitue une contrainte majeure en arboriculture fruitière en raison de sa capacité à provoquer des pertes importantes aussi bien avant qu'après récolte.

Figure 10 : Pêche présentant des symptômes de moniliose (Source : BASF Agricultural Solutions France, « Monilioses du pêcher : symptômes, traitement et solutions ») .

Le cycle biologique du pathogène repose sur la production de structures de conservation, notamment sur les fruits momifiés restés sur l'arbre ou au sol, ainsi que sur les rameaux infectés, qui constituent des réservoirs d'inoculum pour les saisons suivantes (Byrde & Willetts, 1977 ; Ogawa et al., 1995).

Dans des conditions environnementales favorables, notamment en présence d'humidité élevée et de températures modérées à chaudes, le champignon produit des spores (Figure 10) qui sont disséminées par le vent, les éclaboussures de pluie ou certains insectes.

Ces spores peuvent ensuite coloniser les fruits sains, en particulier lorsqu'ils présentent des blessures ou des microfissures facilitant la pénétration du pathogène. Une fois installé, le champignon se développe rapidement en dégradant les tissus par l'action d'enzymes hydrolytiques, entraînant un ramollissement, une pourriture rapide et l'apparition de fructifications caractéristiques (Byrde & Willetts, 1977).

La gestion de cette maladie repose traditionnellement sur l'utilisation de fongicides chimiques ainsi que sur des mesures prophylactiques telles que l'élimination des fruits contaminés et la réduction des sources d'inoculum dans le verger (EPPO, 2024).

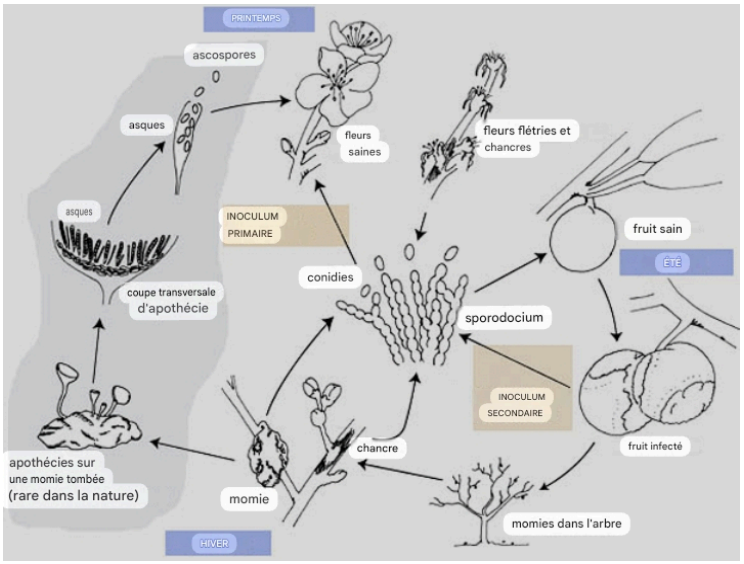


Figure 11 : Image traduite du cycle de développement de Monilinia fructicola, agent responsable de la moniliose des fruits à noyau (Source : American Phytopathological Society (APS), APS Education Center.).

Monilinia fructicola hiverne dans les fruits momifiés et les chancres des rameaux. Au printemps, des conditions favorables permettent la production de conidies constituant l'inoculum primaire, qui infecte les fleurs et les jeunes rameaux. Durant l'été, le champignon colonise les fruits en maturation, provoquant des pourritures brunes et la formation de nouvelles sporulations responsables des contaminations secondaires. Les fruits momifiés assurent ensuite la conservation du pathogène jusqu'au printemps suivant.

Toutefois, les restrictions croissantes concernant les substances phytosanitaires renforcent la nécessité de développer des alternatives plus durables et respectueuses de l'environnement.

Dans cette optique, une biosolution d'origine végétale, Inula Green®, a été évaluée dans cette étude. Cette formulation est issue d'extraits de Dittrichia viscosa, une plante méditerranéenne connue pour sa richesse en métabolites secondaires (Banchio et al., 2017). Ces composés, notamment les flavonoïdes, les terpènes, la quercétine et l'acide gallique, présentent des propriétés antifongiques potentielles. Leur mode d'action peut être multiple, incluant l'inhibition de la germination des spores, la perturbation de la croissance du mycélium et l'altération des membranes cellulaires du champignon (Banchio et al., 2017). L'intérêt de ce type de solution réside également dans son action multi-site, limitant ainsi le risque d'apparition de résistances.

L'ensemble de cette étude s'inscrit donc dans une démarche globale visant à évaluer des stratégies alternatives de protection des cultures dans trois systèmes agricoles distincts. L'objectif est de comparer l'efficacité de différentes approches de biocontrôle, de mesurer leur impact sur les bioagresseurs ciblés et sur la qualité des productions, et de contribuer à l'identification de solutions plus durables dans une logique de protection intégrée des cultures

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Drosophila suzukii sur cerisier

1.1.a. Description de la parcelle et conditions expérimentales

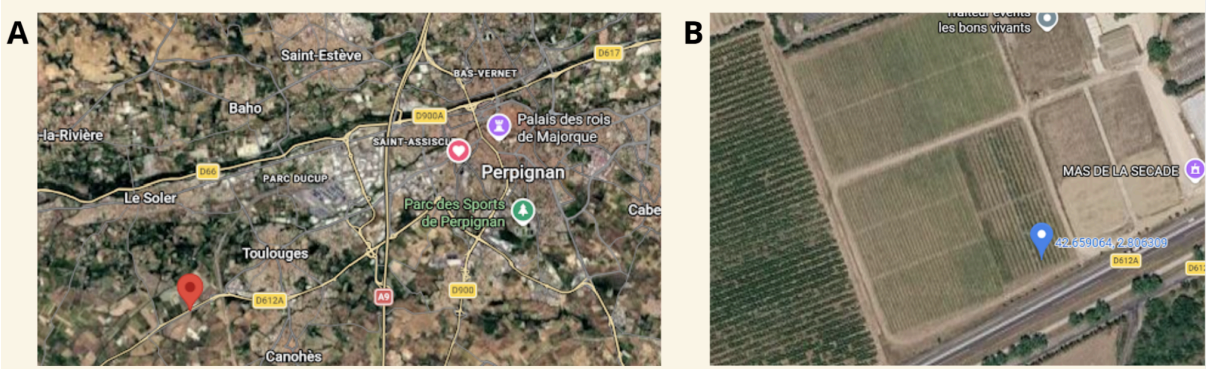


Figure 12 : Localisation géographique du site expérimental d'ANTEDIS où l'étude a été réalisée.
(A) Vue générale situant le site au sud-ouest de Perpignan, indiqué par le marqueur rouge.
(B) Vue rapprochée indiquant l'emplacement précis du site expérimental, signalé par le marqueur bleu. *(Source : Google Maps.)*



L'expérimentation s'est déroulée du 8 avril au 26 mai, récolte des cerises sur le site expérimental d'ANTEDIS (Point gps : 42°39'33.1"N 2°48'24.1"E), situé à Toulouges, dans le département des Pyrénées-Orientales, en région Occitanie (France) (Figure 11 et 12).

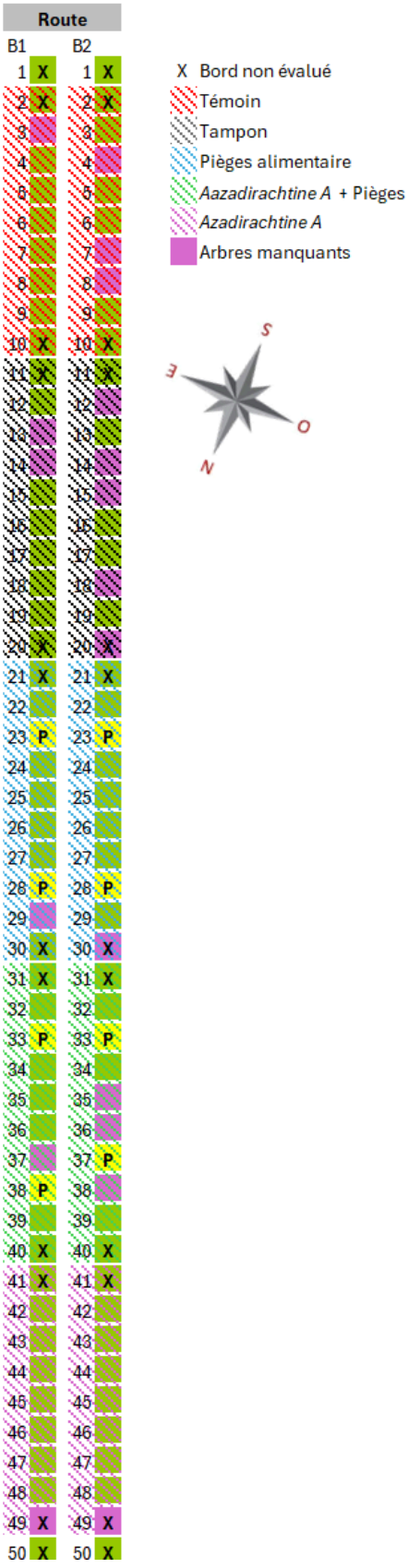
Le dispositif comprend deux rangs cinquante arbres chacun, avec un espacement de 3 m* sur le rang et un espacement de 2m entre les arbres (Figure 13).

Figure 13 : Photo du verger de cerisier d'ANTEDIS à Toulouges (Source personnelle).

1.1.b. Matériel végétal et conduite culturale

Le verger expérimental est composé de cerisiers (*Prunus avium* L.) de la variété Royal Edie, variété précoce connue pour sa sensibilité aux attaques de *Drosophila suzukii* lors de la phase de maturation des fruits. Cette sensibilité en fait un modèle pertinent pour l'évaluation de stratégies de lutte.

Par ailleurs, le verger est conduit avec un système palissée, et à été implanté il y 7 ans.



1.1.c Dispositif expérimental et modalités

Le dispositif en blocs compare quatre stratégies de gestion de *Drosophila suzukii* :

M0 : Témoin sans intervention

M1 : Piégeage attract-and-kill seul

M2 : Combinaison piégeage + traitement à base de NeemAzal®

M3 : Traitement à base de NeemAzal® seul

La Figure 14 présente la répartition des modalités, des pièges et des arbres manquants. Ce plan permet de comparer les traitements dans des conditions homogènes.

Chaque modalité comprend quatre répétitions indépendantes de six arbres. Les arbres placés aux extrémités sont exclus afin de limiter les effets de bord et les interactions entre modalités.

1.1.d. Piégeage a base d'attractif alimentaire

Le dispositif de piégeage (Figure 15) repose sur l'utilisation de pièges commerciaux Droso Pro® fournit par ANDERMATT, spécifiquement conçus pour la capture de *Drosophila suzukii*.

Chaque piège reçoit environ 10 cL d'attractif, jusqu'au repère. Le mélange contient un tiers d'eau, un tiers de vinaigre de cidre et un tiers de vin rouge. Au moins deux cuillères à café de sirop de grenadine et quelques gouttes de liquide vaisselle sont ajoutées. Le sirop renforce l'attractivité. Le liquide vaisselle empêche les insectes de s'échapper.

Dans les modalités M1 et M2, un piège est placé au centre de chaque répétition, entre les troisième et quatrième arbres, à hauteur d'homme. Cette position standardise la hauteur et l'exposition.

Les pièges ont été installés le 8 avril 2026. Trois relevés ont été réalisés toutes les deux semaines jusqu'à la récolte du 26 mai 2026.

Figure 14 : Plan expérimentales avec la parcelle ainsi que les modalité les disposition des pièges et les arbres manquants (Source personnelle)



1.1.e. Mise en œuvre des traitements

Le second levier est le NeemAzal®-T/S, fourni par ANDERMATT. Cette formulation contient de l'azadirachtine A extraite des graines d'*Azadirachta indica*. Elle est appliquée à 2 mL/L d'eau.

Le dispositif a été installé environ 45 jours avant la récolte, au début de la maturation. À ce stade, la hausse des sucres, l'assouplissement et la coloration rouge rendent les cerises plus attractives pour *Drosophila suzukii*.

Figure 15 : Dispositif de piégeage ANDERMATT pour la capture de Drosophila suzukii rempli avec le liquide attractif (Source personnelle).

Le NeemAzal® et l'eau ont été appliqués trois fois : à J-21, J-14 et J-7 avant la récolte. Ce calendrier maintient l'exposition des arbres traités.

Ce fractionnement maintient une couverture contre *Drosophila suzukii*. Les modalités M2 et M3 reçoivent 600 L/ha de bouillie, pulvérisée uniformément, avec 2 mL de NeemAzal® par litre d'eau. Un volume d'eau identique est appliqué à M0.

1.1.f. Suivi des populations et échantillonnage des fruits

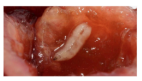
Critère	Cerise saine	Cerise troué	Cerise contenant une larve de *D. suzukii*	Cerise contenant une larve de *Rhagoletis cerasi*
Photo				
Couleur	-	-	Blanc translucide à crème	Blanc crème à légèrement jaunâtre
Longueur	-	-	3–4 mm	4–6 mm
Nombre par cerise	-	-	1 à plusieurs	Généralement 1
Comportement	-	-	Très active, se tortille rapidement lorsqu'on ouvre la cerise, peut sortir de la pulpe	Peu mobile, se déplace lentement dans la pulpe, reste souvent au centre du fruit

Tableau 1 : Les différentes catégories d'observation sur les fruits (Source personnelle)

Dans les modalités M1 et M2, un piège est installé au centre de chaque répétition. Les emplacements correspondent aux arbres n° 23, 28, 33 et 38. Dans le rang 1, le dernier emplacement est adapté en raison d'arbres morts ou manquants.

Les pièges sont relevés toutes les deux semaines afin de suivre l'évolution des populations.

Le 26 mai 2026, 50 fruits sont prélevés au hasard dans la zone centrale de chaque répétition. Cette position limite les effets de bord et améliore la représentativité.

Avec quatre répétitions, 200 fruits sont analysés par modalité, soit 800 fruits au total.

une ou plusieurs larves de *Drosophila suzukii* ; larves de *Rhagoletis cerasi*. Un trou sans larve peut indiquer que le cycle larvaire est terminé.

1.1.g. Analyses statistiques des résultats des pièges et fruits récolté

Les analyses sont réalisées sous R avec les packages lme4, glmmTMB, emmeans, car et DHARMa. Les captures sont analysées par un GLMM binomial négatif (nbinom2), adapté à la surdispersion. La modalité, la date, le rang et la position des pièges sont inclus comme effets explicatifs. Les effets sont testés par une analyse de type II (χ^2), au seuil de 5 %. Les diagnostics DHARMa vérifient la surdispersion, l'autocorrélation et la structure des résidus.

Les proportions de fruits endommagés sont analysées par GLMM binomial. Un modèle quasibinomial est utilisé en cas de convergence difficile ou de surdispersion. L'effet de la modalité est testé par analyse de déviance (χ^2 ou F), puis par comparaisons de Tukey avec emmeans. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques temporels, spatiaux et par modalité.

1.2. *Halyomorpha halys* en culture d'aubergine sous abri

1.2.a. Site et conditions expérimentales



Figure 16 : Localisation géographique du site expérimental de la SICA CENTREX où l'étude a été réalisée.

(A) Vue générale situant le site dans son environnement géographique, indiqué par le marqueur rouge.

(B) Vue rapprochée indiquant l'emplacement précis du site expérimental, signalé par le marqueur bleu. (Source : Google Maps.)

L'essai sur Halyomorpha halys a été mené au SICA Centrex, à Torreilles, dans les Pyrénées-Orientales (Figures 16 et 17). Il a débuté le 12 mai 2026 par la plantation des aubergines Black Pearl et le semis de la luzerne. Le suivi s'est poursuivi jusqu'à la récolte.

Le site comprend deux serres plastiques identiques de 15 m × 8,76 m. Sous abri, les températures sont généralement plus élevées et plus stables qu'en plein champ. La pluie et le vent y sont réduits. Ces conditions favorisent certains ravageurs et peuvent limiter l'action de leurs ennemis naturels.

Les deux premiers et les deux derniers plants de chaque rang sont exclus. Seuls les plants centraux sont observés afin de limiter les effets de bord.

1.2.b. Matériel végétal et conduite culturale

L'irrigation, la fertilisation, l'entretien et la taille suivent l'itinéraire technique du site. Aucun insecticide ciblant *Halyomorpha halys* n'est appliqué afin de ne pas interférer avec l'essai.

Chaque serre comprend cinq rangs de 22 plants, soit 110 plants. L'espacement est de 0,50 m sur le rang et de 1,46 m entre les rangs. Une zone de 2 m en bout de rang est exclue des observations.

La luzerne (*Medicago sativa L.*) est semée à la volée le 12 mai 2026, le long de la bordure sud de la serre expérimentale. La bordure opposée reste sans végétation afin de comparer les deux côtés.

1.2.c. Structure du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (Figure 17) repose sur la comparaison de deux serres conduites dans des conditions culturales identiques, mais différant par la présence d'une bande de luzerne et d'un dispositif de piégeage.

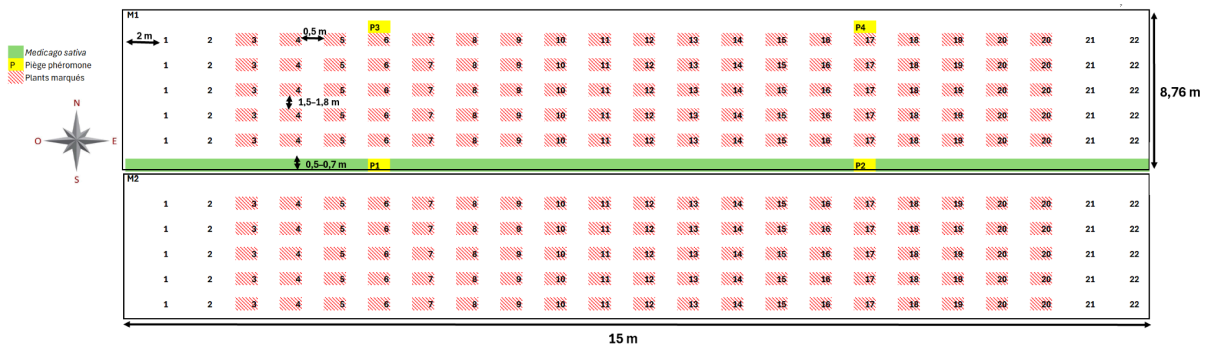


Figure 17 : Plan du dispositif de plantation des aubergines avec la luzerne et les pièges réalisé sur excel (Source personnelle)

1.2.d. Mise en place du dispositif de piégeage et attractifs utilisés

Le piégeage est installé uniquement dans le tunnel avec luzerne. Deux pièges Diablex®, fournis par Andermatt, associent des phéromones d'agrégation et sexuelles.

Les pièges sont installés le 18 juin 2026, lors de l'apparition des premiers fruits. Ils sont fixés aux structures, contre la paroi, à environ 30 cm du sol.

Un piège est placé de chaque côté du tunnel, à environ 5 m de l'entrée. Ces positions correspondent aux 6e et 17e plants. Elles couvrent la longueur de la culture et permettent de comparer le côté luzerne au côté non végétalisé.

Les pièges sont relevés chaque semaine. Les attractifs sont renouvelés toutes les deux semaines.

1.2.e. Mise en œuvre du dispositif

Une première notation est réalisée le 13 juin 2026, après la floraison. Elle sert à évaluer l'état des plants et à détecter *Halyomorpha halys*.

Une notation est ensuite effectuée à chaque récolte afin de suivre l'évolution des dégâts.

Chaque semaine, le nombre d'individus capturés et leur stade de développement, lorsqu'il est identifiable, sont notés. Ces données décrivent la dynamique saisonnière des populations.

À chaque récolte, chaque aubergine est inspectée. Les piqûres, déformations et altérations internes caractéristiques sont enregistrées.

Les fruits sont ensuite classés selon trois niveaux de sévérité :

Classe 1 : dégâts légers → quelques piqûres isolées, sans altération majeure du fruit

Classe 2 : dégâts modérés → piqûres multiples et zones liégeuses, avec une qualité visuelle dégradée

Classe 3 : dégâts sévères → déformations et altérations profondes rendant le fruit non commercialisable

Pour chaque date de récolte, plusieurs variables sont relevées à l'échelle de chaque plant :

Nombre total d'aubergines récoltées

Nombre d'aubergines touchées, toutes classes confondues

Nombre de fruits dans chaque classe de dégâts (1, 2 et 3)

Date de récolte

Position du plant dans la serre

Le pourcentage de fruits attaqués est calculé ainsi :

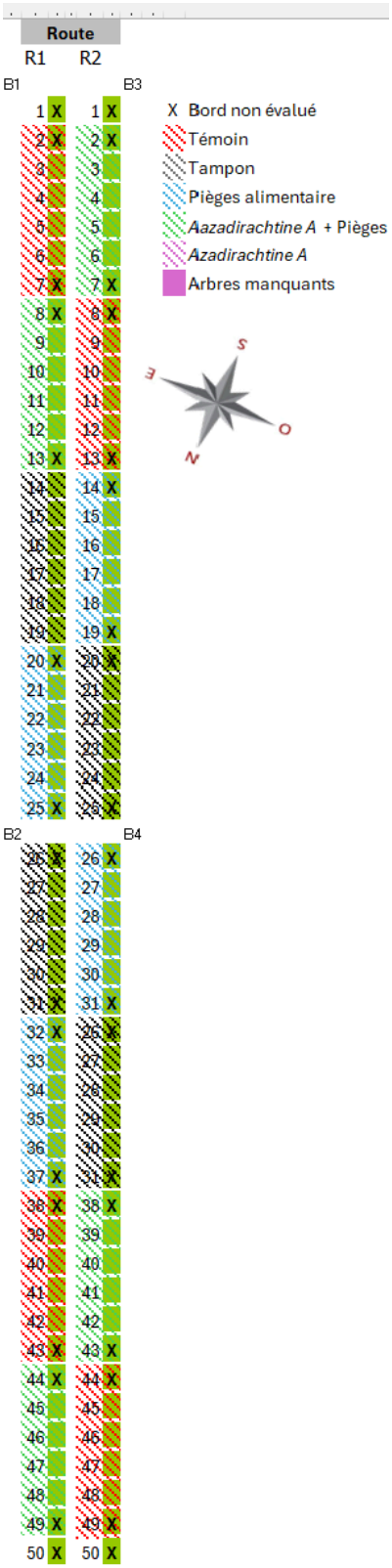
Fruits attaqués (%) = (Nombre de fruits touchés / Nombre total de fruits observés) × 100

Dans la serre expérimentale, la distance à la luzerne est aussi mesurée. Elle définit un gradient entre la bande végétalisée et les plants les plus éloignés. Cette variable ne s'applique pas à la serre témoin.

1.2.f. Analyses statistiques des résultats des pièges et des récoltes

Les analyses sont réalisées sous R avec les packages lme4, glmmTMB, emmeans, car et DHARMa. Les captures, surdispersées, sont analysées par GLMM binomial négatif (nbinom2). La modalité, la date, le rang et la distance à la luzerne sont inclus comme effets explicatifs. Les effets sont testés par analyse de déviance de type II (χ^2), au seuil de 5 %. Les diagnostics DHARMa portent sur la surdispersion, l'autocorrélation et les résidus.

Les proportions de fruits endommagés sont analysées par GLMM binomial, ou par modèle quasibinomial en cas de surdispersion. La sévérité est classée de 0 à 3. Les effets de la modalité et de la distance à la luzerne sont testés par analyse de déviance, puis par comparaisons de Tukey avec emmeans. Les résultats sont présentés par des graphiques temporels, spatiaux et des cartes de chaleur.



1.3. *Monilinia fructicola* sur nectarine

1.3.a. Sites d'expérimentation

L'essai sur *Monilinia fructicola* est conduit dans un verger de nectariniers d'ANTEDIS à Toulouges (42°39'33.1" N, 2°48'24.1" E), dans les Pyrénées-Orientales (Figures 19 et 20). Le site présente un climat méditerranéen, lumineux et chaud, avec une pluviométrie faible mais irrégulière.

1.3.b. Matériel végétal et conduite culturale

Le matériel végétal comprend des nectariniers de la variété Nectartic, implantés depuis sept ans et conduits en palissage.
Le verger comprend deux rangs de 50 arbres, espacés de 3 m sur le rang et de 2 m entre les rangs. Les arbres n° 1 et n° 50 de chaque rang sont exclus afin de limiter les effets de bord.

1.3.c. Dispositif expérimental et organisation du verger

Le dispositif suit un plan en blocs randomisés (Figure 21). Ce plan limite l'effet de l'hétérogénéité du verger, notamment la vigueur, la charge en fruits, l'exposition et le microclimat. Il améliore ainsi la comparaison des modalités.

Les 96 arbres utiles sont répartis en quatre blocs de 24 arbres :

Bloc 1 : rang 1, arbres n°2 à n°25 ;

Bloc 2 : rang 1, arbres n°26 à n°49 ;

Bloc 3 : rang 2, arbres n°2 à n°25 ;

Bloc 4 : rang 2, arbres n°26 à n°49.

Chaque bloc est divisé en quatre parcelles de six arbres consécutifs. Chaque parcelle reçoit une modalité. L'ordre varie entre les blocs afin de randomiser les traitements et de limiter les biais de position.

Les quatre modalités sont les suivantes :

M1 : témoin non traité ;

M2 : eau seule ;

M3 : formulation blanche (sans matière active) ;

M4 : Inula Green®.

Figure 18 : Plan du dispositif expérimentale du verger nectarinier NECTARTIC situé à ANTEDIS à Toulouges, réalisé sur Excel (Source personnelle)

Chaque modalité est répétée une fois par bloc, soit quatre répétitions biologiques.

Les deux arbres situés aux extrémités de chaque parcelle sont exclus afin de limiter les influences entre modalités. Quatre arbres sont donc observés par parcelle, soit 16 par modalité et 64 au total.

Trente fruits sont choisis au hasard sur chaque arbre suivi. L'échantillon comprend 480 fruits par modalité et 1 920 fruits au total.

1.3.d. Biosolution testée : Inula Green® et application

L'essai évalue Inula Green®, une biosolution végétale fournie par GreenCell contre la moniliose due à *Monilinia fructicola*. Elle est formulée à partir d'extraits de *Dittrichia viscosa (L.)*.

Les traitements sont appliqués avec un pulvérisateur, à un volume de 800 L/ha et une dose de 3 L/ha. M4 reçoit Inula Green® et M3 la formulation sans matière active. Les applications sont réalisées par temps sec et peu venteux.

Trois applications couvrent la période de sensibilité maximale. La première a lieu au début de la coloration. La deuxième intervient à la véraison, 10 à 15 jours plus tard. La troisième est réalisée environ une semaine avant la récolte.

À chaque application, la date, l'heure, la température, l'hygrométrie, le vent et les précipitations sont relevés.

1.3.e. Variables mesurées et échantillonnage

Une observation est réalisée à la récolte, après un délai suffisant pour évaluer l'effet des traitements.

Pour chaque arbre observé, plusieurs variables sont relevées :

- la date de notation ;
- le numéro du bloc ;
- la modalité expérimentale ;
- le numéro de l'arbre ;
- le nombre total de fruits observés ;
- le nombre de fruits présentant des symptômes de moniliose ;
- le nombre de fruits sains ;
- la présence éventuelle d'autres maladies ou désordres physiologiques.

Les fruits présentant des symptômes sont classés selon trois niveaux de sévérité :

- Classe 1 : symptômes légers, avec de petites taches brunes localisées et peu de ramollissement ;
- Classe 2 : symptômes modérés, avec extension des lésions et début de pourriture ;
- Classe 3 : symptômes sévères, avec pourriture avancée, fort ramollissement et coussinets sporifères de *Monilinia fructicola*.

Pour chaque arbre, l'incidence est calculée ainsi : Incidence (%) = (Nombre de fruits atteints / Nombre total de fruits observés) × 100

La sévérité moyenne est calculée à partir de la répartition des fruits entre les trois classes.

Les autres maladies sont aussi notées : oïdium, cloque du pêcher, criblure, rouille et symptômes bactériens. La phytotoxicité est évaluée de 0 (aucun symptôme) à 10 (forte phytotoxicité). Les brûlures, nécroses, déformations foliaires et chutes anormales de fruits sont prises en compte.

1.3.f. Analyse statistique

Les analyses sont réalisées sous R (R Core Team, version 4.X). L'incidence et la sévérité sont analysées par des modèles mixtes. La modalité est intégrée comme effet fixe ; le bloc et l'arbre comme effets aléatoires. Pour une date donnée, une ANOVA est utilisée après vérification de la normalité et de l'homogénéité des variances. Des transformations ou des tests non paramétriques sont appliqués si nécessaire.

Si l'effet est significatif ($p < 0,05$), des comparaisons de Tukey HSD sont réalisées. L'efficacité d'Inula Green® est calculée par rapport au témoin non traité. Les autres maladies et la phytotoxicité sont décrites ou analysées selon les effectifs. Les résultats sont présentés dans des tableaux et graphiques avec des lettres de significativité.

2. RÉSULTATS

2.1. Drosophila suzukii

2.1.a. Captures dans les pièges

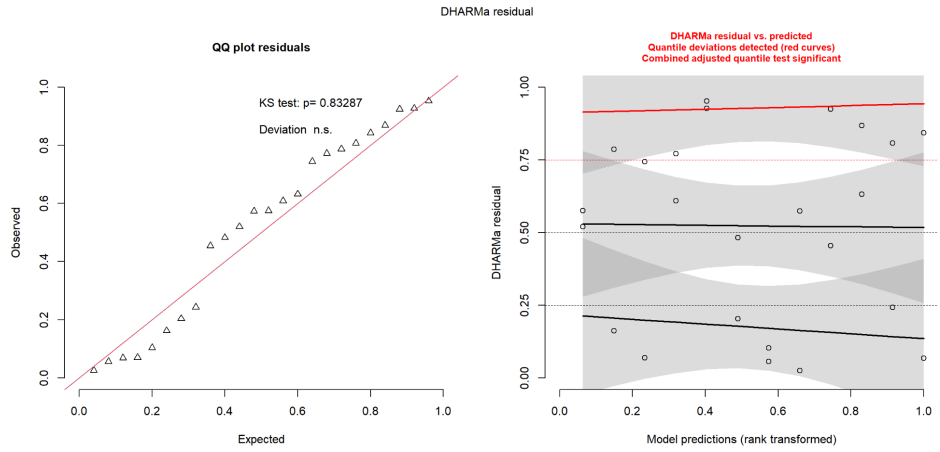


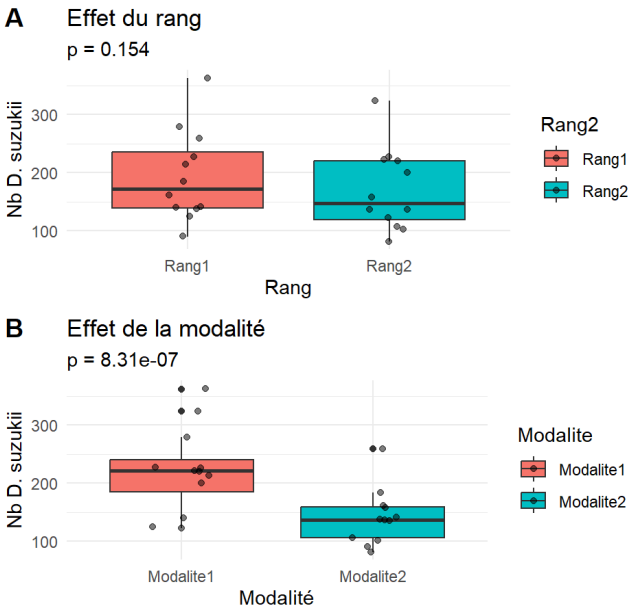
Figure 19 : Diagnostic des résidus simulés du modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) utilisé pour analyser les captures de Drosophila suzukii. Les résidus du modèle binomial négatif ont été simulés et évalués avec le package DHARMa sous RStudio.

Le graphique présente la distribution des résidus simulés à travers un QQ-plot ainsi que leur relation avec les valeurs prédites par le modèle. Ces diagnostics permettent d'évaluer l'adéquation du modèle aux données observées et de détecter d'éventuels écarts liés à la dispersion, à l'inflation des zéros ou à une mauvaise structure des résidus. Le modèle intègre les facteurs « modalité expérimentale », « date de comptage » et « rang d'implantation des pièges ».

Le QQ-plot présente la distribution des résidus simulés par rapport à la distribution uniforme attendue, tandis que le second graphique représente les résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle (Figure 19). Les résidus ont été simulés et évalués avec le package DHARMa sous R via RStudio. Source : données personnelles.

Les diagnostics fondés sur les résidus simulés ne mettent pas en évidence de défaut majeur d'ajustement du modèle. Le QQ-plot est globalement conforme à la distribution attendue et aucune

structure particulière n'apparaît en fonction des valeurs prédites, malgré quelques écarts ponctuels pour les valeurs extrêmes.



Le test de dispersion ne révèle aucune différence significative entre la dispersion observée et celle attendue par le modèle (dispersion = 1,11 ; p = 0,648). De même, le test d'inflation des zéros ne détecte aucun excès significatif de valeurs nulles (p = 1). Les diagnostics réalisés n'indiquent donc ni problème de dispersion, ni inflation des zéros, ni anomalie majeure dans la structure des résidus.

La Figure 20 illustre la variabilité descriptive des captures cumulées entre les pièges. Les distributions apparaissent relativement proches entre les rangs, ce qui concorde avec l'absence d'effet statistiquement détectable du rang dans le GLMM (p = 0,154).

Figure 20 : Analyse de l'effet du rang d'implantation et des modalités expérimentales sur les captures de *Drosophila suzukii*, réalisée sous RStudio à partir des données cumulées des pièges entre le 27 avril et le 28 mai 2026 (quatre dates de comptage) (source personnelle).

(A) Boxplot représentant la distribution du nombre de captures cumulées de *Drosophila suzukii* selon le rang des pièges au cours de la période de suivi (source personnelle).

(B) Boxplot représentant la distribution du nombre de captures cumulées de *Drosophila suzukii* selon les modalités expérimentales appliquées aux pièges, à partir de l'ensemble des données collectées sur la période d'étude (source personnelle).

Des différences sont toutefois visibles entre certaines modalités expérimentales, en accord avec l'effet global significatif de la modalité. L'identification précise des modalités qui diffèrent repose néanmoins sur les comparaisons deux à deux corrigées par la méthode de Tukey, et non sur la seule inspection des boxplots.

Les boxplots étant établis à partir des captures cumulées, ils ont ici une fonction descriptive. Les conclusions statistiques relatives aux effets de la date, de la modalité et du rang proviennent du GLMM ajusté aux observations de comptage.

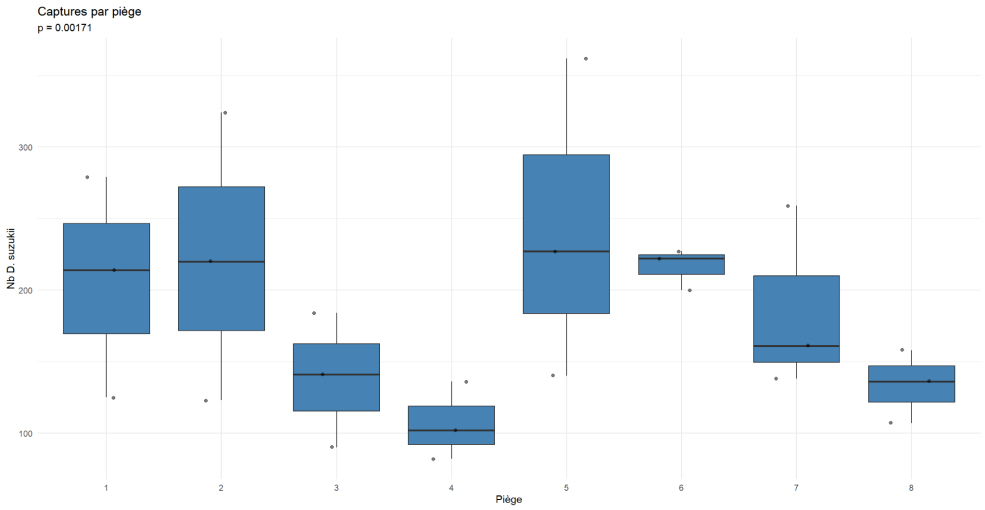


Figure 21 : Boxplot du nombre de *D. suzukii* capturées dans l'ensemble des pièges avec p= 0,00171, à partir des données cumulées par piège avec la moyenne de chaque piègereprésenter par la ligne noir du 27 avril au 28 mai 2026 avec 4 comptage des pièges , 1 toute les deux semaines (source personnelle).

Les captures présentent une forte variabilité entre les huit pièges (Figure 21). Les médianes sont approximativement comprises entre 100 et 250 individus, tandis que certaines observations atteignent près de 350 individus. La dispersion diffère également selon les pièges.
Le modèle à distribution binomiale négative met en évidence un effet global significatif du piège sur le nombre de *D. suzukii* capturés (p = 0,00171). Ce résultat indique qu'au moins un piège présente un niveau de capture différent des autres. Toutefois, cette valeur de p globale ne permet pas d'identifier précisément les pièges qui diffèrent entre eux. Cette identification nécessite des comparaisons post-hoc avec correction de Tukey et la présentation des rapports de taux accompagnés de leurs intervalles de confiance à 95 %.

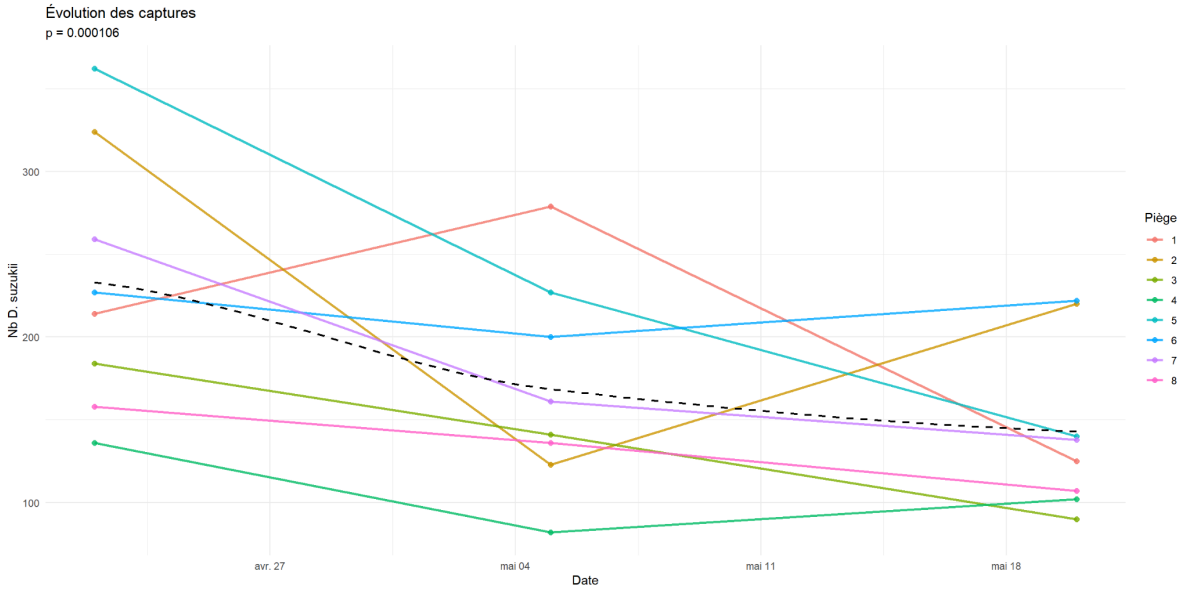


Figure 22: Évolution du nombre de captures de *D. suzukii* au cours du temps entre 27 avril et le 18 mai 2026, selon les pièges avec une courbe de moyenne en pointillés (source personnelle).

Les captures diminuent globalement au cours de la période étudiée (Figure 22). La moyenne passe approximativement de 220 individus le 27 avril à 165 le 4 mai, 140 le 11 mai et 130 le 18 mai, soit une diminution d'environ 41 %. Une variabilité importante entre les pièges reste néanmoins observable à chaque date.
Le modèle à distribution binomiale négative met en évidence un effet significatif de la date de relevé sur le nombre de captures (p = 0,000106). Les captures de *D. suzukii* ont donc évolué significativement au cours du suivi, avec une tendance moyenne décroissante. Ce résultat décrit une diminution des captures, mais ne suffit pas, à lui seul, à démontrer une diminution équivalente de la population présente dans la parcelle.

2.1.b. Dégâts observés sur les cerises

Une répétition M2 a été écartée de l'analyse principale car la fiche de terrain mentionnait des fruits très mûrs et une confusion possible entre D. suzukii et d'autres mouches. Après ce nettoyage explicite, les dégâts diminuent de façon monotone de M0 à M3 dans les moyennes ajustées : 21,9 %, 13,1 %, 5,0 % et 2,9 % (Figure 23). La modalité la plus intensive réduit donc les dégâts d'un facteur 7,5 par rapport au témoin. M1 ne diffère pas significativement de M0, tandis que M2 et M3 présentent une réduction significative ; cette structure suggère un seuil d'efficacité à partir de M2.

Les proportions brutes nettoyées confirment l'ordre général et renseignent la précision : fruits touchés, M0 23,5 % (**IC 95 %** : 18,2–29,8), M1 14,5 % (10,3–20,0), M2 5,3 % (2,7–10,2) et M3 7,0 % (4,2–11,4). Pour les fruits contenant des larves de D. suzukii, les valeurs sont respectivement 11,0 % (7,4–16,1), 4,5 % (2,4–8,3), 3,3 % (1,4–7,6) et 3,0 % (1,4–6,4). Les comparaisons spécifiques à l'infestation larvaire restent non significatives après correction de Tukey.

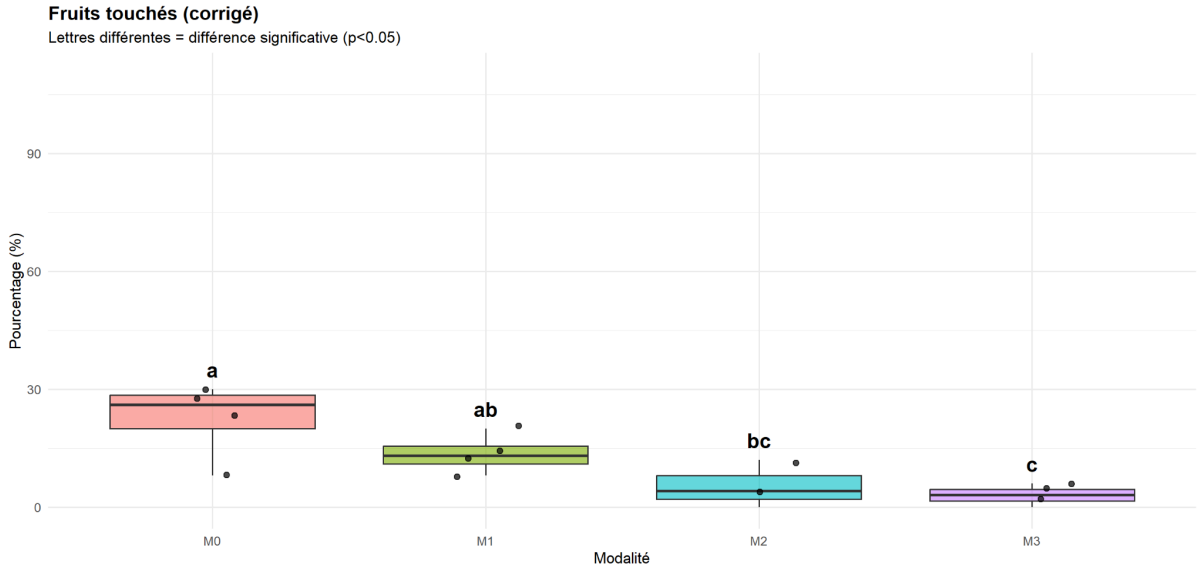


Figure 23 : Pourcentage de fruits touchés selon la modalité ; lettres différentes : p < 0,05 après correction de Tukey (source personnelle).

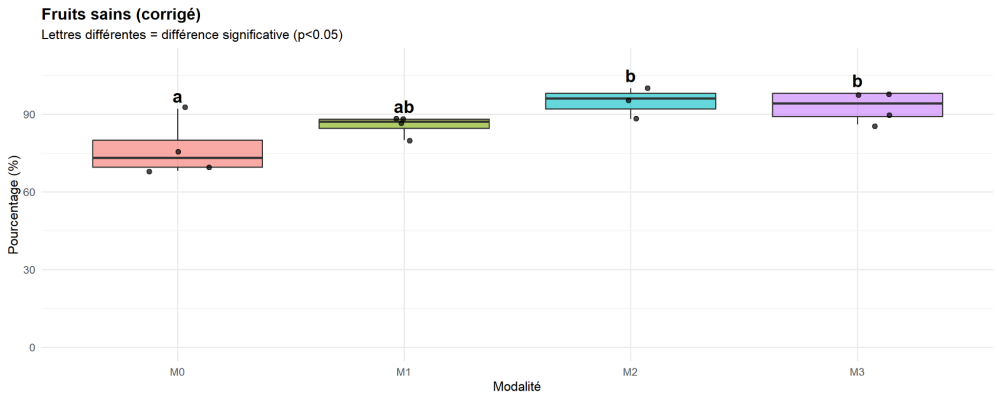


Figure 24 : Boxplot du pourcentage de fruits sains selon les modalités expérimentales. (Réalisé sous R studio)

Les boxplots représentent les pourcentages de fruits classés comme sains lors de l'ouverture des cerises récoltées le 26 mai 2026 . Le trait central représente la médiane et la boîte l'intervalle interquartile. Les lettres correspondent aux groupes issus des comparaisons multiples avec ajustement de Tukey au seuil de 5 %. Deux modalités partageant au moins une lettre ne diffèrent pas significativement. Source : données personnelles ; analyses et figure réalisées sous R.

Le pourcentage de fruits sains différait significativement entre les modalités expérimentales (Figure 24; p = 0,0263). Les proportions moyennes étaient de 76,5 % pour M0, 85,5 % pour M1, 94,7 % pour M2 et 93,0 % pour M3.

Après ajustement de Tukey, les proportions de fruits sains observées sous M2 et M3 étaient significativement supérieures à celle de M0 (p ajustée = 0,0357 et 0,0295, respectivement). En revanche, M1 ne différait significativement ni de M0 ni de M2 et M3. Aucune différence n'a également été détectée entre M2 et M3. Ces résultats sont représentés par les groupes « a » pour M0, « ab » pour M1 et « b » pour M2 et M3. La modalité M1 occupe ainsi une position intermédiaire.

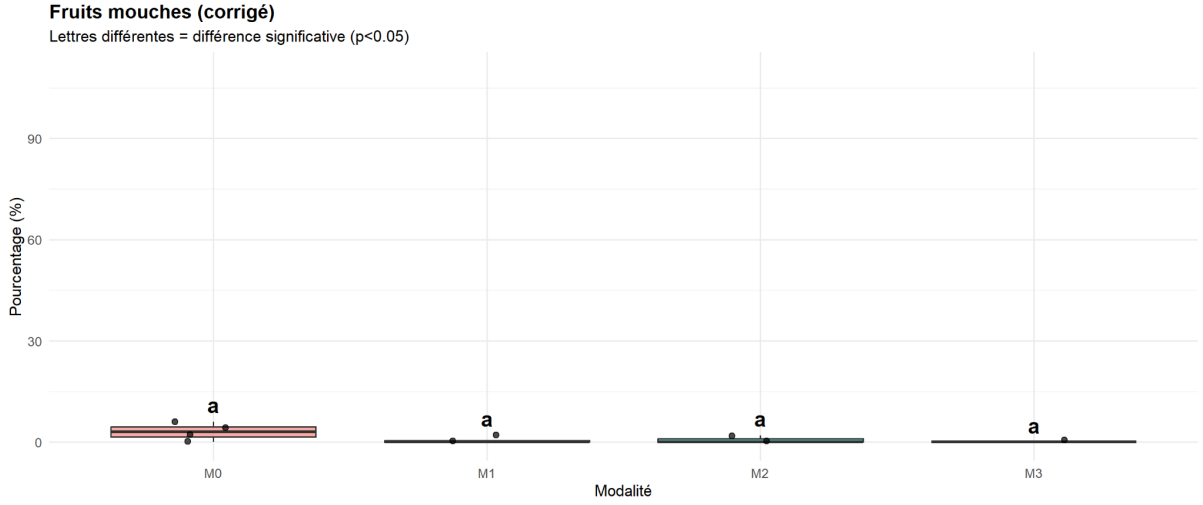


Figure 25: Boxplot du pourcentage de fruits présentant des larves de mouches autres que *Drosophila suzukii* selon les modalités expérimentales. (Réalisé sous R studio)

Les boxplots représentent les pourcentages de fruits contenant des larves de mouches autres que *D. suzukii*, observées lors de l'ouverture des cerises récoltées le 26 mai 2026. Le trait central représente la médiane et la boîte l'intervalle interquartile. Les lettres correspondent aux groupes issus des comparaisons multiples avec ajustement de Tukey au seuil de 5 %. Source : données personnelles ; analyses et figure réalisées sous R.

Le pourcentage de fruits contenant des larves de mouches autres que *D. suzukii* ne différait pas significativement entre les modalités (Figure 25 ; p = 0,2419). Les proportions moyennes étaient de 3,0 % pour M0, 0,5 % pour M1, 0,7 % pour M2 et 0 % pour M3.
Aucune comparaison deux à deux n'était significative après ajustement de Tukey. Toutes les modalités appartenaient donc au même groupe de significativité (« a »). Les écarts numériques observés ne permettent pas de conclure à un effet des modalités sur la présence de larves de mouches autres que *D. suzukii*.

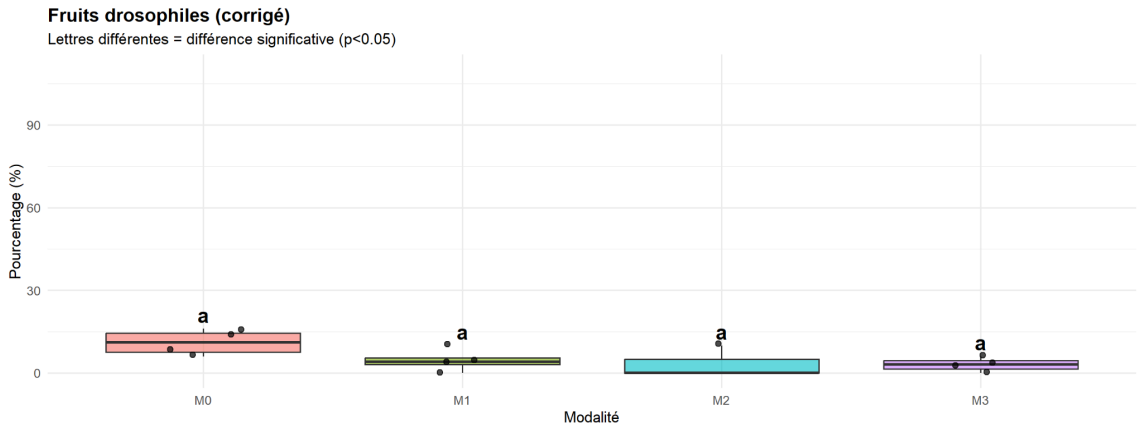


Figure 26 : Boxplot du pourcentage de fruits présentant des larves de Drosophila suzukii selon les modalités expérimentales.

Les boxplots représentent les pourcentages de fruits contenant des larves de *D. suzukii*, observées lors de l'ouverture des cerises récoltées le 26 mai 2026. Le trait central représente la médiane et la boîte l'intervalle interquartile. Les lettres correspondent aux groupes issus des comparaisons multiples avec ajustement de Tukey au seuil de 5 %. Source : données personnelles ; analyses et figure réalisées sous R.

Le test global mettait en évidence un effet significatif de la modalité sur le pourcentage de fruits contenant des larves de *D. suzukii* (Figure 26 ; p = 0,0310). Les proportions moyennes étaient de 10,5 % pour M0, 4,1 % pour M1, 3,0 % pour M2 et 2,8 % pour M3.
Toutefois, aucune comparaison deux à deux n'atteignait le seuil de significativité après ajustement de Tukey. La comparaison la plus proche du seuil concernait M0 et M3 (p ajustée = 0,0637). Toutes les modalités portaient donc la même lettre (« a »). Ainsi, malgré l'effet global détecté et les valeurs numériquement plus faibles sous M1, M2 et M3, l'analyse post hoc ne permet pas d'identifier une modalité différant significativement de M0.

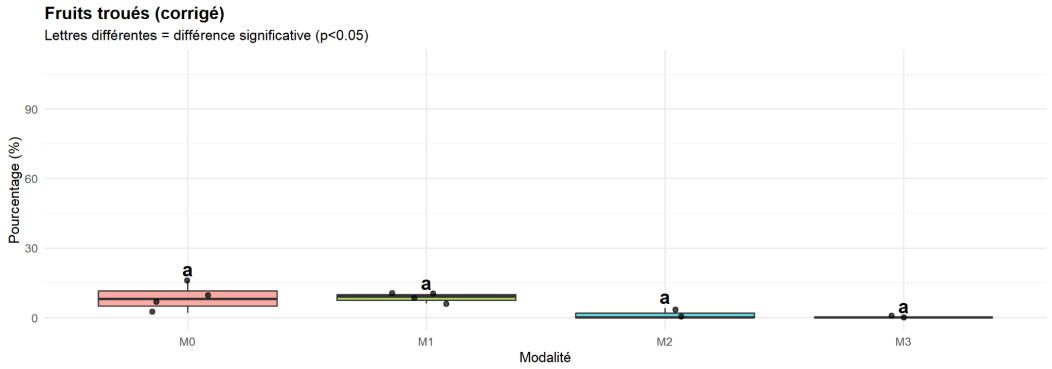


Figure 27 : Boxplot du pourcentage de fruits présentant des potentielles pontes avec des trous de pontes sur les cerises selon les modalités expérimentales. (Réalisé sous R studio)

Les boxplots représentent les pourcentages de fruits présentant des perforations compatibles avec des trous de ponte, observées lors de l'ouverture des cerises récoltées le 26 mai 2026. Le trait central représente la médiane et la boîte l'intervalle interquartile. Les lettres correspondent aux groupes issus des comparaisons multiples avec ajustement de Tukey au seuil de 5 %. Source : données personnelles ; analyses et figure réalisées sous R.

Aucun effet significatif de la modalité n'a été détecté sur le pourcentage de fruits présentant des perforations compatibles avec des trous de ponte (Figure 27 ; p = 0,1159). Les proportions moyennes étaient de 8,5 % pour M0, 8,5 % pour M1, 9,0 % pour M2 et 0 % pour M3.

Aucune comparaison deux à deux n'était significative après ajustement de Tukey. Toutes les modalités appartenaient donc au même groupe de significativité (« a »). L'absence de perforations observée sous M3 constitue uniquement un résultat descriptif et ne démontre pas statistiquement une diminution des pontes potentielles.

2.2. Halyomorpha halys

2.2.a. Captures et dégâts

Sur la figure 28 seulement trois individus de *Halyomorpha halys* ont été capturés dans les pièges expérimentaux : deux dans le piège 2 le 9 juillet et un dans le piège 1 le 16 juillet (Figure 28B). Dix-huit relevés sur vingt étaient donc nuls. Aucun effet significatif du côté du piège (p = 1,000), du numéro du piège (p = 0,956) ou de la date de relevé (p = 0,980) n'a été détecté. Les captures ont ainsi été très faibles et ponctuelles durant la période de suivi.

Parmi les 1 248 aubergines récoltées, seulement trois fruits présentaient des dégâts, soit environ 0,24 % de l'ensemble des fruits récoltés. Les pourcentages de fruits attaqués étaient donc très faibles dans les deux tunnels (Figure 28A). Aucune différence significative n'a été observée entre les tunnels Luzerne et Témoin (p = 0,965). La présence de la bande de luzerne n'a donc pas eu d'effet statistiquement démontré sur les dégâts observés.

Dans l'ensemble, aucun des facteurs étudiés n'a présenté d'effet significatif sur les captures ou sur les dégâts. Toutefois, le très faible nombre de punaises capturées et de fruits attaqués limite fortement la puissance de l'analyse et ne permet pas d'estimer un éventuel effet agronomique avec une précision suffisante.

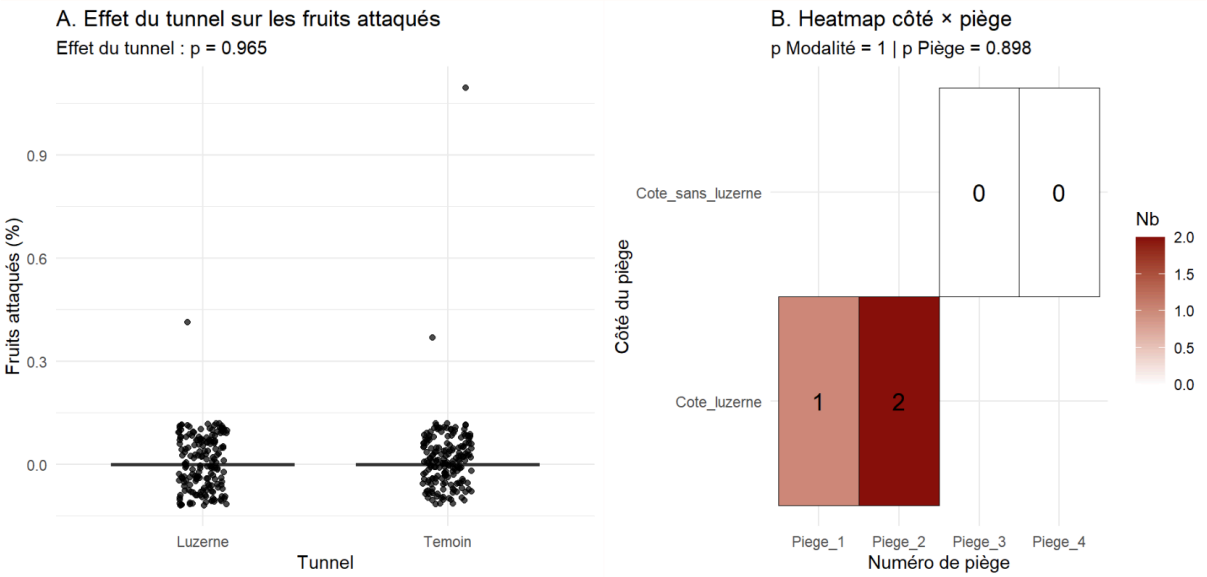


Figure 28 : Effet du tunnel sur les dégâts observés sur les fruits d'aubergine et répartition des captures de *Halyomorpha halys* selon le côté et le numéro du piège.

(A) Distribution du pourcentage de fruits attaqués dans le tunnel avec luzerne et dans le tunnel témoin. Chaque point représente une observation individuelle. L'effet du tunnel n'est pas statistiquement significatif (p = 0,965).

(B) Carte thermique présentant le nombre cumulé de punaises capturées selon le côté du dispositif et le numéro du piège. L'intensité de la couleur et les valeurs inscrites dans les cases correspondent aux effectifs cumulés. Aucun effet significatif du côté du piège (p = 1,000) ni du numéro du piège (p = 0,898) n'est observé. *(Source : données personnelles.)*

2.3. Monilinia fructicola

2.3.a. Fruits atteints et qualité de la production

Sur 480 fruits observés par modalité, 17 fruits étaient atteints dans le témoin non traité M1, 12 dans le témoin eau M2, 2 avec la formulation blanche M3 et 3 avec Inula Green® M4. Les incidences brutes sont ainsi de 3,54 % (**IC 95 %** : 2,22–5,60), 2,50 % (1,44–4,32), 0,42 % (0,11–1,51) et 0,62 % (0,21–1,82) (figure 29). L'effet global de la modalité est significatif (p = 0,00227), de même que les effets du bloc (p = 0,0118) et du rang (p = 0,00797), révélant une hétérogénéité spatiale importante.

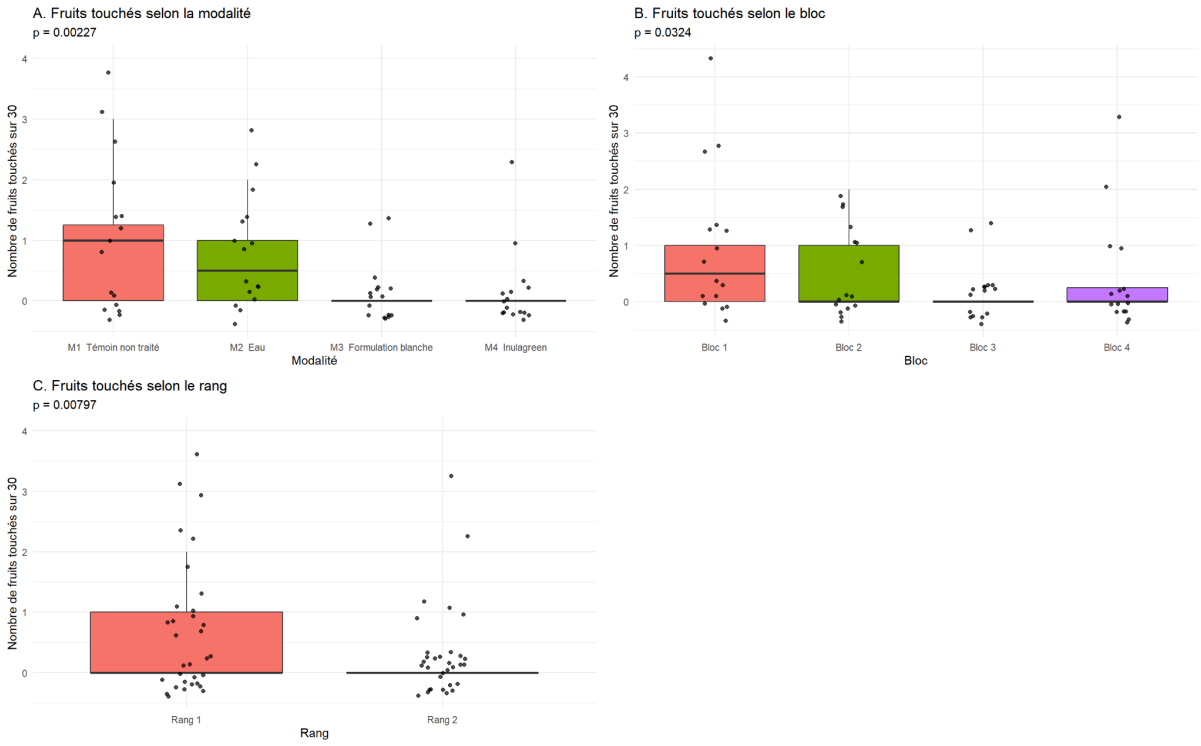


Figure 29. Nombre de nectarines atteintes selon la modalité, le bloc et le rang (source personnelle).

(A) Boxplot représentant le nombre de fruits touchés selon la modalité expérimentale : M1 « Témoin non traité », M2 « Eau », M3 « Formulation blanche » et M4 « Inulagreen ».
(B) Boxplot représentant le nombre de fruits touchés selon le bloc expérimental.
(C) Boxplot représentant le nombre de fruits touchés selon le rang d'implantation des nectariniers. Les points noirs correspondent aux observations individuelles.

Des comparaisons post-hoc exploratoires ont été appliquées avec correction de Holm afin de contrôler le risque lié aux tests multiples. Elles confirment que l'essentiel du contraste oppose les témoins M1–M2 aux modalités M3–M4, mais la faible incidence impose de considérer les tailles d'effet et leurs IC plutôt que les seules p-values. Aucune phytotoxicité n'a été notée (score 0/10 pour toutes les observations). Les observations de criblure, rouille et symptômes bactériens n'étaient pas présentes lors de nos observations ; elles ne sont donc pas interprétées.

Conclusion factuelle de l'essai : la formulation blanche et Inula Green® sont associés à une incidence nettement plus faible de moniliose, mais l'effet propre d'Inula Green® ne peut pas être isolé de celui de la formulation dans cet essai.

3. DISCUSSION

3.1. Drosophila suzukii : efficacité et seuil agronomique

Le résultat central est le gradient décroissant de dégâts entre M0 et M3. Physiquement, M0 est le témoin sans intervention, M1 repose sur l'**attract-and-kill** seul, M2 combine ce piégeage à trois applications de NeemAzal® et M3 reçoit le NeemAzal® seul. L'absence de différence entre M0 et M1, opposée aux réductions observées avec M2 et M3, indique que le niveau d'intervention de M1 n'a pas été suffisant dans les conditions étudiées. La littérature souligne justement que l'**attract-and-kill**

dépend fortement de la densité des points attractifs, de leur rayon d'action, de la pression du ravageur et du moment d'application (Eben et al., 2020).

Pour un producteur, la décision ne peut toutefois pas reposer sur la seule significativité. Passer d'environ 22 % à 3–5 % de fruits touchés représente potentiellement 17 à 19 fruits commercialisables supplémentaires pour 100 fruits récoltés. La rentabilité dépend ensuite du rendement par hectare, du prix de vente, du coût des applications et du seuil d'acceptation commerciale. Ces paramètres devront être enregistrés lors d'un nouvel essai afin de convertir l'efficacité biologique en marge économique.

La forte variabilité entre répétitions et l'observation douteuse de M2 limitent la portée de l'estimation. Un futur dispositif devra prévoir davantage de répétitions indépendantes, consigner la maturité et la fermeté des fruits, confirmer l'identification des larves et croiser les applications avec température, humidité et précipitations. Les stratégies de lutte intégrée contre D. suzukii gagnent en robustesse lorsqu'elles combinent surveillance, interventions précoces et plusieurs leviers plutôt qu'un moyen isolé (Eben et al., 2020 ; Chierici et al., 2025).

3.2. Halyomorpha halys : un essai non concluant faute de pression

L'interprétation correcte n'est pas que la luzerne est inefficace, mais que trois captures et trois fruits endommagés ne permettent pas de tester l'hypothèse. Le dispositif comporte en outre un seul tunnel par modalité : il s'agit d'une **pseudo-réplication**, car les plants d'un même tunnel ne constituent pas des répétitions indépendantes du traitement. Cette limite réduit fortement l'inférence possible et empêche d'attribuer une différence éventuelle à la luzerne plutôt qu'au tunnel lui-même.

La proximité des tunnels, les autres pièges installés à proximité et une période de suivi possiblement trop précoce ont également pu homogénéiser ou détourner les déplacements. Les plantes-pièges peuvent concentrer des pentatomides, mais leur efficacité varie selon l'espèce végétale, la disposition et la pression du ravageur (Sarkar et al., 2018). Des travaux sur nectarinier montrent aussi l'intérêt d'associer piégeage régulier et observation directe des fruits, la distribution pouvant être plus forte en bordure des parcelles (Candian et al., 2021). Un nouvel essai devrait donc comporter plusieurs tunnels indépendants par modalité, suffisamment éloignés, un suivi de début mai à la récolte et un déclenchement conditionné par un seuil minimal de captures.

3.3. Monilinia fructicola : effet du traitement et hétérogénéité spatiale

La réduction observée avec M3 et M4 est compatible avec un effet protecteur de la formulation. Toutefois, l'incidence de M4 n'est pas inférieure à celle de M3 : l'essai ne démontre donc pas un bénéfice additionnel propre à Inula Green®. Les effets du bloc et du rang montrent que la position des arbres a influencé le risque, possiblement par des différences d'humectation, d'aération, d'inoculum ou de maturité. Les Monilinia sont des agents majeurs de pourriture brune des fruits à noyau et leur développement dépend fortement de l'état du fruit et des conditions favorisant l'infection (Angelini et al., 2022 ; Astacio et al., 2023).

L'absence totale de phytotoxicité est favorable sur le plan de la qualité, mais elle ne suffit pas à démontrer l'intérêt économique. Le prochain essai devra mesurer rendement commercialisable, calibre, conservation après récolte et coût par hectare, puis relier les dates d'application à la température, aux précipitations, à l'humidité et à la durée d'humectation. Plusieurs doses et

fréquences d'application devront être comparées sur plusieurs parcelles et années, en conservant les témoins non traité, eau et formulation blanche.

3.4. Enseignements transversaux

Les trois essais montrent qu'une **biosolution** ne peut être jugée indépendamment de la pression du bioagresseur, de la qualité du dispositif et de la pertinence agronomique de l'effet. D. suzukii fournit un signal d'efficacité croissant avec l'intensité du programme ; H. halys illustre qu'une pression insuffisante rend l'essai non concluant ; Monilinia montre qu'un effet apparent doit être séparé de l'hétérogénéité spatiale et de l'effet de la formulation. Dans tous les cas, la taille d'effet, l'**IC à 95 %**, la qualité commerciale et le coût doivent compléter la p-value.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail répond à la problématique en montrant que les biosolutions étudiées présentent des niveaux de preuve contrastés. Sur cerisier, les dégâts attribués au complexe observé diminuent de façon monotone entre M0 et M3, avec une réduction d'un facteur 7,5 entre le témoin et la modalité la plus intensive et un seuil d'efficacité apparent à partir de M2. Sur aubergine, la pression de H. halys est restée trop faible et le dispositif pseudo-répliqué ne permet pas de conclure sur la luzerne. Sur nectarinier, la formulation blanche et Inula Green® sont associés aux incidences les plus faibles de Monilinia, sans phytotoxicité observée, mais l'effet propre du produit reste à distinguer de celui de sa formulation et de la variabilité spatiale.

Ainsi, les biosolutions peuvent contribuer à réduire l'usage des produits phytosanitaires de synthèse, mais leur validation exige des répétitions indépendantes, une pression biologique suffisante, des données climatiques et une traduction en bénéfice commercial. Les essais futurs devront intégrer rendement, qualité, conservation et coût par hectare afin de déterminer non seulement si un effet existe, mais aussi s'il est suffisamment robuste et rentable pour être adopté par les producteurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Sources générales et cadre réglementaire

Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides. Frontiers in Environmental Science, 7, 177. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177

EFSA. (2024). The 2023 European Union report on pesticide residues in food. EFSA Journal.

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., et al. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and Applied Ecology, 11(2), 97–105. https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001

Malaj, E., von der Ohe, P. C., Grote, M., et al. (2014). Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(26), 9549–9554. https://doi.org/10.1073/pnas.1321082111

Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biological Conservation, 232, 8–27. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020

Parlement européen et Conseil. (2009). Règlement (CE) n° 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.

Parlement européen et Conseil. (2009). Directive 2009/128/CE instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

Drosophila suzukii

Cloonan, K. R., Abraham, J., Angeli, S., Syed, Z., & Rodriguez-Saona, C. (2018). Advances in the chemical ecology of the spotted wing drosophila (Drosophila suzukii) and its applications. Journal of Chemical Ecology, 44(10), 922–939. https://doi.org/10.1007/s10886-018-1000-y

Eben, A., Reifenrath, M., Briem, F., Pink, S., & Vogt, H. (2020). Search for alternative control strategies of Drosophila suzukii: laboratory assays using attract-and-kill. Insects, 11. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7698706/

Tait, G., Mermer, S., Stockton, D., et al. (2021). Drosophila suzukii (Diptera: Drosophilidae): a decade of research towards a sustainable integrated pest management program. Journal of Economic Entomology, 114(5), 1950–1974.

Asplen, M. K., Anfora, G., Biondi, A., et al. (2015). Invasion biology of spotted wing Drosophila (Drosophila suzukii): a global perspective and future priorities. Journal of Pest Science, 88, 469–494.

Cini, A., Ioriatti, C., & Anfora, G. (2012). A review of the invasion of Drosophila suzukii in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. Bulletin of Insectology, 65(1), 149–160.

Biocontrol. (s. d.). NeemAzal-T/S : caractéristiques et conditions d'utilisation. https://www.biocontrol.ch/fr-ch/neemazal-t-s--p23684

CNRS. (s. d.). Petite mouche, gros dégâts : recherches sur Drosophila suzukii.

Agriculture drômoise. (2024). Premier lâcher de Ganaspis contre Drosophila suzukii.

Halyomorpha halys

Leskey, T. C., & Nielsen, A. L. (2018). Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management. Annual Review of Entomology, 63, 599–618.

Rice, K. B., Bergh, C. J., Bergmann, E. J., et al. (2014). Biology, ecology, and management of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae). Journal of Integrated Pest Management, 5(3), A1–A13. https://academic.oup.com/jipm/article/5/3/A1/2193939

Sarkar, S. C., Wang, E., Zhang, Z., Wu, S., & Lei, Z. (2018). Application of trap cropping as companion plants for the management of agricultural pests: a review. Insects, 9. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6316212/

Blaauw, B. R., Morrison, W. R., Mathews, C., Leskey, T. C., & Nielsen, A. L. (2017). Measuring host plant selection and retention of Halyomorpha halys by a trap crop. Entomologia Experimentalis et Applicata.

Candian, V., Pansa, M. G., Briano, R., et al. (2021). First multi-target application of exclusion net in nectarine orchards. Insects, 12. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7998890/

EPHYTIA–INRAE. (s. d.). Aubergine : punaises phytophages et symptômes associés.

ÉcophytoPIC. (s. d.). Punaises phytophages : éléments de reconnaissance et de gestion de Halyomorpha halys.

Herbea. (2021). Note de synthèse : la punaise diabolique, Halyomorpha halys.

Monilinia fructicola et monilioses des fruits à noyau

Angelini, R. M. D. M., Masiello, M., Rotolo, C., et al. (2022). Tracking of diversity and evolution in the brown rot fungi Monilinia spp. Journal of Fungi, 8. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8959702/

Astacio, J. D., et al. (2023). Monilinia fructicola response to white light. Journal of Fungi, 9.

EPPO. (s. d.). Monilinia fructicola: datasheet. https://gd.eppo.int/taxon/MONIFC/datasheet

EPPO. (2003). Diagnostic protocol for Monilinia fructicola. EPPO Bulletin. https://doi.org/10.1046/j.1365-2338.2003.00639.x

BASF France Agro. (s. d.). Monilioses du pêcher : symptômes, biologie et protection.

Bayer Agri. (s. d.). Monilioses des fruits à noyau : identification et moyens de lutte.

Syngenta France. (s. d.). Moniliose : symptômes et stratégies de protection des vergers.

République française. (s. d.). Texte réglementaire relatif à Monilinia fructicola. Journal officiel de la République française. https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000228831

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet BIOSOLUDOE, trois stratégies de biosolutions ont été évaluées contre Drosophila suzukii sur cerisier, Halyomorpha halys sur aubergine sous abri et Monilinia fructicola sur nectarinier. Pour D. suzukii, les dégâts ajustés diminuent de 21,9 % dans le témoin M0 à 2,9 % dans M3, soit une réduction d'un facteur 7,5, avec un seuil d'efficacité apparent à partir des modalités comprenant NeemAzal®. Pour H. halys, trois captures seulement et trois fruits endommagés sur 1 248 rendent l'essai non concluant ; l'absence de répétitions indépendantes constitue en outre une pseudo-réplication. Pour Monilinia, l'incidence brute passe de 3,54 % dans le témoin non traité à 0,42–0,62 % avec la formulation blanche et Inula Green®, sans phytotoxicité observée, mais avec des effets spatiaux significatifs. Ces résultats montrent que l'évaluation des biosolutions doit associer taille d'effet, précision statistique, répétitions indépendantes et critères économiques.

Mots-clés : biosolutions ; biocontrôle ; Drosophila suzukii ; Halyomorpha halys ; Monilinia fructicola ; NeemAzal® ; Inula Green®.

CONCLUSION PERSONNELLE

Ce stage m'a permis de consolider mes compétences en expérimentation agronomique, depuis la mise en place de dispositifs et la réalisation des suivis de terrain jusqu'au traitement statistique et à l'interprétation critique des résultats. J'ai appris à adapter les méthodes aux contraintes réelles d'une parcelle, à identifier les limites d'un essai et à distinguer une absence d'effet d'un manque de puissance ou de pression biologique.

La diversité des missions menées sur trois bioagresseurs m'a également permis de gagner en autonomie, en rigueur et en capacité d'organisation. Les échanges avec l'équipe ont renforcé mon intérêt pour l'expérimentation appliquée et pour la recherche de solutions permettant de réduire l'usage des produits phytosanitaires. Cette expérience confirme mon souhait de poursuivre dans un domaine associant agronomie, biocontrôle, suivi expérimental et analyse de données.

Alizée Commandeur



COORDONNÉES

07 83 44 12 92

Alizee.commandeur@hotmail.fr

28 rue des romarins
66000 Perpignan

20 ans

Permis A / véhicule

LANGUES

- Anglais : niveau B1
- Espagnol
- Latin/Grec au collège

NUMÉRIQUE

- Bureautique (Word, Excel, Rstudio,Qgis..)
- Canva
- Certification PIX
- Certification Certiphyto

CENTRES D'INTÉRÊT

Cuisine : pâtisserie
Lecture : Terrienne (J.C MOURLEVAT)
Voyage : Espagne, Angleterre, Italie, îles Baléares
Sport : boxe française
Soins des animaux

ACTIVITÉS EXTRASCOLAIRES

2023 : Concours d'éloquence - Lycée Emile Loubet

2020 - 2023 : Éco déléguée au lycée

2020-2022 : Déléguée du Conseil des délégués pour la vie lycéenne

COMPÉTENCES

Etudiante BUT génie biologie

- Connaissance en qualité et analyse sensorielle : cours de qualité et d'analyse sensorielle avec des test
- Capacité d'adaptation
- Connaissance de base en soins animalier
- Gérer l'environnement et la ration des animaux et la santé des animaux : Cours de production animale appliqué aux ruminants
- Réalisation d'analyses (coproscopie, microbiologie, hématologie)
- Préparation de milieu de culture

EXPÉRIENCES PROFESSIONNELLES

Stage de 3e année de BUT – Diagnostic agronomique et évaluation de biosolutions en arboriculture et maraîchage – CRIOBE, Université de Perpignan Via Domitia

- Mise en place et suivi d'essais expérimentaux sur le terrain
- Réalisation de prélèvements et d'analyses biologiques et agronomiques
- Traitement de données agronomiques

30/03/2026 – 30/07/2026

Stage de 2 ième année de BUT diagnostique agronomique technico économique d'une clinique vétérinaire rurale

- Observation des protocoles de sécurité et de soins
- Gestion et entretien du matériel et des équipements

14/04/2025-08/06/2025

Stage de 1 ère année de BUT diagnostique agronomique technico économique d'une exploitation chevrière type livreur transformateur à la ferme des cabrettes - Etoile-sur-Rhône

- Gestion de la transformation (traite, fromage)
- Gestion de la nourriture
- Gestion des soins

07/2024-08/2024

Équipière polyvalente à Marie Blachère
Portes-Lès-Valence

- Maitrise des règles sanitaires et de sécurité

07/2023-08/2023 ; 07/2024-08/2024 ; 06/2025-08/2025

Stage d'observation de 3ème
à la Clinique vétérinaire des Alpes - Valence

02/2020-2 semaines

Garde d'animaux - Particulier employeur

2020-2022

FORMATIONS

2023 à 2026 - DUT génie biologie parcours agronomie et 3-ème année BUT à Perpignan

2020 à 2023 - Lycée Emile Loubet Valence
Baccalauréat – option Mathématiques et SVT

2021 - Lycée Émile Loubet Valence
BIA (Brevet d'iniation aéronautiques)

2020 - DNB mention très bien

PORTFOLIO

https://sites.google.com/view/alizee-commandeur/accueil