



## **MASTER Sciences - Technologie - Santé**

**Mention AETPF :**  
**Agrosciences, Environnement,**  
**Territoires, Paysage, Forêt**  
**Parcours :**  
**AgroEcologie**

**ÉTUDE DE L'INTERFÉRENCE REPRODUCTIVE INTERSPÉCIFIQUE ENTRE LES FEMELLES *DROSOPHILA SUZUKII* ET LES MÂLES *DROSOPHILA SIMULANS* ET *DROSOPHILA MELANOGASTER* DANS UN MILIEU COMPLEXE**

**Mémoire de stage**



**ROCOCO Cécile**

Encadrants du stage et organisme d'accueil : Nicolas RODE, Ghais ZRIKI, Anne LE RALEC;  
CTIFL

Tuteur du mémoire : Olivier CHABRERIE

Année 2024





## **MASTER Sciences - Technologie - Santé**

**Mention AETPF :**  
**Agrosciences, Environnement,**  
**Territoires, Paysage, Forêt**  
**Parcours :**  
**AgroEcologie**

**ÉTUDE DE L'INTERFÉRENCE REPRODUCTIVE INTERSPÉCIFIQUE ENTRE LES FEMELLES *DROSOPHILA SUZUKII* ET LES MÂLES *DROSOPHILA SIMULANS* ET *DROSOPHILA MELANOGASTER* DANS UN MILIEU COMPLEXE**

**Mémoire de stage**



**ROCOCO Cécile**

Encadrants du stage et organisme d'accueil : Nicolas RODE, Ghais ZRIKI, Anne LE RALEC;  
CTIFL

Tuteur du mémoire : Olivier CHABRERIE

Année 2024



## Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près comme de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement mes encadrants de stage Nicolas Rode, Ghais Zriki et Anne Le Ralec pour leur encadrement. Merci de m'avoir fait confiance pour ce stage. Merci pour vos précieux conseils, votre disponibilité et vos relectures. Je souhaite également remercier mon tuteur universitaire monsieur Olivier Chabrierie pour son encadrement et sa disponibilité.

Je remercie Sonia Janaillon et Cristina Vieira de l'Université de Lyon 1 pour les lignées de *Drosophila simulans* et *Drosophila melanogaster* ainsi que Lily Cesari et Candice Deschamps du CBGP-INRAE pour l'amplification de ces souches.

Je remercie également Christine, Sarah, David, Jean-Michel et Ghais pour leur aide au laboratoire dans mes expérimentations et les élevages. Je vous remercie pour votre patience et votre écoute.

Je tiens à remercier l'équipe des stagiaires pour les moments de rigolades au bureau, l'entraide, et le soutien moral. Vous êtes les meilleurs.

Enfin je souhaite remercier ma famille, mes amis et mon copain pour leur soutien infaillible et leur patience tout au long de la rédaction de ce mémoire. Leur présence à mes côtés a été une source de motivation constante.



# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Présentation de l'entreprise.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Synthèse bibliographique.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Matériels et méthodes.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Résultats.....</b>	<b>18</b>
<b>5. Discussion.....</b>	<b>21</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>26</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>28</b>
<b>Webographie.....</b>	<b>35</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>36</b>
<b>Bilan personnel.....</b>	<b>39</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>41</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>41</b>



# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Présentation de l'entreprise.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Synthèse bibliographique.....</b>	<b>5</b>
2.1. Le genre <i>Drosophila</i> ( <i>Insecta</i> : <i>Diptera</i> ).....	5
2.1.1. Description générale.....	5
2.1.2. Cycle de vie.....	5
2.1.3. Fécondité.....	6
2.1.4. Fertilité.....	6
2.1.5. <i>Drosophila suzukii</i> .....	7
2.1.6. <i>Drosophila melanogaster</i> et <i>Drosophila simulans</i> .....	8
2.2. Méthodes de lutte contre <i>D. suzukii</i> .....	9
2.3. Interférence reproductive.....	9
2.3.1. Qu'est-ce que l'interférence reproductive ?.....	9
2.3.2. Conséquences de l'interférence reproductive.....	10
2.3.3. Interférence reproductive chez les drosophiles.....	11
<b>3. Matériels et méthodes.....</b>	<b>12</b>
3.1. Élevage des insectes.....	12
3.1.1. Élevage et maintien des souches.....	12
3.1.2. Préparation des mouches.....	13
3.2. Estimation de l'impact des mâles hétérospécifiques sur la reproduction de <i>D. suzukii</i> ...14	
3.2.1. Expériences préliminaires.....	15
3.2.2. Estimation de la fécondité et de la fertilité des femelles <i>D. suzukii</i> en fonction des modalités appliquées.....	16
3.3. Analyses statistiques.....	17
3.3.1. Effet des modalités sur la fécondité.....	17
3.3.2. Effet des modalités sur la fertilité.....	17
<b>4. Résultats.....</b>	<b>18</b>
4.1. Comparaison de la fécondité des femelles <i>D. suzukii</i> entre modalités.....	18
4.2. Comparaison de la fertilité des femelles <i>D. suzukii</i> entre modalités.....	19
4.3. Observation ponctuelle des interactions entre les mâles hétérospécifiques et les femelles <i>D. suzukii</i> .....	20
<b>5. Discussion.....</b>	<b>21</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>26</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>28</b>
<b>Webographie.....</b>	<b>35</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>36</b>
Annexe 1 : Résumé du modèle retenu pour comparer la fécondité des femelles <i>D. suzukii</i> .	36
Annexe 2 : Résumé du modèle retenu pour comparer les taux d'éclosion des femelles <i>D.</i>	

<i>suzukii</i> .....	36
Annexe 3 : Agrandissement des figures 11, 12 et 13.....	37
<b>Bilan personnel</b> .....	<b>39</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>41</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>41</b>

## Introduction

Les insectes ravageurs des cultures représentent les principaux concurrents de l'Homme pour les ressources générées par l'agriculture. Les dommages qu'ils causent sont l'un des facteurs les plus importants de la baisse de productivité de toute espèce végétale cultivée (Sharma, Kooner, et Arora 2017). Endommageant les cultures à la fois pendant et après la récolte, ces dommages prennent de nombreuses formes et entraînent des pertes en termes de quantité de denrées alimentaires produites (Waterfield et Zilberman 2012), mais aussi en termes de qualité des produits. La lutte contre les ravageurs joue un rôle essentiel dans la réalisation du niveau actuel de l'approvisionnement alimentaire mondial, et son importance ne fera que croître à l'avenir.

Afin de faire face à ces ravageurs, de nombreuses méthodes de contrôle ont été développées (ou sont en cours de développement) et ces méthodes peuvent être combinées dans le cadre d'une gestion intégrée. Cependant, l'usage de produits phytosanitaires reste largement dominant, car la production, la performance et la rentabilité restent la priorité (Horlings et Marsden 2011). Or, la gestion chimique comporte de nombreux aspects négatifs aussi bien pour la santé humaine que pour l'environnement notamment lorsque les produits phytosanitaires sont utilisés excessivement (Chaud et al. 2021). A cause de ces répercussions néfastes, la gestion chimique tend à être réduite drastiquement et de nouvelles méthodes visant à contrôler ces ravageurs sont nécessaires afin de pouvoir lutter efficacement.

Le contrôle des populations de ravageurs avec des méthodes influant sur la reproduction telle que la technique de l'insecte stérile (TIS) sont moins néfastes à l'environnement. Par exemple, la TIS est spécifique et non polluante (Hendrichs et Robinson 2009). Plus récemment, un intérêt comme potentiel moyen de gestion des ravageurs pour des techniques utilisant des interactions sexuelles entre espèces différentes a vu le jour. Définie comme toute interaction sexuelle interspécifique<sup>1</sup> réduisant le succès reproducteur, l'interférence reproductive (IR) est généralement observée entre des individus d'espèces étroitement apparentées (Shuker et Burdfield-Steel 2017) en raison de l'existence de barrières à l'accouplement incomplètes. Des interactions sexuelles entre espèces différentes ont déjà été observées dans la nature (Kuno 1992). Ces IR ont été signalées dans un

---

<sup>1</sup> entre espèces différentes

large éventail de taxons animaux (Gröning et Hochkirch 2008) et végétaux (Lewis et Crowe 1958; Moreira-Hernández et al. 2023). Elle peut se manifester de différentes manières, allant de la perturbation des signaux d'accouplement intraspécifique aux effets négatifs sur l'état physique lors des copulations hétérospécifiques. Ces effets négatifs sur l'état physique sont souvent asymétriques, c'est-à-dire qu'une espèce est plus affectée que l'autre. Si l'espèce la plus impactée est un ravageur on pourrait alors envisager de contrôler ce ravageur à l'aide de ce phénomène (Mitchell et al. 2022).

L'IR a déjà été documentée entre les moustiques vecteurs de maladie *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* (Tripet et al. 2011; Carrasquilla et Lounibos 2015), chez des punaises (Dias et al. 2021) ou encore chez des aleurodes (Sun et al. 2014). Cependant, de nombreuses zones d'ombres subsistent quant à son utilisation en tant que nouvelle méthode de lutte. Tout d'abord, divers facteurs peuvent influencer la présence et le degré de l'interférence, notamment les facteurs dépendants de la densité des espèces, les taux de divergence des espèces et la variation des comportements sexuels. Un des aspects clé qui reste à déterminer dans le futur est de comprendre les mécanismes qui déterminent pourquoi une espèce est plus impactée que l'autre lors de l'IR (Mitchell et al. 2022).

Plusieurs études s'intéressent à la potentielle utilisation de l'IR dans le but de contrôler les ravageurs. Le cas de *Drosophila suzukii* ((Matsumura 1931) ; *Diptera: Drosophilidae*) est intéressant à étudier. En effet, ce diptère originaire d'Asie du Sud-Est est une espèce invasive dans plusieurs endroits. Détecté pour la première fois simultanément en Europe et aux États-Unis en 2008 (Calabria et al. 2012), *D. suzukii* est connu pour ses dégâts sur les petits fruits à peau fine et à noyau (Rota-Stabelli, Blaxter, et Anfora 2013). Elle représente un défi majeur pour la production mondiale de cerises, myrtilles, framboises, raisin et fraises (Shawer 2020). Contrairement aux autres espèces du genre *Drosophila* qui pondent dans des fruits endommagés ou pourrissants (Calabria et al. 2012), *D. suzukii* est capable d'infester les fruits sains proches de la maturité. Cela est dû à la présence d'un ovipositeur dentelé chez la femelle lui permettant de pondre dans ces fruits (A. Cini et al. 2014). Elle est rapidement devenue un ravageur très préoccupant dont l'éradication complète n'est pas réalisable et la gestion difficile (Alessandro Cini, Ioriatti, et Anfora 2012). Le contrôle de ce ravageur repose principalement sur les

insecticides et les alternatives non polluantes actuellement disponibles ne sont pas concluantes. D'autres pistes sont actuellement étudiées comme la TIS et l'IR.

L'IR a déjà été documentée chez des espèces de drosophiles (Manning 1959; Manzano-Winkler et al. 2017). De plus, dans ses aires d'invasions, *D. suzukii* partage les mêmes ressources que plusieurs autres espèces de drosophiles non ravageurs comme *D. simulans* et *D. melanogaster*. C'est notamment le cas en fin de culture, lorsqu'il reste peu de fruits en cours de maturation (Kienzle et al. 2020). Le partage des ressources peut entraîner plusieurs formes de compétitions entre les drosophiles. Dans ce cadre, il est intéressant d'étudier le potentiel de l'IR contre *D. suzukii*, c'est notamment ce qu'on fait Cerasti et al. (2023) et Chen et al. (2020). Les résultats de ces études montrent une IR entre les mâles *D. melanogaster* et les femelles *D. suzukii* en condition de laboratoire, notamment au niveau des parades intraspécifiques<sup>2</sup> et de la descendance des femelles *D. suzukii* qui diminuait. Cependant, en milieu naturel, nous ne savons pas comment, dans quel sens et à quel degré l'IR se produit chez les drosophiles. Au vu de ces résultats, nous avons voulu investir davantage afin de voir si cette IR aura lieu dans des conditions plus complexes, mimant partiellement un milieu naturel. Les études précédentes réalisées en laboratoire ayant été faites dans des flacons en plastique, des tubes transparents ou encore des cages simples (sans plantes) (Cerasti et al. 2023; Chen et al. 2020). Nous avons également décidé d'intégrer une nouvelle espèce (*D. simulans*) qui est très présente dans le Sud de la France (Capy et al. 1987). Notre hypothèse principale est qu'une interférence reproductive existe entre les femelles *D. suzukii* et les mâles des deux espèces hétérosécifiques. Deuxièmement, nous faisons l'hypothèse, que la forme et le degré de l'IR sont différents dans un milieu plus complexe par rapport aux conditions testées précédemment. L'objectif de ce stage est d'obtenir un protocole fiable d'évaluation de l'impact de l'IR intersécifique sur la fécondité et la fertilité de *D. suzukii* issues des souches d'élevage. La fécondité correspondant à la capacité de reproduction potentielle d'un organisme sur une période donnée, mesurée par le nombre de gamètes produits et la fertilité au nombre réel de descendants viables produits par un organisme au cours d'une période donnée (Krebs 2014). Ce protocole permettra de déterminer l'existence et l'impact d'une IR potentielle dans un milieu plus complexe et également de déterminer si la densité de mâles hétérosécifiques ajoutés affecte ce processus et dans quel sens.

---

<sup>2</sup> de la même espèce

## **1. Présentation de l'entreprise**

Le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL) est un organisme dédié à la recherche, l'innovation et la diffusion de connaissances dans le secteur des fruits et légumes. Créé en 1952, il comporte cinq sites : Balandran, Carquefou, La Morinière, Lanxade et Saint Rémy-de-Provence, quatre antennes (Rungis, Nancy, Brindas, La Tapy) et un siège social (Paris) (Figure 1). Le site de Balandran se situe à Bellegarde (Gard) dans le sud de la France. Il est composé de trois grandes unités : l'exploitation, l'unité Performances et Perspectives Végétales (PPV) ainsi que l'unité dans laquelle j'ai effectué mon stage, l'unité Systèmes de Production en Agroécologie (SEPALE). L'exploitation s'étend sur un domaine de 75 hectares comprenant 43 ha de vergers, 19 ha en production, 20 ha de cultures plein champ, ainsi que 3 ha pour les cultures biologiques. Le CTIFL de Balandran compte actuellement 70 employés dont 23 ingénieurs et 10 techniciens.

Les principales activités économiques du CTIFL de Balandran, sont :

- la recherche et l'expérimentation : le centre développe des programmes de recherche dans le but d'améliorer les techniques de production, la qualité des produits et réduire l'impact environnemental;
- le soutien technique et la certification : le CTIFL contrôle et effectue des démarches de certifications du matériel végétal;
- la formation et le transfert de connaissances : des formations sont proposées pour aider les acteurs de la filière fruits et légumes à adopter des pratiques innovantes et à répondre aux nouvelles exigences du marché;
- ainsi que l'étude du marché et du comportement des consommateurs : à la demande des professionnels, le centre analyse les tendances de consommation et aide les professionnels à adapter leurs produits en fonction des préférences des consommateurs.



**Figure 1** : Localisation des différents sites du CTIFL (source: <https://www.ctifl.fr/>)

## 2. Synthèse bibliographique

### 2.1. Le genre *Drosophila* (Insecta : Diptera)

#### 2.1.1. Description générale

Le terme drosophile désigne un genre de petit diptère appartenant à la famille des Drosophilidae, dont les membres sont souvent appelés « mouches des fruits » ou encore « mouches du vinaigre ». Actuellement, le genre *Drosophila* est considéré comme un groupe paraphylétique, c'est-à-dire que toutes les espèces de ce genre ont un ancêtre commun mais ce même genre ne regroupe qu'une partie des descendants. Le genre entier, contient environ 1 500 espèces et est très diversifié en termes d'apparence, de comportement et d'habitat. Ces espèces appartiennent pour la majorité à deux sous-genres : *Drosophila* et *Sophophora*. Van Der Linde et Houle (2008), présentent dans leurs analyses que plusieurs genres (au moins huit) sont inclus dans le genre *Drosophila* (Poyet 2014). Les scientifiques qui étudient la drosophile attribuent la diversité de l'espèce à sa capacité d'adaptation, ainsi qu'à sa compétitivité dans presque tous les habitats, y compris les déserts (Deepa, Akshaya, et Solomon FD 2009). Les espèces de drosophiles peuvent se nourrir et se reproduire exclusivement dans des ressources telles que les fleurs, les champignons, les fruits, les feuilles, les cactus etc. Certaines drosophiles sont spécialistes d'une seule espèce hôte, comme *D. sechellia* sur les fruits de *Morinda citrifolia*, ou *D. pachea* sur les tiges pourrissantes du cactus *Lophoceros schottii*. D'autres espèces sont généralistes et pondent sur plusieurs hôtes différents (Markow et O'Grady 2008). Par exemple, de nombreuses espèces de drosophiles, dont *D. immigrans*, *D. melanogaster* et *D. simulans*, sont cosmopolites et retrouvées à proximité des humains.

#### 2.1.2. Cycle de vie

Comme tous les diptères, les drosophiles sont des insectes holométaboles, c'est-à-dire que la forme juvénile et la forme adulte sont totalement différentes par la morphologie, l'habitat, et le mode de vie. A la fin de leur développement, les larves se métamorphosent en adulte par le biais d'un stade nymphal (Matsumura, Fuchikawa, et Miyatake 2017). Chez les diptères en général et



les drosophiles en particulier, les larves sont vermiformes, elles sont apodes et ont une tête réduite (Figure 2). Le stade nymphal des drosophiles est appelé pupe.

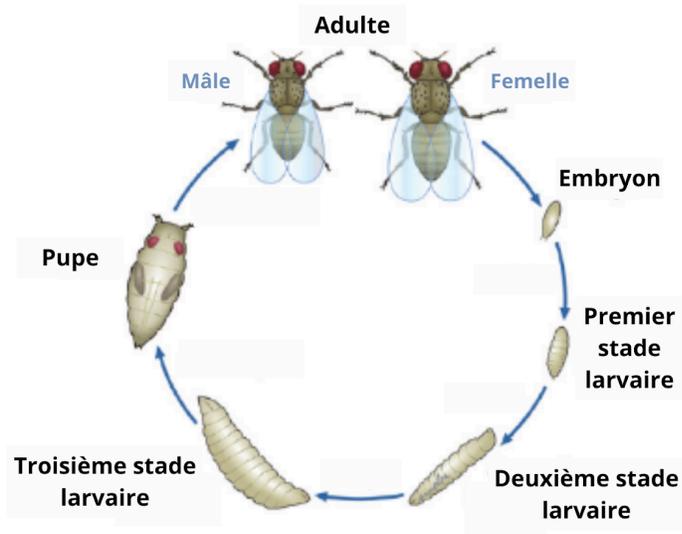
### **2.1.3. Fécondité**

La fécondité des drosophiles se réfère par la capacité d'une femelle à produire des œufs viables (Krebs 2014). Elle est généralement mesurée par le nombre total d'œufs pondus sur une certaine période. La fécondité des femelles est notamment liée à la maturité sexuelle des femelles (Markow et O'Grady 2008), à la condition physique notamment la taille des individus (Lefranc et Bundgaard 2000), et à la disponibilité des nutriments (Klepsatel et al. 2020).

La maturité sexuelle des femelles, qui est déterminée par l'âge et l'état de développement des gamètes, est un déterminant clé de leur fécondité (Markow et O'Grady 2008). En effet, les femelles atteignent leur capacité maximale de ponte une fois qu'elles ont atteint la pleine maturité, un processus qui peut être influencé par des conditions environnementales telles que la température et la photopériode (Markow et O'Grady 2008).

### **2.1.4. Fertilité**

La fertilité fait référence à la capacité des drosophiles à produire des descendants viables (Krebs 2014). Cela implique non seulement la production d'œufs par les femelles (fécondité), mais aussi la capacité de ces œufs à être fécondés et à se développer en individus adultes fertiles. Tout comme la fécondité, ce processus est influencé par divers facteurs tels que le régime alimentaire des parents (Nunes et Drummond-Barbosa 2023), l'âge des parents (Kern et al. 2001) et les conditions environnementales (température, relations interspécifiques...) (Evans, Toews, et Sial 2018; Cerasti et al. 2023).

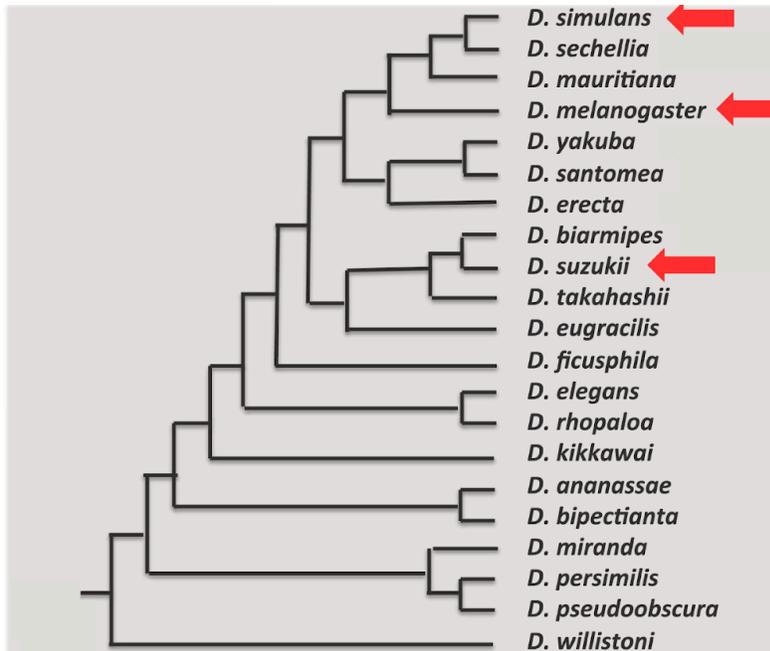


**Figure 2** : Cycle de vie des drosophiles d'après le schéma de Ong et al. (2015). Le cycle de vie de la drosophile est relativement rapide. Le développement de la drosophile est divisé en plusieurs stades : oeuf, larve (premier stade, deuxième stade et troisième stade), nymphe et adulte.

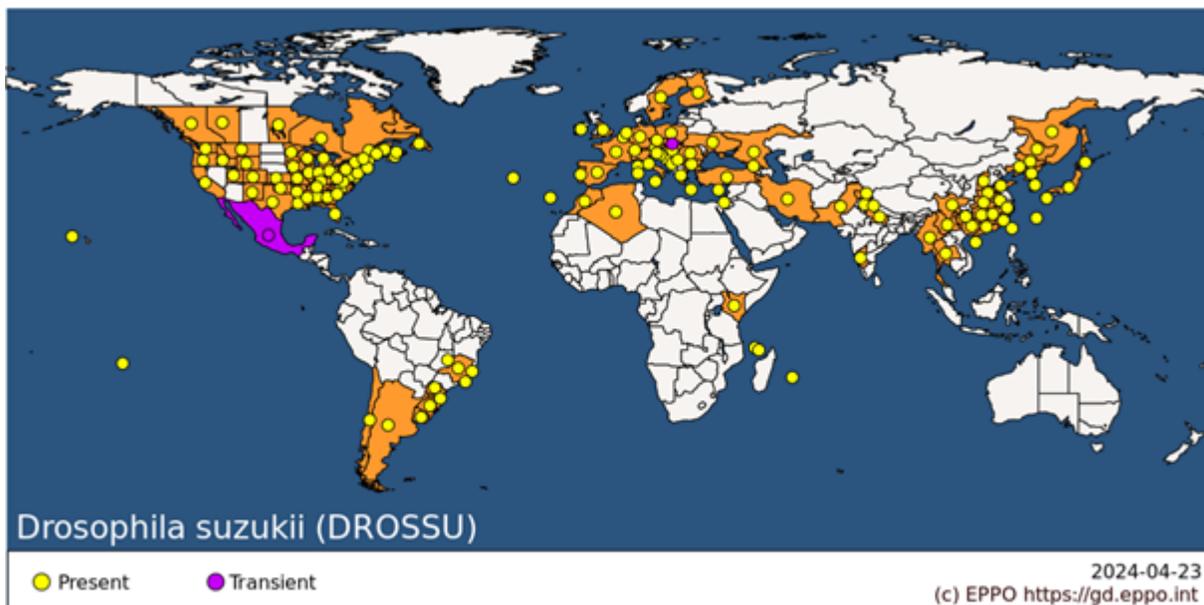
### 2.1.5. *Drosophila suzukii*

*D. suzukii* fait partie du sous-genre *Sophophora*, tout comme *D. simulans* et *D. melanogaster* (Figure 3). Les mâles *D. suzukii* mesurent entre 2,3 et 3,0 mm de long et les femelles entre 2,5 et 4,0 mm de long. Le mâle peut être identifié par la présence d'une grande tache noire sub-distale sur l'aile et par un protarsus avec deux petites rangées de 3-4 soies formant un peigne sexuel. Les femelles n'ont pas de taches sur les ailes et présentent un grand ovipositeur dentelé (Yuzuki et Tidon 2020) leurs permettant de pondre dans des fruits en cours de maturation ou mûrs (Atallah et al. 2014). Une femelle *D. suzukii* peut pondre au cours de sa vie entre 200 et 600 œufs (Lee et al. 2011). La ponte va varier selon divers facteurs tels que la température (Tochen et al. 2014), les ressources nutritives (Silva-Soares et al. 2017) ou encore les interactions avec les autres espèces de drosophiles (Tungadi et al. 2023). La température de développement optimale de *D. suzukii* se situe autour de 28°C (Ryan et al. 2016). A des températures plus basses, le temps de développement est plus long (Tochen et al. 2014).

D'origine asiatique, la distribution géographique de *D. suzukii* s'est rapidement étendue dans le monde entier (Figure 4) (Santos et al. 2017). Son aire de répartition a rapidement pu s'étendre grâce aux activités humaines, telles que le transport de fruits et d'autres produits frais qui sont responsables de l'introduction de nombreuses espèces à travers le monde (Perveen 2018). Les caractéristiques qui ont permis à cette mouche une telle expansion sont sa large gamme de plantes hôtes (Poyet et al. 2015; Kenis et al. 2016), son temps de générations très court (entre 8 et 10 jours à 25°C (Lee et al. 2011)), la capacité des femelles à pondre dans des fruits sains leurs octroyant une nouvelle niche écologique par rapport aux autres espèces de drosophiles, l'absence de prédateurs (Gabarra et al. 2015), ainsi que la tolérance aux variations climatiques (Little, Chapman, et Hillier 2020).



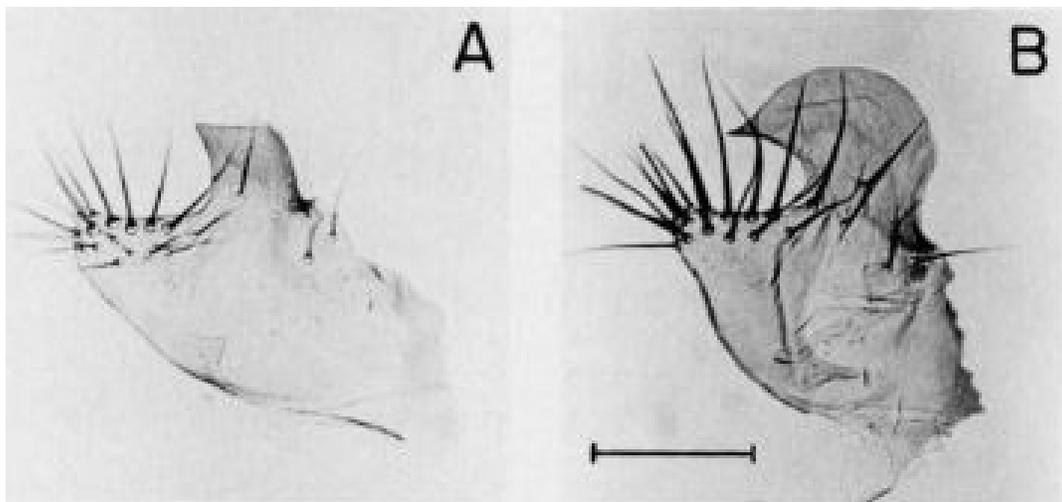
**Figure 3** : Phylogénie du sous genre *Sophophora* d’après Markow (2015). Nos trois espèces d’intérêt sont pointées avec les flèches rouges.



**Figure 4** : Répartition de *D. suzukii* dans le monde (dernière mise à jour des données : 17-11-2023). En jaune les zones où *D. suzukii* est présente (<https://gd.eppo.int>).

### 2.1.6. *Drosophila melanogaster* et *Drosophila simulans*

*D. melanogaster* et *D. simulans* sont des espèces soeurs. Il s'agit de deux espèces cosmopolites communes et commensales de l'homme que l'on trouve couramment sur les fruits en décomposition (Lachaise et Silvain 2004). *D. melanogaster* est un organisme modèle courant en biologie du développement et en génétique (Deepa, Akshaya, et Solomon FD 2009) en raison de sa structure génétique simple, composée de seulement quatre chromosomes (Ong et al. 2015) et du fait que plus de la moitié des gènes de *D. melanogaster* ont des homologues chez l'Homme (Beckingham et al. 2005). Les deux espèces ont souvent été confondues du fait de leurs ressemblances morphologiques. Sturtevant (1919) a montré qu'il s'agissait de deux espèces différentes en croisant des populations naturelles de *D. simulans* (et qu'il pensait être *D. melanogaster*) avec des souches de référence de *D. melanogaster* de laboratoire. En raison de sa grande ressemblance morphologique avec *D. melanogaster*, la seconde espèce a été appelée *D. simulans*. La seule différence morphologique évidente entre ces deux espèces est la divergence des organes génitaux mâles (Figure 5). Chez *D. melanogaster*, ils se présentent comme un petit crochet alors que chez *D. simulans*, il ressemble à une coquille de noix (Capy et Gibert 2004).



**Figure 5** : Organes génitaux extérieurs des mâles *D. melanogaster* (A) et *D. simulans* (B) (Coyne 1983).

## **2.2. Méthodes de lutte contre *D. suzukii***

De nombreuses méthodes de gestion de *D. suzukii* sont en cours de développement tels que la technique de l'insecte stérile, la technique de l'insecte incompatible, la lutte biologique ou encore l'utilisation de plantes pièges (Tableau 1). Toutes ces méthodes peuvent être intégrées dans une stratégie de gestion intégrée. Il s'agit d'une approche de gestion des ravageurs qui fait appel à différentes méthodes de contrôle pour minimiser les dommages sur les cultures tout en réduisant l'impact sur l'environnement (Manosathiyadevan, Bhuvaneshwari, et Latha 2017; Sharma, Kooner, et Arora 2017).

## **2.3. Interférence reproductive**

### **2.3.1. Qu'est-ce que l'interférence reproductive ?**

Les premières observations d'interférence reproductive remontent au début du 20<sup>ème</sup> siècle, dans un cadre de biologie évolutive et de génétique (Gavrilets 2000). Le terme d'interférence reproductive est un terme générique apparu autour des années 90. Ce terme désigne plusieurs interactions sexuelles interspécifiques. Gröning et Hochkirch (2008) ont identifiés sept catégories de mécanismes d'interférence reproductive qui sont : le brouillage des signaux, la rivalité hétérosécificique, la parade nuptiale mal orientée, les tentatives d'accouplement hétérosécificiques, le choix erroné de la femelle, les accouplements hétérosécificiques ainsi que l'hybridation. Chez les animaux, l'interférence reproductive est généralement le résultat d'une reconnaissance incomplète des espèces (Burdfield-Steel et Shuker 2011). On parle également de "satyrisation" chez les animaux, ce terme correspond à une forme d'interférence sexuelle dans laquelle les mâles d'une espèce s'accouplent avec les femelles d'une autre espèce, ce qui diminue considérablement leur condition physique et ne génère pas d'hybrides (Bargielowski et Lounibos 2016; Kishi, Nishida, et Tsubaki 2009). Toutefois, les mâles peuvent également subir des coûts de reproduction, notamment en raison de l'investissement de temps et d'énergie dans la parade nuptiale hétérosécificique ou dans les tentatives d'accouplement qui n'aboutissent pas à une reproduction réussie (Kandul et al. 2006).

**Tableau 1 :** Liste des principales méthodes de lutte utilisées (ou en cours de développement) contre *D. suzukii*.

Technique	Cible la survie ou la reproduction ?	Etat d'avancement	Principe	Commentaires
Lutte chimique	La survie	Déjà utilisée	Utilisation d'insecticides pour réduire l'infestation de <i>D. suzukii</i> (Bruck et al. 2011).	- Développement de résistances aux molécules utilisées (Gress et Zalom 2019) - Atteinte aux organismes non cibles (Sánchez-Bayo 2021)
Biocontrôle	La survie	En cours de développement	Utilisation par augmentation ou introduction d'organismes pour prévenir ou réduire les dommages causés par les ravageurs : prédateurs (Ulmer et al. 2021), parasitoïdes (Chabert et al. 2012).	- Les organismes utilisés ne sont pas spécifiques à <i>D. suzukii</i> et peuvent avoir une large gamme de proies
Plantes pièges	La reproduction	En cours de développement	Utilisation de plantes attractives pour le ravageur qui vont le détourner de la culture principale.	- 100% de mortalité des larves de <i>D. suzukii</i> dans les fruits de la plante piège (Ulmer et al. 2020)
Technique de l'insecte stérile	La reproduction	En cours de développement	Lâchés répétés sur le terrain de mâles stérilisés par irradiation (Lance et McInnis 2021) qui vont inséminer les femelles sauvages qui ne vont plus se reproduire, entraînant une réduction des populations d'insectes nuisibles.	- Spécifique à l'espèce
Technique de l'insecte incompatible	La reproduction	En cours de développement	Lâchers de mâles rendus stériles par l'infection d'une bactérie du genre <i>Wolbachia</i> . Les reproductions entre les mâles infectés et les femelles sauvages se résultent par une mortalité embryonnaire due à une incompatibilité cytoplasmique entre les gamètes (Zabalou et al. 2004).	- Spécifique à l'espèce - <i>Wolbachia</i> est un parasite courant chez les arthropodes (Werren, Baldo, et Clark 2008) qui manipule la reproduction des hôtes
Techniques culturales	La survie et la reproduction	Déjà utilisé et en cours de développement	Gestion des pratiques culturales et de l'environnement afin de réduire les populations de ravageurs et les dommages (Schöneberg et al. 2021). Ex : utilisation de filets, récoltes rapprochées, taille des cultures, gestion des déchets de fruits, gestion des potentielles plantes hôtes aux alentours...	- Atteinte à la survie : manipulation du microclimat des cultures - Atteinte à la reproduction : gestion des potentiels sites de ponte

Jugées peu fréquentes, les interactions d'interférence reproductive interspécifiques ont souvent été omises des interactions interspécifiques (Mallet 2005). Cela a eu pour conséquence de rendre notre compréhension des rôles écologiques et évolutifs de l'interférence reproductive incomplète (Kyogoku 2015). Cependant, au même titre que la compétition pour les ressources, la prédation ou encore le parasitisme, l'interférence reproductive est une forme répandue d'interaction interspécifique qui se produit chez tout type d'organisme se reproduisant par voie sexuée (Gröning et Hochkirch 2008). Kyogoku (2015) précise même que “toute espèce se reproduisant sexuellement, quel que soit son groupe taxonomique ou son niveau trophique, peut potentiellement être affectée par l'interférence reproductive d'une autre espèce (généralement étroitement apparentée)”. Comme d'autres interactions interspécifiques, l'interférence reproductive peut agir sur la structure des communautés et influencer sur l'aire de répartition des espèces (Grether, Finneran, et Drury 2024).

### 2.3.2. Conséquences de l'interférence reproductive

L'interférence reproductive peut avoir plusieurs conséquences écologiques et évolutives sur les espèces qui la subissent. Les conséquences écologiques peuvent aller d'un déplacement de niche écologique d'une des deux espèces (Noriyuki et Osawa 2016), à une extinction locale (Gröning et Hochkirch 2008). Noriyuki et Osawa (2016) ont montré avec leur étude que l'interférence reproductive entre deux espèces de coccinelles *Harmonia axyridis* et *Harmonia yedoensis* est responsable de la spécialisation d' *H. yedoensis* sur des proies moins adaptées à la nutrition des jeunes larves. *H. yedoensis* était retrouvé uniquement sur des pins et ses larves ne se nourrissaient que de pucerons géants du pin alors que *H. axyridis* était retrouvé dans de nombreux habitats différents (les vergers, les prairies et les forêts de conifères et de feuillus). Ce déplacement forcé serait dû au fait que les mâles d'*H. axyridis* ont tendance à s'accoupler davantage avec les femelles hétérospécifiques, alors que les mâles *H. yedoensis* n'ont pas cette tendance. Fader (2016) a quant à lui montré avec les deux espèces de moustiques invasives *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* un déclin rapide des populations d'*Ae. aegypti* dans certaines régions de la Floride (Etats-Unis) qu'*Ae. albopictus* avait envahies. Les femelles d'*Ae. aegypti* subissent des coûts plus élevés en cas d'insémination croisée avec *Ae. albopictus* que les femelles d'*Ae. albopictus* avec les mâles d'*Ae. aegypti*.

Concernant les conséquences évolutives, le coût de fitness de l'interférence reproductive sous forme de satyrisation va entraîner une réduction du succès reproductif et donc une réduction du taux de croissance de l'espèce la subissant. C'était notamment le cas aux Etats-Unis avec *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* (Fader 2016). Afin de faire face aux conséquences négatives de l'interférence reproductive, des mécanismes de spéciation tels que le renforcement peuvent se produire. Il s'agit d'un processus par lequel des mécanismes d'isolement reproductif se renforcent conduisant à éviter la reproduction entre espèces différentes (Servedio et Noor 2003). Des mécanismes d'isollements comportementaux peuvent également être développés par les espèces (Uy, Irwin, et Webster 2018) incluant des différences dans le comportement de reproduction, la désynchronisation des périodes de reproduction, et des incompatibilités dans les signaux de cour ou dans la forme des organes reproducteurs (Weber et Strauss 2016). En d'autres termes, l'isolement reproductif va empêcher les espèces de se reproduire entre elles, même lorsqu'elles coexistent dans le même habitat.

### **2.3.3. Interférence reproductive chez les drosophiles**

Des cas d'interférence reproductive ont été documentés en laboratoire entre *Drosophila subobscura* et *Drosophila permilis* (Manzano-Winkler et al. 2017), *D. suzukii* et *D. melanogaster* (Cerasti et al. 2023; Chen et al. 2020), ou encore *D. simulans* et *D. melanogaster* (Manning 1959). Les caractéristiques observées étaient notamment les phénomènes d'isolement reproductif (Manning 1959) ou encore l'impact de l'interférence reproductive sur la fécondité des femelles lorsqu'elle est due à des accouplements forcés (harcèlement de la part des mâles hétérospécifiques) (Manzano-Winkler et al. 2017) ou à des barrières reproductives incomplètes (Cerasti et al. 2023).

### **3. Matériels et méthodes**

#### **3.1. Élevage des insectes**

##### **3.1.1. Élevage et maintien des souches**

Des populations expérimentales de *D. suzukii*, *D. melanogaster* et *D. simulans* ont été établies au CTIFL de Balandran à partir d'individus collectés en 2022 dans le Gard (*D. suzukii* collectée par G. Zriki) ou à l'été 2021 à Civrieux, Auvergne-Rhône-Alpes (*D. melanogaster* et *D. simulans* collectées par C. Vieira).

Les trois populations étaient maintenues dans des chambres climatiques différentes afin d'éviter toute contamination. L'élevage de *D. suzukii* était maintenu dans les conditions climatiques suivantes :  $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , 60% d'hygrométrie et un cycle de lumière/obscurité de 14h : 10h. Les élevages de *D. simulans* et *D. melanogaster* étaient maintenus dans les conditions climatiques suivantes :  $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$  avec un cycle de lumière/obscurité de 16h : 8h et 60% d'hygrométrie. Toutes les drosophiles étaient élevées dans des cages entomologiques Bugdorm® (32,5 x 32,5 x 32,5 cm) en filet de nylon (référence : 4M3030), à une densité d'environ 2500 individus par cage. Les cages contenaient du feuillage artificiel et de faux fruits afin de rendre l'environnement plus stimulant pour les mouches (Figure 6). De l'eau ainsi que de la nourriture sèche composée à  $\frac{1}{4}$  de sucre et  $\frac{3}{4}$  de levure de bière inactive étaient à disposition en quantité non limitante dans les cages.

Des boîtes de milieu nutritif artificiel dit « carotte » composé de 86,4% d'eau, 3,2% de poudre de carotte, 1,9% de levure de bière inactive, 3,2% de sucre blanc, 1% d'agar, 1,3% de semoule de maïs et 0,3% de nipagine, ainsi que 2,2% d'éthanol à 96% et 0,4% d'acide propionique étaient utilisés dans les élevages. Ces boîtes étaient changées régulièrement selon un planning permettant le maintien des souches dans le temps. Le milieu carotte était utilisé comme substrat de ponte mais servait également de nourriture humide. Il était placé dans les cages pendant 24 heures afin que les femelles puissent pondre. Les boîtes étaient ensuite récupérées et gardées jusqu'à émergence des nouveaux adultes.



**Figure 6** : Présentation du système de cages. Les cages 1 et 2 servent uniquement au maintien de la souche. La cage 3, quant à elle, sert aux lâchers des nouveaux individus émergeant des boîtes de milieu carotte.

### 3.1.2. Préparation des mouches

Afin de standardiser la taille des individus utilisés dans les expérimentations, la ponte des parents sur milieu carotte était limitée à huit heures. Pour des raisons logistiques, les individus de l'espèce *D. suzukii* étaient sexés différemment des *D. simulans* et *D. melanogaster*. Les adultes *D. suzukii* émergents des boîtes de ponte étaient collectés dès les premières heures d'émergence entre 0 et 4h. Pour ce faire, les boîtes étaient placées à 24°C et régulièrement (approximativement toutes les heures) les adultes émergents étaient collectés afin d'être sexés et de s'assurer de leur virginité. En les isolant très rapidement avant maturité sexuelle le risque d'accouplement est limité. Le sexage des *D. suzukii* s'effectuait à J-4 avant le lancement de l'essai, au froid. Les mouches étaient aspirées puis placées au congélateur pendant 1mn 10 s ± 10 s provoquant un coma froid (Overgaard et MacMillan 2017). Une fois les mouches anesthésiées, le sexage s'effectuait ensuite sur un pain de glace sous loupe binoculaire (Figure 7). Les mouches étant sexées quelques heures après émergence, les tâches présentes sur les ailes des mâles n'étaient pas encore visibles. Le sexage se basait donc sur l'observation des organes génitaux extérieurs, notamment par la présence ou non d'un ovipositeur à l'extrémité de l'abdomen. Une fois sexées, les mouches étaient placées selon leur sexe par petits groupes de 10 dans des tubes contenant du milieu carotte supplémenté en levure (quantité de levure de bière inactive doublée), qui stimule la maturation sexuelle des drosophiles, à 24°C ± 1°C pendant quatre jours. A J-1 avant le lancement des essais, une vérification du sexage des *D. suzukii* était effectuée, les tubes de femelles contenant un ou plusieurs mâles étaient éliminés. Si une ou plusieurs femelles étaient présentes dans les tubes de mâles, elles étaient retirées. Les mouches dans l'incapacité de voler étaient également éliminées des tubes.

Les mâles *D. simulans* et *D. melanogaster* étaient sexés après aspiration le jour de lancement de l'expérimentation, c'est-à-dire à l'âge de quatre à cinq jours et le sexage s'effectuait sous anesthésie au CO<sub>2</sub>. Une fois endormis, ils étaient placés sur un pad poreux relié à une bouteille de gaz diffusant constamment du CO<sub>2</sub> permettant de garder les mouches anesthésiées tout le long du sexage (Artiss et Hughes 2007) (Figure 8). Elles étaient placées dans des tubes contenant un morceau de papier filtre imbibé d'eau sucrée selon le nombre de mâles requis par modalité,

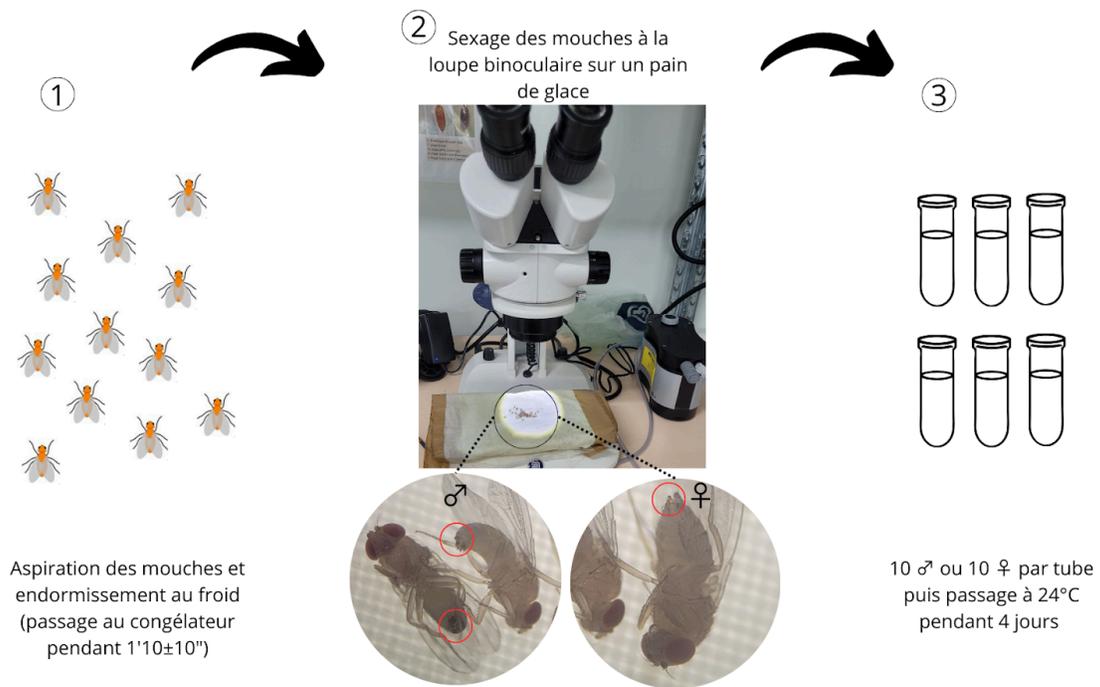


Figure 7 : Récapitulatif de la méthode de sexage des *D. sukukii* à J-4.

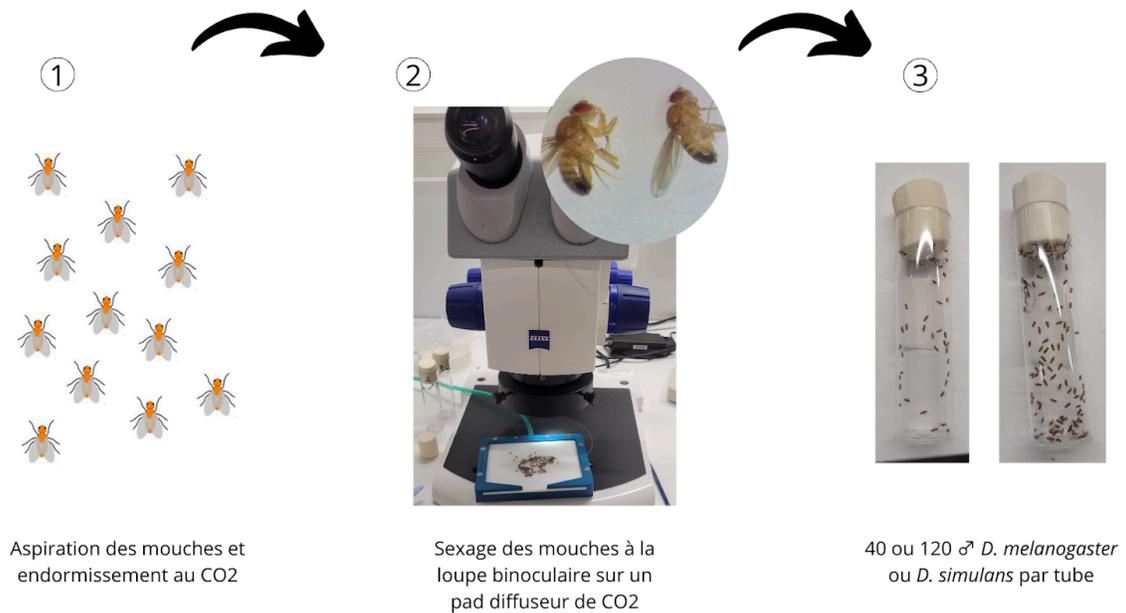


Figure 8 : Méthode de sexage des *D. simulans* et *D. melanogaster* à J-0.

c'est-à-dire 40 ou 120 mâles par tube. Les mâles *D. simulans* et *D. melanogaster* sexés étaient utilisés le jour même.

### **3.2. Estimation de l'impact des mâles hétérospécifiques sur la reproduction de *D. sukukii***

Afin de tester l'existence d'une interférence reproductive entre les femelles *D. sukukii* et les mâles *D. melanogaster* et *D. simulans* dans un milieu complexe, nous avons étudié les impacts de la présence des mâles hétérospécifiques sur la fécondité, ainsi que sur la fertilité des femelles *D. sukukii*. Cette étude a eu lieu sur trois répétitions temporelles, d'une durée de trois jours chacune.

Dix couples de *D. sukukii* ont été placés dans chaque cage avec différentes densités de mâles hétérospécifiques. Le plan expérimental comprenait cinq modalités répliquées cinq fois chacune. Les modalités sont : un témoin négatif avec dix mâles *D. sukukii* et dix femelles *D. sukukii*, deux modalités avec dix mâles et dix femelles *D. sukukii* et soit quarante mâles *D. melanogaster* soit quarante mâles *D. simulans* et deux modalités avec dix mâles et dix femelles *D. sukukii* et soit cent vingt mâles *D. melanogaster* soit cent vingt mâles *D. simulans*. Les proportions de mâles non-*sukukii* ajoutées dans les modalités traitements proviennent de l'article de Cerasti et al. (2023). Le tableau 2 récapitule les modalités testées. Toutes les modalités étaient réparties aléatoirement dans trois cellules climatiques avec les conditions climatiques suivantes :  $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , 75% d'hygrométrie et un cycle de lumière/obscurité de 14h :10h. Les cages contenaient du feuillage artificiel et des faux fruits afin de complexifier le milieu en le rendant plus réaliste tout en évitant d'ajouter des interactions entre les composés produits par les plantes et les insectes. De l'eau ainsi que de la nourriture sèche *ad libitum* (1:4 sucre:levure de bière inactive) étaient à disposition dans les cages. Les premiers jours, de la nourriture humide était également placée dans les cages sous forme de milieu carotte supplémenté en levure.

**Tableau 2** : Récapitulatif des modalités

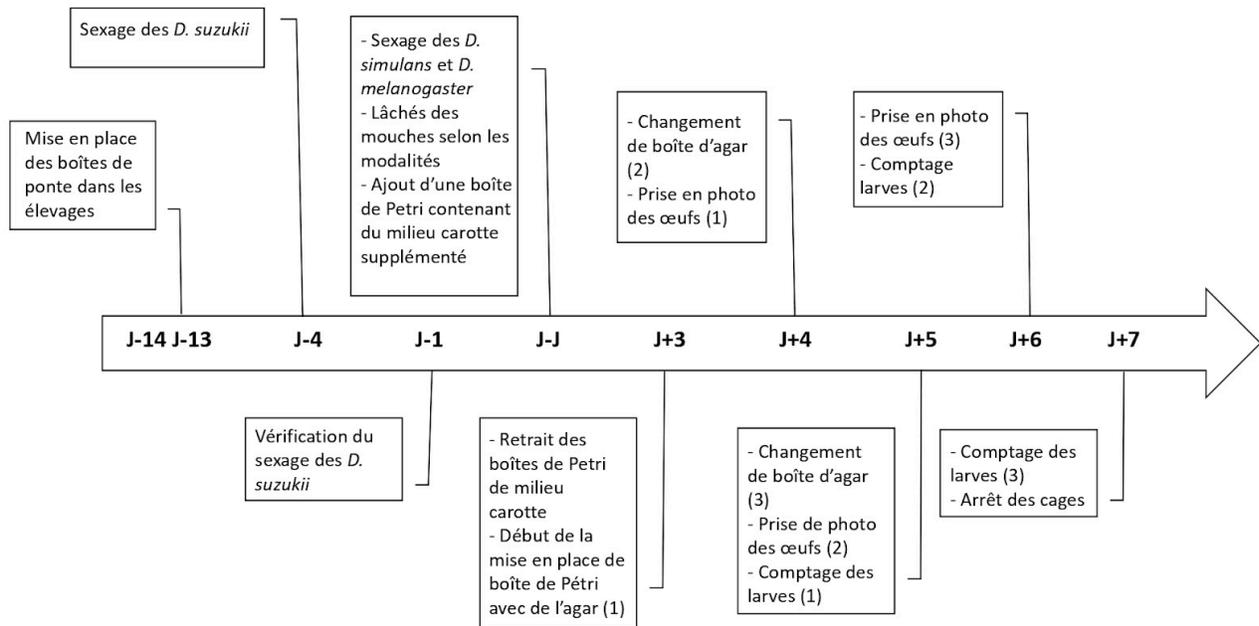
Modalités	Nombre de blocs temporel	Nombre de répétitions (cage) par bloc	Nombre total de répétitions (cage)	Nombre de <i>D. suzukii</i> vierges par cage	Nombre de mâles hétérospécifiques par cage
Témoin négatif (Contrôle Dsu 0 :10)	3	Bloc 1 : 5 Bloc 2 : 5 Bloc 3 : 5	15	10 ♂ + 10 ♀	0
Traitement <i>D. melanogaster</i> (Dmel 40 :10)	3	Bloc 1 : 4 Bloc 2 : 4 Bloc 3 : 5	13	10 ♂ + 10 ♀	40 ♂ <i>D. melanogaster</i>
Traitement <i>D. simulans</i> (Dsim 40 :10)	3	Bloc 1 : 4 Bloc 2 : 5 Bloc 3 : 5	14	10 ♂ + 10 ♀	40 ♂ <i>D. simulans</i>
Traitement <i>D. melanogaster</i> (Dmel 120 :10)	3	Bloc 1 : 5 Bloc 2 : 5 Bloc 3 : 4	14	10 ♂ + 10 ♀	120 ♂ <i>D. melanogaster</i>
Traitement <i>D. simulans</i> (Dsim 120 :10)	3	Bloc 1 : 4 Bloc 2 : 5 Bloc 3 : 4	13	10 ♂ + 10 ♀	120 ♂ <i>D. simulans</i>

### 3.2.1. Expériences préliminaires

Les deux premiers essais réalisés n'ont pas été inclus dans les analyses, mais ont permis d'apporter des ajustements au protocole afin de répondre à l'hypothèse de départ. Les analyses se portent donc sur trois répétitions temporelles valides. Lors du premier essai, les *D. suzukii* ont été sexées à J-1 avant la mise en place de l'essai et placés dix par dix selon leur sexe dans des tubes en plastique contenant cinq millilitres de milieu carotte. Durant cet essai, un fort taux de mortalité des adultes *D. suzukii* a été constaté et les pontes des femelles étaient très faibles, voir nulles pour certaines modalités.

Lors du second essai, le sexage des *D. suzukii* a été effectué à J-2 avant la mise en place de l'essai. Le taux de mortalité des *D. suzukii* a considérablement diminué, cependant les pontes étaient toujours très faibles. Afin de remédier à cela lors des essais suivants, il a été décidé de sexer les *D. suzukii* plus tôt, soit quatre jours avant la mise en place de l'essai, afin de laisser plus de temps aux femelles pour atteindre leur maturité sexuelle. Pour stimuler le développement ovarien, le milieu carotte sur lequel les *D. suzukii* sexés étaient placés, a été enrichi en doublant la dose de levure. Enfin, des boîtes de Petri contenant du milieu carotte supplémenté en levure ont été placées dans les cages juste après le lancement d'un essai. Les boîtes restaient du vendredi au lundi (soit le week-end) puis étaient retirées le lundi matin. Le planning définitif de l'expérimentation est schématisé dans la figure 9.

Les trois essais valides qui ont été analysés suivaient le schéma suivant : les *D. suzukii* étaient sexés quatre jours avant la mise en place de l'essai et placés dans des tubes dix par dix avec du milieu carotte supplémenté en levure pour assurer la maturation sexuelle. Les vérifications de sexage étaient effectuées la veille de la mise en place. Les *D. simulans* et *D. melanogaster* étaient sexés le jour de mise en place de l'essai puis les mouches étaient mises ensemble selon chaque modalité dans les cages. Les mouches restaient ensemble deux jours avec du milieu carotte supplémenté à disposition. Suite à ces deux jours, les notations sur l'estimation de la fécondité et de la fertilité des femelles *D. suzukii* commençaient (Figure 9). Les trois expérimentations ont été conduites selon ce protocole entre le 1 avril et le 6 juin 2024.

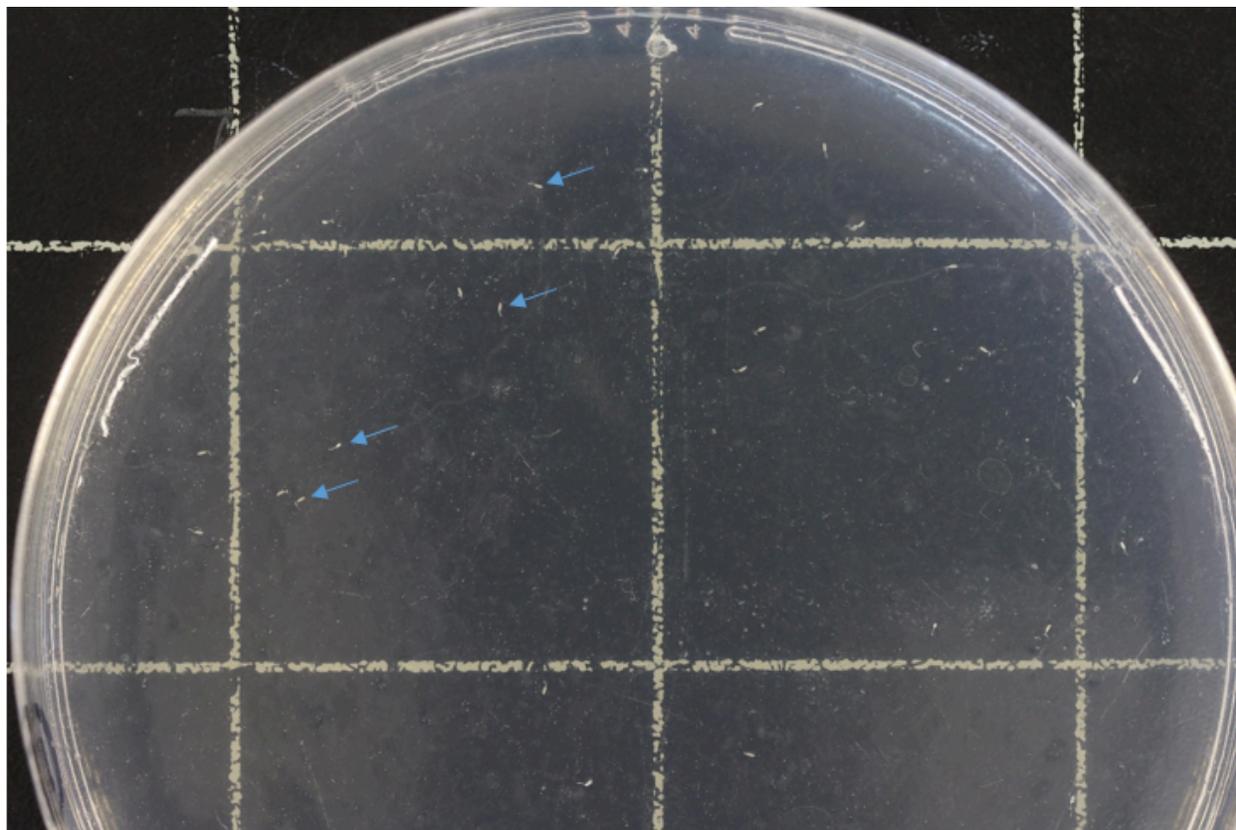


**Figure 9 :** Récapitulatif du planning des différentes tâches effectuées lors du lancement d'un essai.

### **3.2.2. Estimation de la fécondité et de la fertilité des femelles *D. suzukii* en fonction des modalités appliquées**

La fécondité a été mesurée par le nombre d'œufs pondus par les femelles *D. suzukii* en présence ou non de mâles hétérospécifiques sur une période de trois jours et non sur la durée de vie totale des femelles. Afin d'évaluer la fécondité des femelles *D. suzukii* en fonction des différentes modalités, des boîtes de Petri contenant de l'agar à 1% auxquels étaient ajoutés 3% de sucre et 1% de sirop de cerise étaient utilisées. Ce milieu a été choisi car il est transparent et permet de voir et de compter les œufs et les larves facilement. L'attractivité de ce milieu comme un milieu de ponte a été testée au préalable dans les élevages de *D. suzukii*. Les boîtes de Petri restaient en place 24 heures dans les cages et étaient changées selon le planning de la figure 7 pendant trois jours. Une fois les 24 heures passées dans les cages, les boîtes étaient photographiées avec un appareil Canon EOS 90D à objectif macro 100 mm et les œufs étaient comptés sur les images importées sur ordinateur (Figure 10). Lors des passages dans les cellules climatiques pour le changement des boîtes d'agar, des observations ponctuelles des interactions entre les *D. suzukii* et les mâles hétérospécifiques étaient effectuées.

Dans le cadre de ce stage, la fertilité des femelles *D. suzukii* a été estimée par le nombre de larves qui ont émergé des œufs pondus, soit le taux d'éclosion. Le taux d'éclosion était obtenu en appliquant la formule suivante :  $(\text{Nombre de larves})/(\text{Nombre d'œufs})$  et a été mesuré sur une période de trois jours. Pour ce faire, une fois les boîtes de Petri contenant les œufs photographiées, ces dernières étaient placées à  $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures. Les larves issues de l'éclosion des œufs après 24 heures étaient comptées à la loupe binoculaire afin d'obtenir le taux d'éclosion. De l'eau saturée en sucre était ajoutée dans la boîte d'agar lors du comptage afin de faire sortir les larves de l'agar. Cette méthode est notamment utilisée par la détection des larves dans les fruits (Balagawi et al. 2022). Au fur et à mesure du comptage, les larves étaient éliminées.



*Figure 10* : Photographie d'une boîte de Petri avec des œufs, 24 heures après mise en place dans une cage. Quelques œufs sont pointés par les flèches bleues.

### **3.3. Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R et l'interface R studio version 4.2.2 (2022-10-31).

#### **3.3.1. Effet des modalités sur la fécondité**

Pour comparer la fécondité des femelles *D. sukikii* entre modalités et entre blocs temporels, un modèle avec une structure d'erreur binomiale négative a été ajusté avec la fonction “glm.nb” du package “MASS” (les données étaient sur-dispersées avec : variance supérieure à la moyenne; (Zuur et al. 2009)). La sélection des variables (“blocs” et “modalités”) du meilleur modèle a été réalisée via des tests du rapport de vraisemblance (LRT) avec la fonction “anova” du package “stats”. Le LRT compare deux modèles hiérarchiquement imbriqués afin de déterminer si le fait d'ajouter de la complexité au modèle est parcimonieux ou non. Ici, une sélection par étape a été utilisée ; elle consiste à commencer sans aucune variable dans le modèle et à tester l'ajout de chaque variable ou interaction. Afin de comparer les estimations obtenues avec notre modèle, un test *post hoc* a été effectué avec la fonction “emmeans” du package “emmeans”.

#### **3.3.2. Effet des modalités sur la fertilité**

Pour comparer les taux d'éclosion des femelles *D. sukikii* entre modalités et entre blocs temporels, un modèle avec une structure d'erreur binomiale (régression logistique) a été ajusté avec la fonction “glm” du package “stats”. La sélection des variables (“blocs”, “modalités”, “nombre d'oeufs” et “jours”) du meilleur modèle a été réalisée via des tests du rapport de vraisemblance (LRT) avec la fonction “anova” du package “stats”. La sélection du modèle a été réalisée comme décrite dans la partie 3.3.1. Afin de comparer les estimations obtenues avec notre modèle, un test *post hoc* a été effectué avec la fonction “emmeans” du package “emmeans”.



## 4. Résultats

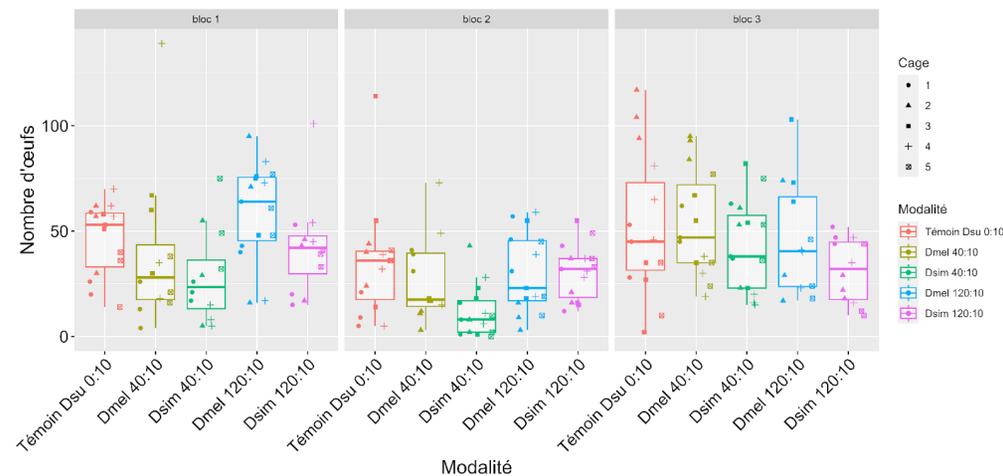
### 4.1. Comparaison de la fécondité des femelles *D. sukii* entre modalités

En moyenne, 10 femelles *D. sukii* d'une cage pondent au total en trois jours ( $\pm$ erreur type) 44,2 œufs ( $\pm 4,07$ ) en l'absence de mâles hétérosécifiques. En présence de 40 et 120 mâles de *D. melanogaster*, cette moyenne s'élève respectivement à 41 ( $\pm 4,69$ ) et 45 ( $\pm 3,96$ ) œufs. En présence de 40 et 120 mâles *D. simulans*, 10 femelles *D. sukii* pondent en moyenne respectivement 27,7 ( $\pm 3,51$ ) et 34,5 ( $\pm 2,81$ ) œufs. Parmi toutes les modalités, le nombre minimal et maximal d'œufs pondus étaient respectivement de 0 et 139 (modalité de traitement avec les 40 mâles *D. simulans* et *D. melanogaster* respectivement ; Tableau 3).

La fécondité des femelles *D. sukii* diffère significativement entre les trois blocs ( $F=15,82$ ,  $df=2$ ,  $P\text{-valeur}=4,36e^{-07}$  ; Figure 11; Annexe 1) et l'interaction entre l'effet modalité et l'effet bloc est significative ( $LRT \chi^2 = 17,69$ ,  $df=8$ ,  $P\text{-valeur} = 0,023$  ; Tableau 4). En effet, la fécondité pour le traitement avec 40 mâles *D. simulans* était significativement inférieure au témoin sans mâles hétérosécifiques dans le bloc 2 mais pas dans les deux autres blocs (Tableau 5). La fécondité des femelles *D. sukii* dans le bloc 3 est significativement supérieure à celle du bloc 2 (Figure 11; Annexe 1). Aucun effet significatif des autres modalités sur la fécondité des femelles *D. sukii* n'a été détecté (Tableau 5).

**Tableau 3 :** Récapitulatif du nombre moyen d’œufs pondus par 10 femelles *D. sukuii* en présence de 0, 40 et 120 mâles hétérosécifiques *D. melanogaster* ou *D. simulans*.

Modalités	Nombre total de répétitions (cage)	Nombre moyen d’œufs (±erreur type)	Ecart type
Témoin négatif (Témoin Dsu 0 :10)	15	44,2(±4,07)	27,3
Traitement <i>D. melanogaster</i> (Dmel 40 :10)	13	41(±4,69)	29,3
Traitement <i>D. simulans</i> (Dsim 40 :10)	14	27,7(±3,51)	22,7
Traitement <i>D. melanogaster</i> (Dmel 120 :10)	14	45(±3,96)	25,7
Traitement <i>D. simulans</i> (Dsim 120 :10)	13	34,5(±2,81)	17,5



**Figure 11 :** Fécondité de 10 femelles *D. sukuii* par bloc en fonction des différentes modalités testées. Contrôle Dsu 0 :10 = modalité témoin négatif avec uniquement des *D. sukuii* ; Dmel 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* ; Dmel 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. melanogaster* ; Dsim 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. simulans* ; Dsim 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. simulans*.

**Tableau 4 :** Résultats de la sélection du modèle pour tester les effets des modalités et leur interaction avec l’effet bloc sur la fécondité des femelles *D. sukuii* (LTR = tests du rapport de vraisemblance).

Variables testées	X <sup>2</sup>	Degré de liberté	P-valeur
Bloc	X <sup>2</sup> = 24,28	2	5,33e <sup>-06</sup>
Traitement	X <sup>2</sup> = 17,64	4	0,0014
Interaction Traitement*Bloc	X <sup>2</sup> = 17,69	8	0,0236

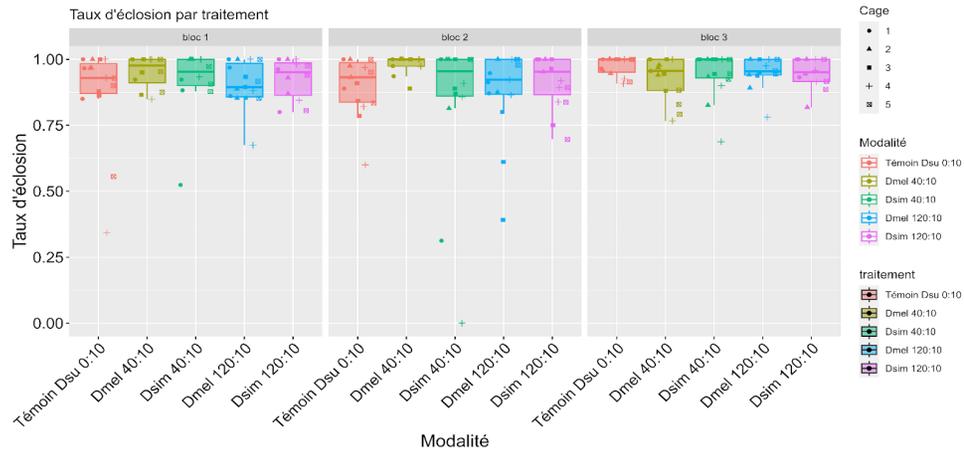
**Tableau 5 :** Récapitulatifs des résultats du test post-hoc sur la fécondité des femelles *D. sukuii* avec le modèle traitant les interactions entre les traitements et les blocs temporels.

Bloc	Traitement	Coefficients	Erreur standard	P-valeur
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 40 :10	0,17	0,240	0,95
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 40 :10	0,50	0,242	0,23
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 120 :10	-0,24	0,225	0,81
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 120 :10	0,09	0,240	0,99
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 40 :10	0,23	0,243	0,87
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 40 :10	1,06	0,236	<0,0001 ***
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 120 :10	0,13	0,229	0,97
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 120 :10	0,10	0,229	0,98
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 40 :10	-0,03	0,225	0,99
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 40 :10	0,18	0,226	0,93
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 120 :10	0,11	0,239	0,98
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 120 :10	0,50	0,241	0,22

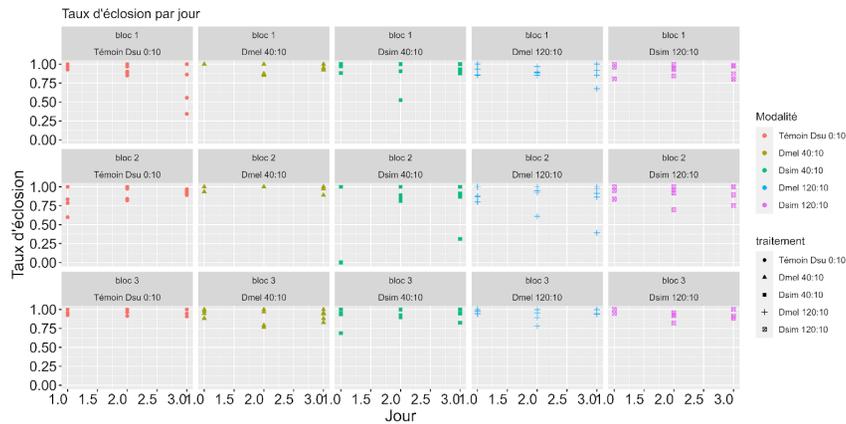
#### **4.2. Comparaison de la fertilité des femelles *D. sukii* entre modalités**

Les pontes de 10 femelles *D. sukii* sans mâle hétérospécifique après passage à 24°C pendant 24h ont un taux d'éclosion de 0,87. Le taux moyen d'éclosion est significativement plus élevé dans le bloc 3 (Figure 12).

La régression logistique binomiale a révélé plusieurs effets significatifs sur le taux d'éclosion (Tableau 6). Le taux d'éclosion des oeufs pondus par les femelles *D. sukii* diffère significativement entre les trois blocs ( $F=7,07$ ,  $df=2$ ,  $P\text{-valeur}=0,001$  ; Figure 12) et selon la durée passée dans la cage ( $F=7,47$ ,  $df=1$ ,  $P\text{-valeur}=0,006$  ; Figure 13). L'effet jours sur le taux d'éclosion est significativement négatif (GLM binomiale, Estimate = -0.319;  $p=6.74e-09$ ), indiquant que le taux d'éclosion diminue en fonction du temps (Figure 13; Annexe 2). Le nombre d'œufs pondus par boîte de Petri influait aussi significativement sur le taux d'éclosion (GLM binomiale, Estimate = -0,004;  $p=0,02$ ).



**Figure 12 :** Taux médian d’éclosion par bloc en fonction des différentes modalités testées. Contrôle Dsu 0 :10 = modalité témoin négatif avec uniquement des *D. suzukii* ; Dmel 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* ; Dmel 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. melanogaster* ; Dsim 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. simulans* ; Dsim 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. simulans*.



**Figure 13 :** Taux d’éclosion par modalité, par bloc et selon le nombre de jours depuis l’introduction des boîtes d’agar.

Contrôle Dsu 0 :10 = modalité témoin négatif avec uniquement des *D. suzukii* ;  
 Dmel 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* ;  
 Dmel 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. melanogaster* ;  
 Dsim 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. simulans* ;  
 Dsim 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. simulans*.

**Tableau 6 :** Résultats de la sélection du GLM pour tester les effets des modalités sur le taux d’éclosion des femelles *D. suzukii* (LRT = tests du rapport de vraisemblance).

Variables testées	$\chi^2$	Degré de liberté	P-valeur
<b>Bloc</b>	$\chi^2 = 71,86$	2	$2,484 \times 10^{-18}$
<b>Traitement</b>	$\chi^2 = 13,50$	4	0,0090
<b>Interaction Bloc*Traitement</b>	$\chi^2 = 68,60$	8	$9,315 \times 10^{-12}$
<b>Jour</b>	$\chi^2 = 31,74$	1	$1,761 \times 10^{-8}$
<b>Nombre d’œufs</b>	$\chi^2 = 5,19$	1	0,0226

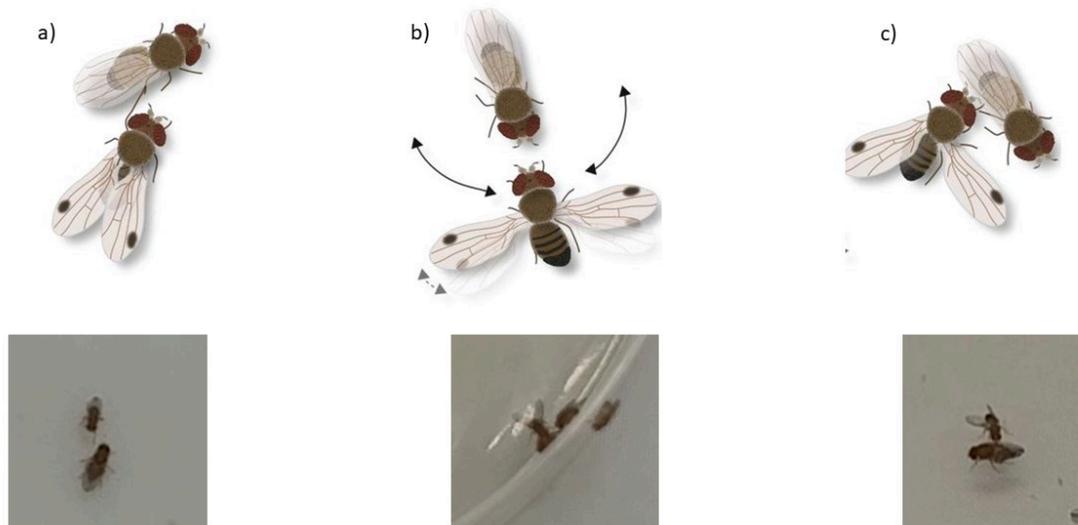
L'interaction entre l'effet modalité et l'effet bloc est également significative (LRT  $\chi^2 = 5,19$ ,  $df=1$ , P-valeur = 0,0226 ; Tableau 6). En effet, le taux d'éclosion pour le traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* était significativement différent du témoin sans mâles hétérospécifiques dans les trois blocs, mais avec des effets opposés. Il était significativement supérieur au témoin dans les blocs 1 et 2 tandis que dans le bloc 3, il était significativement inférieur au témoin. Dans le bloc 1, le taux d'éclosion avec 120 mâles *D. simulans* était significativement supérieur au taux d'éclosion du témoin. Dans le bloc 2, le taux d'éclosion avec 40 mâles *D. simulans* était quant à lui significativement inférieur à celui du témoin (Figure 12; Tableau 7). Aucun effet significatif des autres modalités sur la fertilité des femelles *D. sukii* n'a été détecté (Tableau 7).

#### **4.3. Observation ponctuelle des interactions entre les mâles hétérospécifiques et les femelles *D. sukii***

Lors des passages dans les cellules climatiques, des comportements de parade nuptiale entre les mâles hétérospécifiques et les femelles *D. sukii* ont été observés ponctuellement. Ces comportements étaient majoritairement observés dans les cages avec les modalités comportant les mâles *D. simulans* (Figure 14). Les deux comportements des mâles hétérospécifiques les plus observés étaient un écartement des ailes pendant plusieurs secondes (Figure 14b) et le déploiement de l'aile dirigée vers l'avant de la femelle (Figure 14c).

**Tableau 7 :** Récapitulatif des résultats du test post-hoc sur la fertilité des femelles *D. suzukii* avec le modèle traitant les interactions entre les traitements et les blocs temporels.

Bloc	Traitement	Coefficients	Erreur standard	P-valeur
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 40 :10	-0,69	0,210	0,008**
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 40 :10	-0,60	0,234	0,07
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 120 :10	-0,30	0,159	0,31
1	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 120 :10	-0,73	0,210	0,004**
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 40 :10	-1,54	0,412	0,001**
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 40 :10	0,94	0,250	0,001**
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 120 :10	0,39	0,209	0,32
2	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 120 :10	0,02	0,228	1,0
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 40 :10	0,80	0,258	0,01*
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 40 :10	0,33	0,294	0,78
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dmel 120 :10	0,73	0,283	0,06
3	Témoin Dsu 0 :10 - Dsim 120 :10	0,61	0,323	0,30



**Figure 14 :** Comportements de parade nuptiale observés entre les mâles hétérosécifiques et les femelles *D. suzukii*. D'après le schéma de Revadi et al. (2015) (photographies : Cécile Rococo).

- a) Le mâle tend une patte antérieure touche la femelle.
- b) Le mâle se trouve à côté ou dans le champ visuel de la femelle et écarte les ailes pendant plusieurs secondes.
- c) Le mâle déploie les deux ailes ou seulement celle dirigée vers l'avant de la femelle.

## 5. Discussion

Ce stage visait à déterminer s'il existe une interférence reproductive entre les mâles des espèces *D. melanogaster* et *D. simulans* et les femelles de *D. sukii* dans un milieu complexe. Les principaux résultats obtenus pour l'étude de l'interférence reproductive en milieu complexe sont qu'il y avait des interactions entre les blocs temporels et les modalités testées. En effet, pour la fécondité, nous avons obtenu un effet d'un traitement dans un bloc temporel mais dans l'ensemble il n'y avait pas d'effet significatif des traitements sur la fécondité des femelles *D. sukii*. Un traitement a significativement impacté la fertilité mais sur les trois blocs temporels la fertilité augmentait ou diminuait selon les blocs.

L'effet des blocs temporels observé pourrait être lié à une variation temporelle de la densité larvaire dans les boîtes de milieu carotte de nos élevages de drosophile. En effet, les densités larvaires dans ces boîtes étaient partiellement contrôlées en ne laissant les femelles pondre que huit heures ; toutefois le nombre d'œufs pondus ainsi que le nombre de femelles pondant n'étaient pas contrôlés. Par exemple chez *D. melanogaster*, la fertilité des femelles élevées à haute densité larvaire a tendance à diminuer dans le temps comparé à des femelles élevées à densité larvaire normale (Roper, Pignatelli, et Partridge 1996). Une densité larvaire accrue aura un effet sur divers caractères morphologiques mais également sur la fécondité des femelles (Chiang et Hodson 1950). S'il s'avère que ces observations chez *D. melanogaster* sont identiques chez *D. sukii*, alors la variation temporelle entre blocs montrée par notre modèle pourrait donc être due aux différences de densité larvaire dans nos élevages.

Dans notre modèle, nous avons observé que le nombre d'œufs pondus ainsi que les jours diminuaient aussi significativement le taux d'éclosion. Kern et al. (2001) expliquent dans leurs article que le succès d'éclosion des femelles *D. melanogaster* ainsi que la viabilité larvaire diminuent avec l'âge de la mère ce qui expliquerait nos baisse de taux d'éclosion au fil des jours. Concernant le nombre d'œufs, il se pourrait que plus une femelle pond d'œufs et moins elle va allouer de ressources à ces derniers, ce qui pourrait affecter le développement des embryons et des larves par la suite. Cette hypothèse laisse sous-entendre une préférence pour la quantité d'œufs pondus à la qualité.

Globalement, les résultats obtenus lors de ce stage suggèrent que ceux de Cerasti et al. (2023) ne sont pas généraux. En effet, Cerasti et al. (2023) ont démontré que dans des conditions de laboratoire, la présence de différentes proportions de mâles de l'espèce *D. melanogaster* réduisait significativement le nombre de descendants de *D. sukukii*. Cependant, avec les mêmes proportions de mâles hétérosécificiques, nous n'obtenons pas les mêmes résultats. Ces différences pourraient être dues à la complexification du milieu, ainsi qu'à l'augmentation du volume des cages dans lesquelles l'interférence reproductive est testée. En effet, nous avons multiplié le volume des cages par 10 passant de 3 375 cm<sup>3</sup> à 34 328 cm<sup>3</sup>. Nous avons donc un volume par mouche de 572 cm<sup>3</sup> pour nos modalités avec ajout de 40 mâles hétérosécificiques et de 254 cm<sup>3</sup> pour celles avec 120 mâles hétérosécificiques, contre 112 et 48 cm<sup>3</sup> dans l'étude de Cerasti et al. (2023). Ces volumes largement plus élevés offrent des possibilités de déplacements très supérieures et potentiellement une probabilité plus faible pour les mâles hétérosécificiques de rencontrer les femelles de *D. sukukii* (Malek et Long 2019). De plus, Yun, Agrawal et Rundle (2021) ont démontré sur des populations expérimentales de *D. melanogaster* que dans un environnement complexe, les femelles ont plus de contrôle sur les interactions sexuelles car elles sont dans la capacité d'éviter les interactions non désirées. La nocivité des mâles peut être modifiée par l'environnement, avec une réduction du préjudice dans des contextes où les femelles ont davantage de contrôle sur les interactions sexuelles.

En plus du volume des cages, nous avons également complexifié le milieu en ajoutant du feuillage artificiel. Le feuillage artificiel représente des sites de repos ou de rencontre, mais peut également servir de refuge pour les drosophiles. Si les drosophiles se cachent dans ce feuillage, il faut que les individus homosécificiques puissent se retrouver, afin de s'accoupler. Or, des phéromones d'agrégation qui semblent être spécifiques à *D. sukukii* et semblables à la phéromone cis-11-octadécényle acétate (cVA) du sous-groupe *melanogaster* ont été mises en évidence (Lima et al. 2023).

Il est important de préciser que *D. sukukii*, tout comme *D. simulans* et *D. melanogaster* fait partie du sous-groupe *melanogaster*. Comme dit précédemment, ce sous-groupe produit la phéromone appelée cVA qui est un ester produit exclusivement par le bulbe éjaculateur des mâles (Bartelt, Schaner, et Jackson 1985). La cVA joue un rôle important dans la communication notamment

pour les comportements sexuels et sociaux. Cependant, bien qu'elle fasse partie du sous-groupe *melanogaster*, *D. suzukii* ne produit pas cette phéromone du fait d'une atrophie du bulbe éjaculateur des mâles (Dekker et al. 2015). Cette perte de cVA a entraîné avec elle un inversement des comportements des femelles *D. suzukii*, c'est-à-dire qu'en présence de concentration élevées de cVA sur les mâles, les taux d'accouplement sont plus faibles chez *D. suzukii* (Dekker et al. 2015). La mise en évidence des phéromones d'agrégation spécifiques à l'espèce *D. suzukii* et l'inappétence pour la phéromone cVA produites par les mâles hétérosécificiques pourraient apporter des explications aux résultats que nous avons obtenus.

Le comportement de cour et de sélection d'un partenaire des mâles hétérosécificiques envers les femelles *D. suzukii* peut également jouer un rôle dans les résultats que nous avons obtenus. En effet, Dukas (2004) qui a travaillé avec des mâles de *D. melanogaster* et des femelles de *D. simulans* nous explique que lorsque les mâles rencontrent un grand nombre de femelles homo- et hétérosécificiques, y compris des femelles non réceptives à leur parade, ils vont apprendre à reconnaître et à éviter ces femelles. L'expérience et l'apprentissage des mâles va influencer le comportement de cour de ces derniers (Kujtan et Dukas 2009). Dans notre cas, les mâles *D. simulans* et *D. melanogaster* étaient en contact pendant une période plus ou moins longue (quatre jours) avec des femelles de leurs espèces avant le sexage. Si cette période équivaut à une période d'apprentissage pour nos mâles hétérosécificiques, alors il se pourrait que les mâles *D. simulans* et *D. melanogaster* aient évités les femelles *D. suzukii* après des tentatives de parade voir même d'accouplement infructueuses.

Toutefois, quelques comportements de parade nuptiale ont été observés. Les mâles de *D. simulans*, bien qu'étant plus petits que les mâles de *D. melanogaster*, étaient plus présents autour des femelles *D. suzukii*, notamment au niveau des boîtes de Petri. Ces parades nuptiales des mâles non-*suzukii* étaient effectuées au niveau des boîtes de Petri, c'est-à-dire là où les femelles *D. suzukii* viennent pondre et n'ont pas la possibilité de se cacher. Cela pourrait laisser plus de chance d'accouplement aux mâles hétérosécificiques. Oram et Card (2022) ont mis en évidence le fait que la réceptivité des femelles drosophiles à la parade nuptiale des mâles dépend du contexte d'accouplement. Les femelles vierges sont plus réceptives à la parade nuptiale que les femelles déjà accouplées. Nous pouvons émettre l'hypothèse que, si les femelles courtisées par les mâles

hétérospécifiques sont déjà accouplées et sont présentes sur l'agar pour pondre, elles sont donc moins réceptives aux parades nuptiales de ces derniers. Ohashi, Haino-Fukushima, et Fuyama (1991) ont caractérisé une substance produite par les glandes accessoires mâles de *D. suzukii* stimulant l'ovulation et réprimant les accouplements après injection. Une fois accouplées avec des mâles de la même espèce, les femelles *D. suzukii* sont effectivement moins réceptives aux autres accouplements. Cependant, il est important de considérer un autre scénario dans lequel une femelle *D. suzukii* s'accouple d'abord avec un mâle hétérospécifique. Si ces femelles déjà accouplées sont ensuite courtisées par des mâles *D. suzukii*, la question qui se pose est de savoir si elles seront réceptives à un nouvel accouplement. Il est possible que malgré l'accouplement précédent avec un mâle hétérospécifique, la femelle conserve une réceptivité à l'égard des mâles homospécifiques, surtout si les substances inhibitrices produites par les mâles hétérospécifiques en sont pas efficaces chez les femelles *D. suzukii*.

Nos résultats suggèrent que si elle existe, l'interférence reproductive varie en fonction des conditions environnementales. Tout d'abord, nous n'avons pas d'effet systématique de nos traitements sur la fécondité et la fertilité des femelles *D. suzukii* car il y a une interaction entre nos blocs temporels et nos modalités. Les données ne sont donc pas analysables globalement, mais seulement par bloc temporel. Or, s'il y avait un réel effet de nos traitements sur nos modalités, il aurait été visible dans nos trois blocs temporels. De plus, Cerasti et al. (2023) ont observé dans toutes leurs modalités avec ajout de mâles hétérospécifiques une réduction significative de la descendance des femelles *D. suzukii*. Or dans notre cas, les effets observés se portent principalement sur les traitements avec ajout de 40 mâles hétérospécifiques. L'hypothèse d'un effet densité dépendant de mâles hétérospécifiques en milieu complexe pourrait alors être soulevée. Ici, l'effet densité dépendant dépendrait du nombre de mâles hétérospécifiques ajoutés selon nos modalités.

Nos résultats permettent de mettre en évidence le manque de connaissance sur ce phénomène. Effectivement, l'intérêt pour le phénomène d'interférence reproductive comme moyen de biocontrôle pour *D. suzukii* étant récent, ce sujet nécessite des recherches plus approfondies afin d'en comprendre les mécanismes. Les résultats de l'équipe de Cerasti ont permis de montrer qu'il existait une interférence reproductive entre *D. melanogaster* et *D. suzukii* dans un environnement

très pauvre. Nos résultats ont permis de démontrer qu'en complexifiant le milieu, ce phénomène semble plus difficile à mettre en évidence. A l'avenir, il faudrait prendre en compte les effets de densité larvaire dans les élevages et tenter de les randomiser afin de ne plus avoir d'effet blocs temporels. Une étude éthologique des comportements des drosophiles pourrait également apporter des clarifications sur les comportements qu'ont les femelles *D. suzukii* et les mâles des différentes espèces en milieu plus complexe. Revadi et al. (2015) ont constaté dans leur étude que les adultes de *D. suzukii* avaient tendance à s'accoupler dans les 30 minutes qui suivaient leurs regroupements. Grâce à l'étude éthologique, nous serions en capacité de voir si cela est toujours le cas en présence de mâles hétérospécifiques dans un milieu complexe. Il faudrait également s'intéresser aux transferts de sperme et de liquide séminale par les mâles hétérospécifiques lors des potentiels accouplements en étudiant les spermathèques des femelles *D. suzukii*. Par exemple, Tripet et al. (2011) ont démontré que lors d'accouplement hétérospécifiques sur le terrain, chez *Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* il y avait très peu de transferts de sperme. Cependant, les mâles *Ae. albopictus* transféraient lors des accouplement des protéines glandulaires accessoires qui rendent les femelles *Ae. aegypti* réfractaires aux autres accouplements.

De plus, dans l'étude de l'équipe de Cerasti ainsi que la nôtre, les mâles hétérospécifiques sont sous contrainte, il n'ont pas d'autres choix d'accouplement que les femelles *D. suzukii*. Il faudrait envisager de tester ce phénomène d'interférence reproductive avec des femelles *D. suzukii* et des femelles hétérospécifiques afin d'observer le comportement des mâles hétérospécifiques. En effet, la suite logique des recherches sur l'interférence reproductive serait d'appliquer cette méthode de gestion sur les parcelles agricoles en lâchant des mâles hétérospécifiques dans le but de gérer les populations de *D. suzukii*. Cependant si des femelles hétérospécifiques sont présentes en abondance et que les mâles hétérospécifiques préfèrent se reproduire avec ces femelles, l'interférence reproductive ne sera pas efficace. L'étude de Delbac et al. (2017) a révélé que *D. suzukii* dans les vignobles bordelais était accompagnée de trois autres espèces de drosophiles. Parmi ces trois espèces retrouvées, la principale était *D. melanogaster* suivi de *D. subobscura* et de *D. simulans*.

## Conclusion

Ce stage avait pour ambition d'établir un protocole fiable d'évaluation de l'impact de l'interférence reproductive interspécifique sur la fécondité et la fertilité de *D. suzukii* issues d'une souche d'élevage. Les études d'interférence reproductive dans des conditions de laboratoire effectuées antérieurement entre *D. suzukii* et *D. melanogaster* montraient des résultats encourageants concernant le potentielle d'utilisation de cette nouvelle méthode dans le but de gérer les populations de *D. suzukii*. Nous avons voulu creuser davantage afin de voir si cette interférence reproductive pourrait avoir lieu dans des conditions plus complexes, mimant partiellement un milieu naturel. Nous avons également ajouté une espèce dans nos protocoles (*D. simulans*) qui comme *D. melanogaster* n'est pas un ravageur des cultures, se retrouve en France et est proche de *D. suzukii* sur le terrain.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que l'augmentation de la complexité environnementale, notamment via l'ajout de feuillage artificiel et l'élargissement du volume des cages, influence l'existence de l'interférence reproductive. Contrairement aux observations en milieu simplifié, l'effet des mâles hétérospécifiques sur la fécondité et la fertilité des femelles de *D. suzukii* n'a pas été uniforme à travers les différents traitements. Ces résultats suggèrent que l'interférence reproductive pourrait être modulée par les conditions environnementales.

Pour des recherches futures, il serait pertinent de s'affranchir des biais que nous avons eu dans nos essais. Notamment au niveau des densités larvaires non contrôlées dans les élevages qui peuvent jouer sur la fécondité des femelles. En effet, plus il y a de larves sur le milieu nutritif et plus la compétition pour la ressource nutritive sera rude. Les larves qui éclosent en premier vont donc avoir accès à plus de ressources que les larves qui éclosent en dernier. En second biais, nous avons le fait que les mâles hétérospécifiques étaient en contact avec des femelles de la même espèce pendant une longue période avant le sexage (quatre jours). Ces mâles hétérospécifiques étaient potentiellement aptes à faire la différence entre des femelles réceptives ou non à leurs parades et il se pourrait qu'ils aient évité au maximum les interactions avec les femelles *D. suzukii* recherchant des femelles homosécifiques pour s'accoupler.

Par ailleurs, une étude comportementale approfondie des mâles hétérospécifiques pourrait fournir des informations cruciales sur les mécanismes sous-jacents à l'interférence reproductive. Comprendre comment ces mâles choisissent leurs partenaires et si leur comportement change en fonction de la complexité du milieu pourrait permettre d'améliorer la stratégie d'introduction des mâles hétérospécifiques sur le terrain. Il pourrait en être de même pour les individus de *D. suzukii* afin de récolter le maximum d'informations comportementales.

Enfin, une évaluation des potentiels impacts écologiques que cette méthode pourrait avoir sur les communautés d'insectes non-ciblés serait nécessaire pour garantir que l'introduction de mâles hétérospécifiques n'a pas d'effets négatifs imprévus sur l'écosystème. L'objectif final de ces recherches est en effet de développer une méthode de gestion durable qui intègre l'interférence reproductive comme un outil complémentaire dans la lutte contre *D. suzukii* tout en minimisant les impacts sur la biodiversité locale. Sachant que l'interférence reproductive entre *D. simulans* et *D. melanogaster* a déjà été documentée et que ces espèces partagent les mêmes aires de répartition, il ne faudrait pas que l'interférence reproductive se fasse entre ces deux espèces, laissant les populations de *D. suzukii* se multiplier librement.

## Bibliographie

- Artiss, Thomas, et Bobby Hughes. 2007. « Taking the Headaches Out of Anesthetizing *Drosophila* ». *The American Biology Teacher* 69 (8).  
[https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2007\)69\[77:TTHOOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2007)69[77:TTHOOA]2.0.CO;2).
- Atallah, Joel, Lisa Teixeira, Raul Salazar, George Zaragoza, et Artyom Kopp. 2014. « The making of a pest: the evolution of a fruit-penetrating ovipositor in *Drosophila suzukii* and related species ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281 (1781): 20132840. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2840>.
- Balagawi, Solomon, Sonya Broughton, Weiguang Liang, John Archer, David Cruickshank, Christine Cruickshank, Idris Barchia, et Mark M. Stevens. 2022. « Evaluation of brown sugar flotation for detecting Queensland and Mediterranean fruit fly (*Diptera: Tephritidae*) infestation in Australian cherries ». *Crop Protection* 151 (janvier):105823. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105823>.
- Bargielowski, Irka Ewa, et Leon Philip Lounibos. 2016. « Satyrization and Satyrization-Resistance in Competitive Displacements of Invasive Mosquito Species ». *Insect Science* 23 (2): 162-74. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12291>.
- Bartelt, Robert J., Angela M. Schaner, et Larry L. Jackson. 1985. « Cis-Vaccenyl Acetate as an Aggregation Pheromone in *Drosophila Melanogaster* ». *Journal of Chemical Ecology* 11 (12): 1747-56. <https://doi.org/10.1007/BF01012124>.
- Beckingham, Kathleen M, J Douglas Armstrong, Michael J Texada, Ravi Munjaal, et Dean A Baker. 2005. « *Drosophila Melanogaster* - The model organism of choice for the complex biology of multi-cellular organisms » 18 (2): 17-29.
- Bruck, Denny J, Mark Bolda, Lynell Tanigoshi, Jimmy Klick, Joseph Kleiber, Joe DeFrancesco, Beverly Gerdeman, et Hollis Spitler. 2011. « Laboratory and Field Comparisons of Insecticides to Reduce Infestation of *Drosophila Suzukii* in Berry Crops ». *Pest Management Science* 67 (11): 1375-85. <https://doi.org/10.1002/ps.2242>.
- Burdfield-Steel, Emily R., et David M. Shuker. 2011. « Reproductive Interference ». *Current Biology* 21 (12): R450-51. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.03.063>.
- Calabria, G., J. Máca, G. Bächli, L. Serra, et M. Pascual. 2012. « First Records of the Potential Pest Species *Drosophila Suzukii* (*Diptera: Drosophilidae*) in Europe ». *Journal of Applied Entomology* 136 (1-2): 139-47. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01583.x>.
- Capy, Pierre, Jean David, Yves Carton, et E. PLA. 1987. « Grape breeding *Drosophila* communities in southern France: short range variation in ecological and genetical structure of natural populations ». *Acta Oecologia* 8 (janvier):435-40, 1.62 Impact Factor.
- Capy, Pierre, et Patricia Gibert. 2004. « *Drosophila Melanogaster*, *Drosophila Simulans*: So Similar yet so Different » 11:5-16. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0965-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0965-2_1).
- Carrasquilla, María C., et L. Philip Lounibos. 2015. « Satyrization without evidence of successful insemination from interspecific mating between invasive mosquitoes ». *Biology Letters* 11 (9): 20150527. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0527>.
- Cerasti, Flavia, Valentina Mastrantonio, Romano Dallai, Massimo Cristofaro, et Daniele Porretta. 2023. « Applying Satyrization to Insect Pest Control: The Case of the Spotted Wing *Drosophila*, *Drosophila Suzukii* Matsumura ». *Insects* 14 (6): 569. <https://doi.org/10.3390/insects14060569>.
- Chabert, Stan, Roland Allemand, Mathilde Poyet, Patrice Eslin, et Patricia Gibert. 2012. « Ability

- of European Parasitoids (*Hymenoptera*) to Control a New Invasive Asiatic Pest, *Drosophila Suzukii* ». *Biological Control* 63 (1): 40-47.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.05.005>.
- Chaud, Marco, Eliana B. Souto, Aleksandra Zielinska, Patricia Severino, Fernando Batain, Jose Oliveira-Junior, et Thais Alves. 2021. « Nanopesticides in Agriculture: Benefits and Challenge in Agricultural Productivity, Toxicological Risks to Human Health and Environment ». *Toxics* 9 (6): 131. <https://doi.org/10.3390/toxics9060131>.
- Chen, Yongzhuo, Min Zhang, Wei Hu, Jing Li, Pengcheng Liu, et Hao-Yuan Hu. 2020. « The Mating Rate of *Drosophila Suzukii* Reduction Due to Reproductive Interference from *Drosophila Melanogaster* ». <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-39315/v2>.
- Chiang, H. C., et A. C. Hodson. 1950. « An Analytical Study of Population Growth in *Drosophila melanogaster* ». *Ecological Monographs* 20 (3): 173-206.  
<https://doi.org/10.2307/1948580>.
- Cini, A., G. Anfora, L. A. Escudero-Colomar, A. Grassi, U. Santosuosso, G. Seljak, et A. Papini. 2014. « Tracking the Invasion of the Alien Fruit Pest *Drosophila Suzukii* in Europe ». *Journal of Pest Science* 87 (4): 559-66. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0617-z>.
- Cini, Alessandro, Claudio Ioriatti, et Gianfranco Anfora. 2012. « A Review of the Invasion of *Drosophila Suzukii* in Europe and a Draft Research Agenda for Integrated Pest Management » 65 (1): 149-60.
- Coyne, Jerry A. 1983. « Genetic Basis of Differences in Genital Morphology Among Three Sibling Species of *Drosophila* ». *Evolution* 37 (6): 1101-18.  
<https://doi.org/10.2307/2408834>.
- Deepa, Parvathi, Amritha Akshaya, et Paul Solomon FD. 2009. « Wonder Animal Model for Genetic Studies - *Drosophila Melanogaster* Its life cycle and breeding methods - a review » 2 (juin):33-38.
- Dekker, Teun, Santosh Revadi, Suzan Mansourian, Sukanya Ramasamy, Sebastien Lebreton, Paul G. Becher, Sergio Angeli, Omar Rota-Stabelli, et Gianfranco Anfora. 2015. « Loss of *Drosophila* pheromone reverses its role in sexual communication in *Drosophila suzukii* ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282 (1804): 20143018.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2014.3018>.
- Delbac, Lionel, Raphaël Rouzes, Adrien Rusch, et Denis Thiéry. 2017. « Geographical Area Extension of *Drosophila Suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Bordeaux Vineyards » 128:28-36.
- Dias, Aline Moreira, Miguel Borges, Maria Carolina Blassioli Moraes, Matheus Lorrann Figueira Coelho, Andrej Čokl, et Raúl Alberto Laumann. 2021. « Inhibitory Copulation Effect of Vibrational Rival Female Signals of Three Stink Bug Species as a Tool for Mating Disruption ». *Insects* 12 (2): 177. <https://doi.org/10.3390/insects12020177>.
- Dukas, R. 2004. « Male Fruit Flies Learn to Avoid Interspecific Courtship ». *Behavioral Ecology* 15 (4): 695-98. <https://doi.org/10.1093/beheco/arh068>.
- Evans, Richard K., Michael D. Toews, et Ashfaq A. Sial. 2018. « Impact of short- and long-term heat stress on reproductive potential of *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) ». *Journal of Thermal Biology* 78 (décembre):92-99.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.09.011>.
- Fader, Joseph E. 2016. « The Importance of Interspecific Interactions on the Present Range of the Invasive Mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and Persistence of Resident

- Container Species in the United States ». *Journal of Medical Entomology* 53 (5): 992-1001. <https://doi.org/10.1093/jme/tjw095>.
- Gabarra, Rosa, Jordi Riudavets, Gustavo A. Rodríguez, Juli Pujade-Villar, et Judit Arnó. 2015. « Prospects for the Biological Control of *Drosophila Suzukii* ». *BioControl* 60 (3): 331-39. <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9646-z>.
- Gavrilets, Sergey. 2000. « Rapid Evolution of Reproductive Barriers Driven by Sexual Conflict ». *Nature* 403 (6772): 886-89. <https://doi.org/10.1038/35002564>.
- Gress, Brian E, et Frank G Zalom. 2019. « Identification and Risk Assessment of Spinosad Resistance in a California Population of *Drosophila Suzukii* ». *Pest Management Science* 75 (5): 1270-76. <https://doi.org/10.1002/ps.5240>.
- Grether, Gregory F., Ann E. Finneran, et Jonathan P. Drury. 2024. « Niche Differentiation, Reproductive Interference, and Range Expansion ». *Ecology Letters* 27 (1): e14350. <https://doi.org/10.1111/ele.14350>.
- Gröning, Julia, et Axel Hochkirch. 2008. « Reproductive Interference Between Animal Species ». *The Quarterly Review of Biology* 83 (3): 257-82. <https://doi.org/10.1086/590510>.
- Hendrichs, Jorge, et Alan Robinson. 2009. « Chapter 243 - Sterile Insect Technique ». In *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*, édité par Vincent H. Resh et Ring T. Cardé, 953-57. San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00252-6>.
- Horlings, L. G., et T. K. Marsden. 2011. « Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could 'feed the world' ». *Global Environmental Change, Special Issue on The Politics and Policy of Carbon Capture and Storage*, 21 (2): 441-52. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>.
- Kandul, Nikolai P., Kevin M. Wright, Ekaterina V. Kandul, et Mohamed AF Noor. 2006. « No evidence for learned mating discrimination in male *Drosophila pseudoobscura* ». *BMC Evolutionary Biology* 6 (1): 54. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-6-54>.
- Kenis, Marc, Lorenzo Tonina, René Eschen, Bart van der Sluis, Manuel Sancassani, Nicola Mori, Tim Haye, et Herman Helsen. 2016. « Non-Crop Plants Used as Hosts by *Drosophila Suzukii* in Europe ». *Journal of Pest Science* 89 (3): 735-48. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0755-6>.
- Kern, Stefanie, Martin Ackermann, Stephen C. Stearns, et Tadeusz J. Kawecki. 2001. « Decline in offspring viability as a manifestation of aging in *Drosophila melanogaster* ». *Evolution* 55 (9): 1822-31. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2001.tb00831.x>.
- Kienzle, Renate, Lara B. Groß, Shelby Caughman, et Marko Rohlf. 2020. « Resource Use by Individual *Drosophila Suzukii* Reveals a Flexible Preference for Oviposition into Healthy Fruits ». *Scientific Reports* 10 (1): 3132. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59595-y>.
- Kishi, Shigeki, Takayoshi Nishida, et Yoshitaka Tsubaki. 2009. « Reproductive Interference Determines Persistence and Exclusion in Species Interactions ». *Journal of Animal Ecology* 78 (5): 1043-49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01560.x>.
- Klepsatel, Peter, Diana Knoblochová, Thirnahalli Nagaraj Girish, Heinrich Dirksen, et Martina Gálíková. 2020. « The Influence of Developmental Diet on Reproduction and Metabolism in *Drosophila* ». *BMC Evolutionary Biology* 20 (1): 93. <https://doi.org/10.1186/s12862-020-01663-y>.
- Krebs, Charles J. 2014. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 6.

- ed., Pearson new international ed. Always Learning. Harlow: Pearson.
- Kujtan, Lara, et Reuven Dukas. 2009. « Learning magnifies individual variation in heterospecific mating propensity ». *Animal Behaviour* 78 (2): 549-54. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.05.026>.
- Kuno, Eizi. 1992. « Competitive Exclusion through Reproductive Interference ». *Researches on Population Ecology* 34 (2): 275-84. <https://doi.org/10.1007/BF02514797>.
- Kyogoku, Daisuke. 2015. « Reproductive Interference: Ecological and Evolutionary Consequences of Interspecific Promiscuity ». *Population Ecology* 57 (2): 253-60. <https://doi.org/10.1007/s10144-015-0486-1>.
- Lachaise, Daniel, et Jean-François Silvain. 2004. « How Two Afrotropical Endemics Made Two Cosmopolitan Human Commensals: The *Drosophila Melanogaster*-*D. Simulans* Palaeogeographic Riddle ». *Genetica* 120 (1): 17-39. <https://doi.org/10.1023/B:GENE.0000017627.27537.ef>.
- Lance, D. R, et D. O McInnis. 2021. « Sterile Insect Technique ». In *Steril Insect Technique*, 2nd Edition, 113-42.
- Lee, Jana C, Denny J Bruck, Amy J Dreves, Claudio Ioriatti, Heidrun Vogt, et Peter Baufeld. 2011. « In Focus: Spotted Wing *Drosophila*, *Drosophila Suzukii* , across Perspectives ». *Pest Management Science* 67 (11): 1349-51. <https://doi.org/10.1002/ps.2271>.
- Lefranc, Agnès, et Jørgen Bundgaard. 2000. « The Influence of Male and Female Body Size on Copulation Duration and Fecundity in *Drosophila Melanogaster* ». *Hereditas* 132 (3): 243-47. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2000.00243.x>.
- Lewis, D., et Leslie K. Crowe. 1958. « Unilateral Interspecific Incompatibility in Flowering Plants ». *Heredity* 12 (2): 233-56. <https://doi.org/10.1038/hdy.1958.26>.
- Lima, Itzel, Eduardo Tadeo, María Remedios-Mendoza, María de Jesús Martínez-Hernández, et Cesar Ruiz-Montiel. 2023. « Evidence of a pheromone involved in the behaviour of *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae) ». *Journal of Applied Entomology* 147 (10): 990-1000. <https://doi.org/10.1111/jen.13195>.
- Little, Catherine M, Thomas W Chapman, et N Kirk Hillier. 2020. « Plasticity Is Key to Success of *Drosophila Suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Invasion ». Édité par Kris Godfrey. *Journal of Insect Science* 20 (3): 5. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa034>.
- Malek, Heather L., et Tristan A. F. Long. 2019. « Spatial Environmental Complexity Mediates Sexual Conflict and Sexual Selection in *Drosophila Melanogaster* ». *Ecology and Evolution* 9 (5): 2651-63. <https://doi.org/10.1002/ece3.4932>.
- Mallet, James. 2005. « Hybridization as an Invasion of the Genome ». *Trends in Ecology & Evolution* 20 (5): 229-37. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.02.010>.
- Manning, Aubrey. 1959. « The sexual isolation between *Drosophila melanogaster* and *Drosophila simulans* ». *Animal Behaviour* 7 (1): 60-65. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(59\)90031-4](https://doi.org/10.1016/0003-3472(59)90031-4).
- Manosathiyadevan, Manoharan, V. Bhuvaneshwari, et R. Latha. 2017. « Impact of Insects and Pests in Loss of Crop Production: A Review ». In *Sustainable Agriculture towards Food Security*, édité par Arulbalachandran Dhanarajan, 57-67. Singapore: Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6647-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6647-4_4).
- Manzano-Winkler, Brenda, Alexander J. Hish, Emily K. Aarons, et Mohamed A. F. Noor. 2017. « Reproductive Interference by Male *Drosophila Subobscura* on Female *D. Persimilis*: A Laboratory Experiment ». *Ecology and Evolution* 7 (7): 2268-72.

- <https://doi.org/10.1002/ece3.2855>.
- Markow, T. A., et P. O'Grady. 2008. « Reproductive Ecology of *Drosophila* ». *Functional Ecology* 22 (5): 747-59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01457.x>.
- Markow, Therese Ann. 2015. « The secret lives of *Drosophila* flies ». *eLife* 4 (juin):e06793. <https://doi.org/10.7554/eLife.06793>.
- Matsumura, Kentarou, Taro Fuchikawa, et Takahisa Miyatake. 2017. « Decoupling of Behavioral Trait Correlation Across Life Stages in Two Holometabolous Insects ». *Behavior Genetics* 47 (4): 459-67. <https://doi.org/10.1007/s10519-017-9847-1>.
- Mitchell, Christina, Stewart Leigh, Luke Alphey, Wilfried Haerty, et Tracey Chapman. 2022. « Reproductive interference and Satyrization: mechanisms, outcomes and potential use for insect control ». *Journal of Pest Science* 95 (juin). <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01476-6>.
- Moreira-Hernández, Juan I., Harmeet Ghai, Nicholas Terzich, Ricardo Zambrano-Cevallos, Nora H. Oleas, et Nathan Muchhala. 2023. « Limited Reproductive Interference despite High Rates of Heterospecific Pollen Transfer among Co-Occurring Bat-Pollinated *Burmeistera* ». *American Journal of Botany* 110 (6): e16199. <https://doi.org/10.1002/ajb2.16199>.
- Noriyuki, Suzuki, et Naoya Osawa. 2016. « Reproductive Interference and Niche Partitioning in Aphidophagous Insects ». *Psyche: A Journal of Entomology* 2016 (1): 4751280. <https://doi.org/10.1155/2016/4751280>.
- Nunes, Rodrigo Dutra, et Daniela Drummond-Barbosa. 2023. « A High-Sugar Diet, but Not Obesity, Reduces Female Fertility in *Drosophila Melanogaster* ». *Development (Cambridge, England)* 150 (20): dev201769. <https://doi.org/10.1242/dev.201769>.
- Ohashi, Yuko Y., Kazu Haino-Fukushima, et Yoshiaki Fuyama. 1991. « Purification and characterization of an ovulation stimulating substance from the male accessory glands of *Drosophila suzukii* ». *Insect Biochemistry* 21 (4): 413-19. [https://doi.org/10.1016/0020-1790\(91\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0020-1790(91)90008-3).
- Ong, Cynthia, Lin-Yue Lanry Yung, Yu Cai, Boon-Huat Bay, et Gyeong-Hun Baeg. 2015. « *Drosophila Melanogaster* as a Model Organism to Study Nanotoxicity ». *Nanotoxicology* 9 (3): 396-403. <https://doi.org/10.3109/17435390.2014.940405>.
- Oram, Tess B., et Gwyneth M. Card. 2022. « Context-dependent control of behavior in *Drosophila* ». *Current Opinion in Neurobiology* 73 (avril):102523. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2022.02.003>.
- Overgaard, Johannes, et Heath A. MacMillan. 2017. « The Integrative Physiology of Insect Chill Tolerance ». *Annual Review of Physiology* 79 (Volume 79, 2017): 187-208. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-022516-034142>.
- Perveen, Farzana Khan. 2018. « Introduction to *Drosophila* ». In *Drosophila Melanogaster - Model for Recent Advances in Genetics and Therapeutics*, édité par Farzana Khan Perveen. InTech. <https://doi.org/10.5772/67731>.
- Mathilde Poyet. L'opportunité de niche favorise l'invasion de *Drosophila suzukii* en France. Evolution [q-bio.PE]. Université Claude Bernard - Lyon I, 2014. Français. ffNNT : 2014LYO10169ff. fftel-01128298f
- Poyet, Mathilde, Vincent Le Roux, Patricia Gibert, Antoine Meirland, Geneviève Prévost, Patrice Eslin, et Olivier Chabrerie. 2015. « The Wide Potential Trophic Niche of the Asiatic Fruit Fly *Drosophila Suzukii*: The Key of Its Invasion Success in Temperate Europe? » Édité

- par Nicolas Desneux. *PLOS ONE* 10 (11): e0142785.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142785>.
- Revadi, Santosh, Sébastien Lebreton, Peter Witzgall, Gianfranco Anfora, Teun Dekker, et Paul G. Becher. 2015. « Sexual Behavior of *Drosophila Suzukii* ». *Insects* 6 (1): 183-96.  
<https://doi.org/10.3390/insects6010183>.
- Roper, C., P. Pignatelli, et L. Partridge. 1996. « Evolutionary responses of *Drosophila melanogaster* life history to differences in larval density ». *Journal of Evolutionary Biology* 9 (5): 609-22. <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1996.9050609.x>.
- Rota-Stabelli, Omar, Mark Blaxter, et Gianfranco Anfora. 2013. « *Drosophila Suzukii* ». *Current Biology* 23 (1): R8-9. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.11.021>.
- Ryan, Geraldine D., Lisa Emiljanowicz, Francesca Wilkinson, Melanie Kornya, et Jonathan A. Newman. 2016. « Thermal Tolerances of the Spotted-Wing *Drosophila Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) ». *Journal of Economic Entomology* 109 (2): 746-52.  
<https://doi.org/10.1093/jee/tow006>.
- Sánchez-Bayo, Francisco. 2021. « Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods ». *Toxics* 9 (8): 177. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>.
- Santos, Luana A. dos, Mayara F. Mendes, Alexandra P. Krüger, Monica L. Blauth, Marco S. Gottschalk, et Flávio R. M. Garcia. 2017. « Global Potential Distribution of *Drosophila Suzukii* (Diptera, Drosophilidae) ». *PLOS ONE* 12 (3): e0174318.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174318>.
- Schöneberg, Torsten, Margaret T. Lewis, Hannah J. Burrack, Matthew Grieshop, Rufus Isaacs, Dalila Rendon, Mary Rogers, et al. 2021. « Cultural Control of *Drosophila Suzukii* in Small Fruit—Current and Pending Tactics in the U.S. » *Insects* 12 (2): 172.  
<https://doi.org/10.3390/insects12020172>.
- Servedio, Maria R., et Mohamed A. F. Noor. 2003. « The Role of Reinforcement in Speciation: Theory and Data ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34 (Volume 34, 2003): 339-64. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132412>.
- Sharma, Smriti, Rubaljot Kooner, et Ramesh Arora. 2017. « Insect Pests and Crop Losses ». In *Breeding Insect Resistant Crops for Sustainable Agriculture*, édité par Ramesh Arora et Surinder Sandhu, 45-66. Singapore: Springer Singapore.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4_2).
- Shuker, David M., et Emily R. Burdfield-Steel. 2017. « Reproductive Interference in Insects ». *Ecological Entomology* 42 (S1): 65-75. <https://doi.org/10.1111/een.12450>.
- Silva-Soares, Nuno F., A. Nogueira-Alves, P. Beldade, et Christen Kerry Mirth. 2017. « Adaptation to New Nutritional Environments: Larval Performance, Foraging Decisions, and Adult Oviposition Choices in *Drosophila Suzukii* ». *BMC Ecology* 17 (1): 21.  
<https://doi.org/10.1186/s12898-017-0131-2>.
- Sturtevant, A. H. 1919. « A New Species Closely Resembling *Drosophila Melanogaster* ». *Psyche: A Journal of Entomology* 26 (6): 153-55. <https://doi.org/10.1155/1919/97402>.
- Sun, Di-Bing, Jie Li, Yin-Quan Liu, David W. Crowder, et Shu-Sheng Liu. 2014. « Effects of Reproductive Interference on the Competitive Displacement between Two Invasive Whiteflies ». *Bulletin of Entomological Research* 104 (3): 334-46.  
<https://doi.org/10.1017/S0007485314000108>.
- Tochen, Samantha, Daniel T. Dalton, Nik Wiman, Christopher Hamm, Peter W. Shearer, et Vaughn M. Walton. 2014. « Temperature-Related Development and Population

- Parameters for *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on Cherry and Blueberry ». *Environmental Entomology* 43 (2): 501-10. <https://doi.org/10.1603/EN13200>.
- Tripet, Frederic, L. Philip Lounibos, Dannielle Robbins, Jenny Moran, Naoya Nishimura, et Erik M. Blosser. 2011. « Competitive Reduction by Satyrization? Evidence for Interspecific Mating in Nature and Asymmetric Reproductive Competition between Invasive Mosquito Vectors », août. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0677>.
- Tungadi, Trisna Dewi, Glen Powell, Bethan Shaw, et Michelle T Fountain. 2023. « Factors Influencing Oviposition Behaviour of the Invasive Pest, *Drosophila Suzukii*, Derived from Interactions with Other *Drosophila* Species: Potential Applications for Control ». *Pest Management Science* 79 (11): 4132-39. <https://doi.org/10.1002/ps.7693>.
- Ulmer, Romain, Aude Couty, Patrice Eslin, et Olivier Chabrierie. 2021. « Effect of Macroarthropods on *Drosophila Suzukii* Peri-oviposition Events: An Experimental Screening ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 169 (6): 519-30. <https://doi.org/10.1111/eea.13046>.
- Ulmer, Romain, Aude Couty, Patrice Eslin, Fausta Gabola, et Olivier Chabrierie. 2020. « The Firethorn (*Pyracantha Coccinea*), a Promising Dead-End Trap Plant for the Biological Control of the Spotted-Wing *Drosophila* (*Drosophila Suzukii*) ». *Biological Control* 150 (novembre):104345. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104345>.
- Uy, J. Albert C., Darren E. Irwin, et Michael S. Webster. 2018. « Behavioral Isolation and Incipient Speciation in Birds ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 49 (Volume 49, 2018): 1-24. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062646>.
- Van Der Linde, Kim, et David Houle. 2008. « A supertree analysis and literature review of the genus *Drosophila* and closely related genera (Diptera, Drosophilidae) ». *Insect Systematics & Evolution* 39 (3): 241-67. <https://doi.org/10.1163/187631208788784237>.
- Waterfield, Gina, et David Zilberman. 2012. « Pest Management in Food Systems: An Economic Perspective ». *Annual Review of Environment and Resources* 37 (1): 223-45. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-040911-105628>.
- Weber, Marjorie G., et Sharon Y. Strauss. 2016. « Coexistence in Close Relatives: Beyond Competition and Reproductive Isolation in Sister Taxa ». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 47 (Volume 47, 2016): 359-81. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054048>.
- Werren, John H., Laura Baldo, et Michael E. Clark. 2008. « *Wolbachia*: Master Manipulators of Invertebrate Biology ». *Nature Reviews Microbiology* 6 (10): 741-51. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1969>.
- Yun, Li, Aneil F. Agrawal, et Howard D. Rundle. 2021. « On Male Harm: How It Is Measured and How It Evolves in Different Environments ». *The American Naturalist* 198 (2): 219-31. <https://doi.org/10.1086/715038>.
- Yuzuki, Keven, et Rosana Tidon. 2020. « Identification Key for *Drosophilid* Species (Diptera, Drosophilidae) Exotic to the Neotropical Region and Occurring in Brazil ». *Revista Brasileira de Entomologia* 64 (1): e2019100. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-rbent-2019-100>.
- Zabalou, Sofia, Markus Riegler, Marianna Theodorakopoulou, Christian Stauffer, Charalambos Savakis, et Kostas Bourtzis. 2004. « *Wolbachia*-Induced Cytoplasmic Incompatibility as a Means for Insect Pest Population Control ». *The Proceedings of the National Academy of Sciences* 101 (42): 15042-45. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403853101>.

Zuur, Alain F., Elena N. Ieno, Neil Walker, Anatoly A. Saveliev, et Graham M. Smith. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Statistics for Biology and Health. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>.

## **Webographie**

EPPO (2024) EPPO Global Database (available online). <https://gd.eppo.int> Consulté le : 23/04/2024

## Annexes

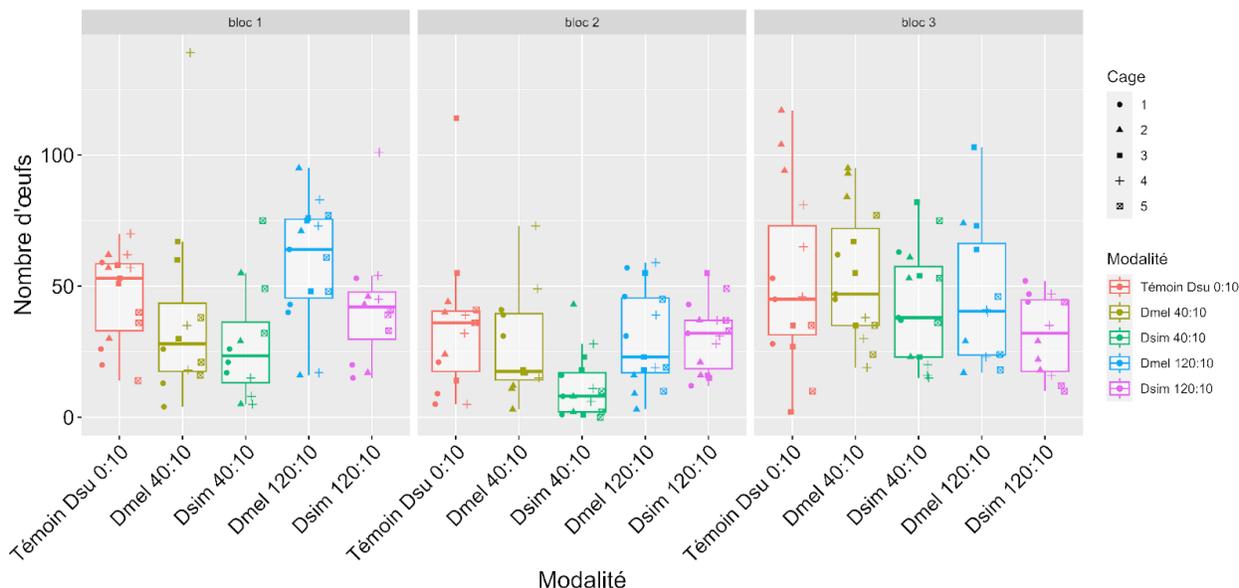
Annexe 1 : Résumé du modèle retenu pour comparer la fécondité des femelles *D. sukii*.

Effets	Coefficients	Erreur standard	p
Référence (Contrôle Dsu 0 :10)	3,83	0,15	<2e-16 ***
Dmel 40 : 10 bloc 1	-0,17	0,24	0,46
Dsim 40 : 10 bloc 1	-0,50	0,24	0,03 *
Dmel 120 :10 bloc 1	0,24	0,22	0,27
Dsim 120 : 10 bloc 1	-0,09	0,23	0,70
Contrôle Dsu 0 : 10 bloc 2	-0,29	0,22	0,18
Dmel 40 : 10 bloc 2	-0,05	0,34	0,86
Dsim 40 : 10 bloc 2	-0,56	0,33	0,09 .
Dmel 120 :10 bloc 2	-0,38	0,32	0,23
Dsim 120 : 10 bloc 2	-0,01	0,33	0,96
Contrôle Dsu 0 : 10 bloc 3	0,11	0,22	0,62
Dmel 40 : 10 bloc 3	0,21	0,32	0,52
Dsim 40 : 10 bloc 3	0,32	0,33	0,33
Dmel 120 :10 bloc 3	-0,36	0,32	0,26
Dsim 120 : 10 bloc 3	-0,41	0,34	0,22

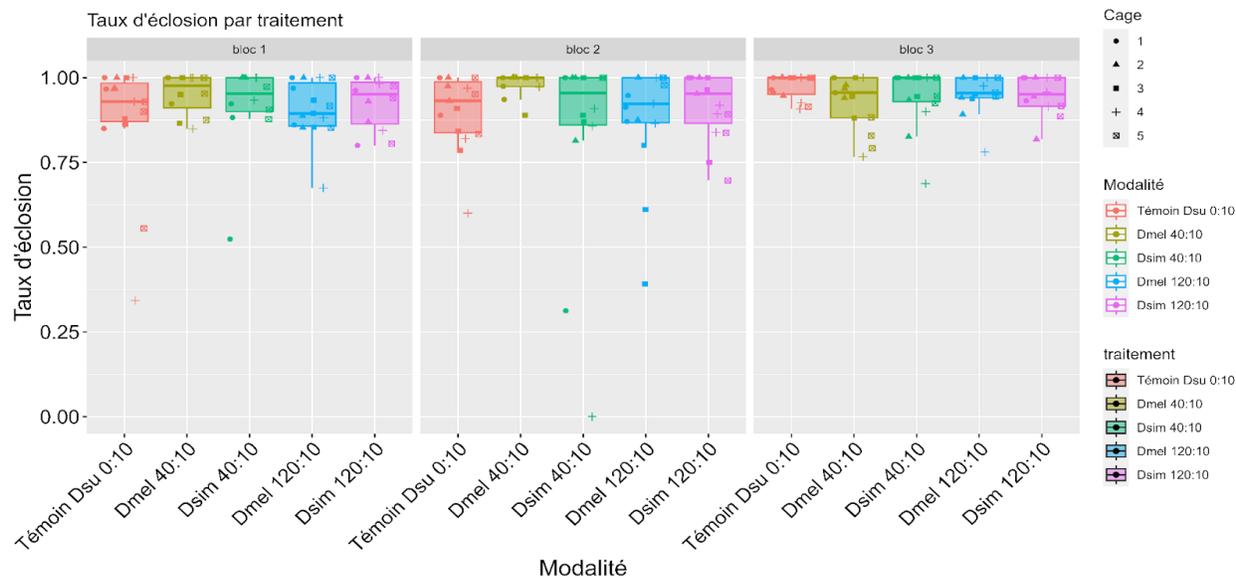
Annexe 2 : Résumé du modèle retenu pour comparer les taux d'éclosion des femelles *D. sukii*.

Effets	Coefficients	Erreur standard	p
Référence (Contrôle Dsu 0 :10)	2,74	0,19	<2e-16 ***
Dmel 40 : 10 bloc 1	0,69	0,21	9,10e-04 ***
Dsim 40 : 10 bloc 1	0,60	0,23	9,76e-03 **
Dmel 120 :10 bloc 1	0,30	0,15	0,05 .
Dsim 120 : 10 bloc 1	0,73	0,21	4,54e-04 ***
Contrôle Dsu 0 : 10 bloc 2	0,44	0,18	0,01 *
Dmel 40 : 10 bloc 2	0,85	0,46	0,06 .
Dsim 40 : 10 bloc 2	-1,55	0,33	4,74e-06 ***
Dmel 120 :10 bloc 2	-0,69	0,26	8,40e-03 **
Dsim 120 : 10 bloc 2	-0,76	0,30	0,01 *
Contrôle Dsu 0 : 10 bloc 3	1,69	0,24	3,25e-12 ***
Dmel 40 : 10 bloc 3	-1,50	0,33	6,91e-06 ***
Dsim 40 : 10 bloc 3	-0,93	0,37	0,01 *
Dmel 120 :10 bloc 3	-1,04	0,32	1,43e-03 **
Dsim 120 : 10 bloc 3	-1,35	0,38	4,40e-04 ***
Jours	-0,31	0,05	6,74e-09 ***
Nombre d'œufs	-0,004	0,001	0,02 *

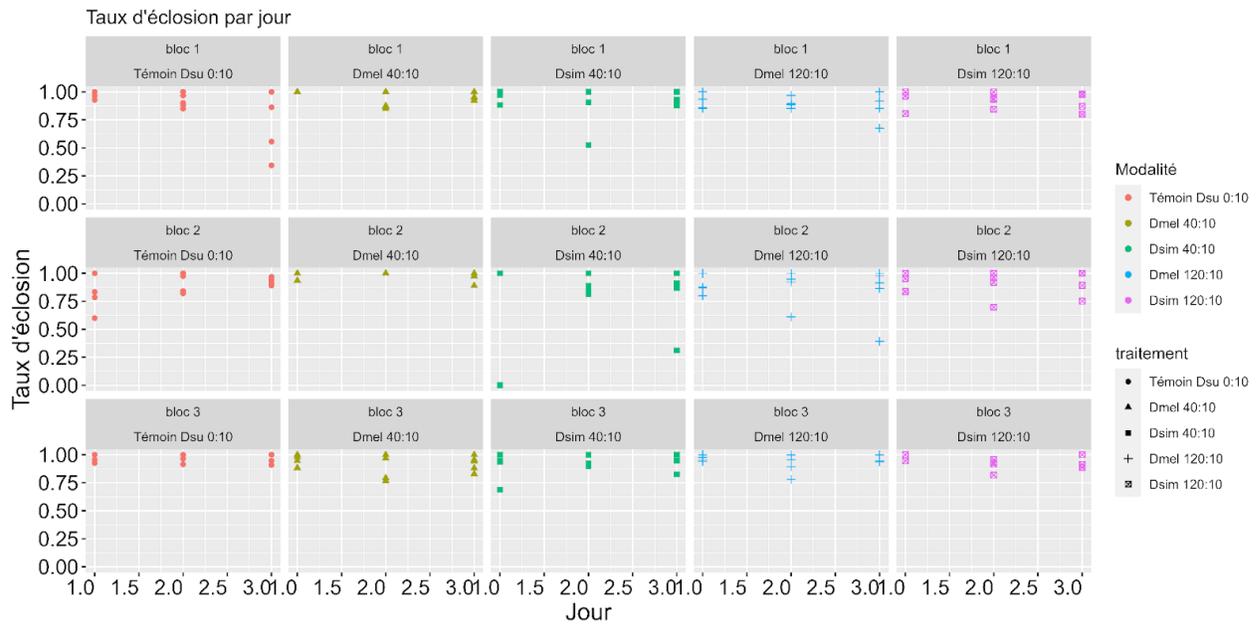
### Annexe 3 : Agrandissement des figures 11, 12 et 13.



**Figure 11 :** Fécondité de 10 femelles *D. sukuii* par bloc en fonction des différentes modalités testées. Contrôle Dsu 0 :10 = modalité témoin négatif avec uniquement des *D. sukuii* ; Dmel 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* ; Dmel 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. melanogaster* ; Dsim 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. simulans* ; Dsim 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. simulans*.



**Figure 12 :** Taux médian d'éclosion par bloc en fonction des différentes modalités testées. Contrôle Dsu 0 :10 = modalité témoin négatif avec uniquement des *D. sukuii* ; Dmel 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* ; Dmel 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. melanogaster* ; Dsim 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. simulans* ; Dsim 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. simulans*.



**Figure 13** : Taux d'éclosion par modalité, par bloc et selon le nombre de jours depuis l'introduction des boîtes d'agar.

Contrôle Dsu 0 :10 = modalité témoin négatif avec uniquement des *D. sukuzii* ;

Dmel 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. melanogaster* ;

Dmel 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. melanogaster* ;

Dsim 40 :10 = modalité traitement avec 40 mâles *D. simulans* ;

Dsim 120 :10 = modalité traitement avec 120 mâles *D. simulans*.

## Bilan personnel

Au cours de ce stage, j'ai eu l'opportunité d'acquérir de nombreuses compétences tant sur le plan technique que sur le plan professionnel. Ce stage m'a permis de développer ma capacité à travailler en autonomie, d'améliorer ma gestion du temps, de renforcer mes compétences de travail d'équipe ainsi que de perfectionner ma rigueur scientifique.

Mes missions au sein de ce stage étaient variées. Mes principales tâches incluaient l'entretien des élevages de *D. simulans* et *D. melanogaster* (avec une aide ponctuelle dans les élevages de *D. suzukii*) (20%). J'ai également été responsable de la planification des tâches à effectuer afin de mener à bien les essais d'interférence reproductive (10%). La préparation des cages pour les essais incluant le nettoyage, l'aménagement des cages avec ajout des abreuvoirs, de la nourriture sèche et humide et la préparation des boîtes d'agar faisaient aussi partie de mes missions (10%). J'étais également chargé de la préparation des individus utilisés pour mes essais notamment : le sexage (au CO<sub>2</sub> et au froid), la mise en place sur milieu nutritif après le sexage, la vérification des sexages (25%). Enfin le changement quotidien des boîtes de Petri pour le suivi de la fécondité et de la fertilité, ainsi que la photographie et le comptage des œufs sur l'ordinateur et le comptage des larves à la loupe binoculaire faisaient également partie de mes tâches (30%). Une fois par mois, des pièges étaient posés sur le terrain au centre de Balandran (3%) et les individus piégés étaient ensuite identifiés au centre si cela était possible ou alors ils étaient mis dans de l'éthanol à 96% et envoyés au CBGP-INRAE de Montpellier dans le cas contraire. J'étais également chargé de la planification de ces séances de piégeage et de l'entretien des pièges (2%).

Ce stage a été une expérience enrichissante et formatrice pour moi. En effet, dès le début du stage, j'ai été amené à gérer (au début en présence de quelqu'un) les élevages ce qui m'a permis d'apprendre rapidement à effectuer les différentes tâches. Par ailleurs, j'ai appris à mieux communiquer au sein d'une équipe et à faire savoir quand j'avais besoin d'aide. J'ai peut-être manqué de temps à certains moments du stage mais cela est surtout dû à la diversité des tâches qu'il y avait parfois à effectuer lorsqu'il fallait lancer les essais d'interférence reproductive.

Le choix de mon sujet de stage s'est fait naturellement car il est en lien avec le domaine de l'entomologie que j'affectionne particulièrement. Travailler sur les interférences reproductives

était en lien avec mon désir de travailler dans le domaine de l'entomologie. Mon objectif à long terme est de poursuivre dans la recherche, soit dans des unités de recherche et de développement en biocontrôle, soit dans des entreprises spécialisées dans l'élevage d'insectes comme les entreprises qui développent l'usage de produits à base d'insectes pour la nutrition animale. Ce stage a renforcé ma conviction que ce domaine est celui dans lequel je souhaite évoluer professionnellement.

## Résumé

Détectée en Europe et aux Etats-Unis pour la première fois en 2008, *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (*Diptera: Drosophilidae*) est un ravageur des cultures invasif originaire d'Asie qui s'attaque aux cultures de fruits à peau fine et à noyau. Il s'agit d'un ravageur du fait de sa capacité à infester les fruits en cours de maturation et donc commercialisables. Les femelles *D. suzukii* sont dotées d'un ovipositeur dentelé leur permettant de percer la peau de ces fruits commercialisables. Afin de protéger les cultures, la lutte chimique reste actuellement la méthode de gestion la plus courante, cependant elle comporte de nombreux risques pour la santé humaine comme pour les écosystèmes. De nouvelles méthodes de contrôle sont actuellement en cours d'étude. Parmi ces méthodes nous trouvons l'interférence reproductive interspécifique. Elle est définie comme toute interaction sexuelle entre deux espèces différentes réduisant le succès reproducteur d'une des deux espèces. Il s'agit d'une méthode non polluante. L'interférence reproductive a déjà été documentée dans des taxons animaux et végétaux et elle a récemment été documentée entre des femelles *D. suzukii* et des mâles *Drosophila melanogaster* en conditions de laboratoire. Dans ce mémoire, nous cherchons à déterminer si une interférence reproductive existe entre des femelles *D. suzukii* et des mâles *D. melanogaster* et *Drosophila simulans* dans un milieu complexe (c'est-à-dire des cages avec des plantes artificielles). Pour ce faire, des couples de *D. suzukii* avec différents ratios de mâles hétérospécifiques ont été mis dans des cages et les paramètres de fécondité et de fertilité des femelles *D. suzukii* ont été estimés. Nos principaux résultats indiquent qu'en complexifiant le milieu, il ne semble pas y avoir d'interférence reproductive entre les femelles *D. suzukii* et les mâles hétérospécifiques. Il faudrait effectuer d'autres tests, notamment des tests comportementaux en milieu complexe afin de mieux comprendre la différence entre nos résultats et ceux publiés précédemment chez *D. melanogaster*.

**Mots-clés :** *Drosophila suzukii* ; *Drosophila melanogaster*; *Drosophila simulans*; interférence reproductive; milieu complexe

## Abstract

First detected in Europe and the USA in 2008, *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (*Diptera: Drosophilidae*) is an invasive crop pest native to Asia that attacks thin-skinned and stone fruit crops. It is considered as a pest due to its ability to infest ripening and marketable fruits. Females *D. suzukii* have a serrated ovipositor that enables them to pierce the skin of fruits. To protect crops, chemical control is currently the main management method, but it entails numerous risks for both human health and ecosystems. New control methods are currently under study, including interspecific reproductive interference. Defined as any sexual interaction between two different species that reduces the reproductive success of at least one of the two species, reproductive interference is a non-polluting method. Reproductive interference has already been documented in animals and plant taxa, and has recently been documented between *D. suzukii* females and *D. melanogaster* males under laboratory conditions. In this thesis, we aim to investigate whether reproductive interference exists between *D. suzukii* females and *D. melanogaster* and *Drosophila simulans* males in a complex environment (i.e., cages with artificial plants). To do this, *D. suzukii* couples with different ratios of heterospecific males were placed together in cages, and the fecundity and fertility parameters of *D. suzukii* females were estimated. Our main results indicate that in a more complex environment, reproductive interference does not appear to occur between *D. suzukii* females and our heterospecific males. Further tests, including behavioral tests in a complex environment, should be conducted to better understand the difference between our results and previously published results.

**Key words :** *Drosophila suzukii* ; *Drosophila melanogaster*; *Drosophila simulans*; reproductive interference; complex environment