

TABLE DES MATIERES

Drosophila Suzuki : Cycle biologique et dynamique des populations (Version 2)	2
Drosophila Suzukii et son cycle de vie	2
Stérilisation (par irradiation) et comportement sexuel de D. Suzukii	3
Environnement, piégeage et dynamique de population de D. Suzuki	5
Dynamique de D. Suzuki en condition de serre (suivi par piégeage)	6
ANNEXE	9
BIBLIOGRAPHIE	12

Drosophila Suzuki : Cycle biologique et dynamique des populations (Version 2)

Le *D. suzukii* est une espèce de mouche des fruits, invasive, en Europe notamment et originaire d'Asie. Le cycle de vie et une part importante de la biologie du ravageur est assez peu connue malgré l'importance des dégâts économique que peut faire ce ravageur (Emiljanowicz et al ; 2014). Il s'agira ici, de décrire son cycle de vie et la dynamique de la population aux différents stades de développement, à partir d'article et de rapport qui se basent sur des données de suivi de population et d'expériences. Les différentes sources sont citées dans la bibliographie.

Drosophila Suzukii et son cycle de vie

D. suzukii est une espèce polyphage, dite pionnière, puisque d'une part, elle est capable de s'attaquer à plusieurs dizaines d'hôtes et d'autre part, elle est présente lorsque les autres espèces communes dans le fruit en cours de pourrissement ne le sont pas. Elle facilite les contaminations secondaires (par les champignons en l'occurrence) puisque grâce à son ovipositeur denté (plus grande et plus denté que chez les autres espèces), la femelle peut percer et pondre sous l'épiderme de fruit non-mûr (sain, en cours de maturation). La cicatrice ainsi faite et l'activité des larves, font s'affaïsser l'épiderme avec une pourriture rapide. On peut distinguer quatre grands stades dans le cycle de vie biologique de *D. suzukii* : l'Œuf, la Larve, la Pupa et l'Adulte. A partir de ces stades, on dispose de plusieurs descriptions dans différentes conditions du cycle de vie de *D. Suzuki* (études en laboratoire ou sur le terrain avec différents écotypes).

Ainsi, dans le bilan du projet CASDAR (2013-2016) sur la connaissance de *D. Suzuki* et des moyens de protection, Ctifl (2016) rapporte par exemple, une durée de 7 à 31 jours pour le stade larve-œuf-pupa (en fonction de l'environnement). Dans un premier temps, nous avons l'œuf déposé sous l'épiderme (potentiellement plus d'une quarantaine par fruit) qui peut prendre 1 et 3 jours pour éclore. Ensuite, La larve qui en résulte, se développe à l'intérieur du fruit en différents stades, qui durent entre 3 et 13 jours. Et enfin, la pupaison aboutissant au stade adulte, dure entre 3 et 15 jours. Au stade adulte, la durée de vie de *D. suzukii* varie entre 3 et 9 semaines. Dans des conditions optimales, à 22°C, le stade de l'œuf prend 1 à 4 jour, le stade larvaire 6 jours, le stade nymphal 6 jours et un total de 13-14 jours pour passer de l'œuf à l'adulte (Emerson et al. 2016, Emiljanowicz et al. 2014, Tochen et al. 2014).

Ce cycle très court, (jusqu'à 13 générations par an au Japon et entre 3 et 9 générations en Amérique du Nord), avec des adultes capables de parcourir des kilomètres, donne à *D. suzukii* un fort potentiel de dispersion. Selon que l'adulte soit un mâle (qui se distingue par ses ailes tachetées entre autres) ou une femelle (distinguée par son ovipositeur denté), on peut dégager deux trajectoires. Le mâle qui après émergence est presque immédiatement capable de s'accoupler (entre 0 et +24h) mais a une plus grande mortalité que la femelle en cas de froid extrême (Jakobs et al. (2015) ; Shearer et al., (2016)) mais résiste mieux à la chaleur (Enriquez et al. (2017) ; Guédot et al. (2018)). Tandis que les femelles atteignent la maturité sexuelle en 1 ou 2 jours après l'émergence et pondent entre 219 et 563 œufs au cours de leur vie, avec une première ponte entre 2 et 5 jours selon Revadi et al. (2015), et un développement complet (de l'œuf à l'adulte) qui dure en moyenne 14,6 jours dans les conditions optimales (Lee et al. 2011b, Walsh et al. 2011). En moyenne, 368 œufs par femelles atteindront le stade adulte (Lee et al. (2019)).

La différence dans la période de reproduction des mâles et des femelles de *D. suzukii* mise en évidence par et Emiljanowicz et al (2014) fait que les mâles deviennent infertiles plus tôt que les femelles. Comme les femelles sont toujours capables de pondre des œufs non fécondés, nous voyons le taux de ponte brute maintenue mais le taux d'éclosion de ces œufs diminue. Cela entraîne un rôle pour le comportement de choix des femelles. Ainsi, une femelle capable de s'accoupler plusieurs fois, aura-t-elle un plus grand nombre de progénitures (Droney 1996, Arnqvist, 1996).

Aussi, des contributions expérimentales en condition contrôlée pour l'étude du cycle de vie de *D. Suzuki* de Lee et al. (2019) et Emiljanowicz et al (2014) apportent des informations pertinentes notamment pour le paramétrage d'un modèle. En effet, Emiljanowicz et al (2014) ont mesuré dans des conditions optimales de laboratoire (22°, 25% d'humidité relative), des paramètres comme le développement, la survie, la fécondité, le taux d'éclosion, et le rapport des sexes d'un écotype nord-américain de *D. suzukii*. Pour cela, les auteurs ont mis en place cinquante (50) chambres d'accouplement (fabriquées à partir de tube de centrifugeuse) avec des sites de ponte amovibles, dans lesquels sont placés des adultes émergents d'un élevage de laboratoire à partir d'une colonie. Dans 25 de ces chambres, les mâles ne sont pas renouvelés du début à la fin de l'expérience. Dans les 25 autres les mâles sont renouvelés chaque semaine. Le site de ponte est régulièrement transféré dans une boîte de pétri pour le suivi selon la mesure à faire.

D'après les auteurs, le taux de fécondité brut observé supérieurs aux estimations précédentes est probablement dû à une longévité accrue (en moyenne 86 jours dans cette étude). Toutefois, pour citer les auteurs, les femelles drosophiles étant capable de stocker le sperme dans leur sperme dans leur réceptacle séminal et leurs spermathèques dans la maternité brute entre les groupes de mâles peut être due à la compétition pour le sperme entre les mâles consécutifs (Lee et al. (2019), Price et al. (1999)). De plus, il semblerait que les drosophiles mâles peuvent physiquement déloger et neutraliser les spermatozoaires stockés dans la femelle (Price et al. 1999), et cela peut avoir causé une diminution de la maternité brute dans le groupe des mâles de remplacement. D'après les résultats de l'étude, Les femelles pondent en moyenne 6 œufs par jour mais la mortalité des femelles et les œufs non éclos, réduisent la fécondité de 39%. La distribution stable des âges révèle que la composition des stades est la suivante 25% d'œufs, 51% de larves, 16% de nymphes et 8% d'adultes (ce qui pose un problème de pertinence des pièges si les adultes capturés ne représentent que 8% de la population).

Aussi, le taux de survie des œufs à l'adulte est estimé à 64% et chez les adultes, la mortalité des 30 premiers jours est nulle ; avec un sex-ratio des adultes nouvellement émergés de 0,98 mâle par femelle en moyenne. Cependant, d'après Revadi et al. (2015), le temps de maturation sexuelle, ainsi que l'occurrence du réaccouplement ont un impact significatif sur le sex-ratio opérationnel. On devrait donc tenir compte des paramètres de la maturation sexuelle dans la dynamique de la population de *D. Suzuki*. Ainsi, des travaux sur les paramètres comme la maturation sexuelle et une meilleure connaissance du mécanisme de réaccouplement seront très utiles pour améliorer les modèles et *in fine* améliorer le contrôle de *D. Suzuki*. C'est dans cet ordre d'idée que Chen et al. (2022) en étudiant la fréquence d'accouplement, le temps entre les accouplements et la durée de l'accouplement de *D. Suzuki* ont mis en évidence une préférence de la femelle pour la filiation du premier mâle. Ainsi, les femelles sauvages qui se sont accouplées avec un mâle sauvage puis un mâle irradié ont produit plus de descendants que les femelles accouplées avec un mâle irradié puis un mâle sauvage. Les auteurs recommandent, donc une prise en compte de l'influence de la séquence d'accouplement lors de l'application de la technique de l'insecte stérile (SIT) pour contrôler les populations de *D. suzukii*.

Stérilisation (par irradiation) et comportement sexuel de *D. Suzuki*

Les effets de l'irradiation sur le comportement sexuel de *D. Suzuki* a fait, à juste titre, l'objet de beaucoup de contribution dans la littérature. En effet, un faible taux d'émergence, des déformations rendant les insectes irradiés incapables ou non compétitifs, poserait un problème en termes d'efficacité et où de coût de mise en œuvre de la TIS. C'est dans ce cadre que Lanouette et al (2017) dans leur papier ont cherché à étudier le taux de radiation optimal qui ne causait pas trop de déformation somatique et qui donnait des mâles stériles efficaces. A partir d'une colonie élevée pendant un (01) an et envoyé au labo pour être maintenus dans des conditions optimales (23° et entre 40 et 60% d'humidité relative), les auteurs ont effectué une analyse de la longévité, de la fécondité et de la fertilité des adultes émergés (en s'assurant que tous les individus étaient vierges avant d'être transférés dans des cages d'élevage après irradiation). L'étude réalisée ainsi a été initialisée avec 8958 pupes dont 3000 de contrôle et 800 pupes pour chaque dose répartie en 111 répétitions et sur les F1 descendants de parents dont le mâle a été exposé à l'irradiation. Les résultats offrent une connaissance chiffrée des effets de l'irradiation aussi bien sur les mâles que les femelles de *D. Suzuki*.

Les résultats montrent en l'occurrence que l'accouplement de mâle irradié à faible dose avec des femelles non irradié diminue l'éclosion des œufs par 17.3% et la survie des œufs au stade adulte par 13%. A forte dose, le Crésus KOUNOUDJI – INRAE 2022

taux d'éclosion des œufs peut descendre jusqu'à 4% (avec un taux d'éclosion autour de 82,6% dans le groupe des mâles fertiles). De plus l'état de stérilité du mâle n'affecte visiblement pas les femelles sauvages tandis que les femelles irradiées relâchées ne pondent pas d'œufs. Cependant, il n'est pas clairement établi si elles percent encore les fruits pour se nourrir. Enfin, les résultats de l'étude suggèrent que la descendance des mâles partiellement stériles et des femelles non irradiées est fertile. Par conséquent, la sélection d'une dose d'irradiation optimale pour *D. suzukii* doit être basée sur la dose réponse de la génération parentale F0, et non sur la stérilité héréditaire puisqu'elle n'a pas été observée chez cette espèce.

Dans le même sillage, différentes contributions ont donc montré que la stérilisation par irradiation n'affectait pas l'activité de *D. suzukii* en dehors de la fertilité (pas d'effet sur le taux d'éclosion des œufs, la durée de vie, la capacité à voler ou l'accouplement) (Peter Krüger et al. (2018), Sassù et al. (2019), Lanouette et al. (2020)). Toute fois étant donné chez les femelles des avantages du réaccouplement (succès reproducteur global au cours de la vie, augmentation de la diversité génétique des descendant, une longévité accrue par rapport aux femelles qui ne s'accouplent pas (Shuker et Simmons, 2014)), qui est un phénomène observé chez les drosophiles, on peut imaginer que cela affecte l'efficacité de la TIS. En effet, pour citer Peter Krüger et al. (2018), le nombre de réaccouplement semble être un jeu d'équilibre entre les coûts et les avantages allant de la monogamie à une promiscuité élevée (Torres-Vila, Rodriguez-Molina, Jennions, 2004).

Aussi, le statut nutritionnel, la stérilisation des mâles, la souche sont autant de paramètres déjà identifiés comme influençant la fréquence de réaccouplement des femelles (Farias, Cunningham, & Nakagawa (1972) ; Saul, Tam, & McInnis, (1988) ; Blay & Yuval (2004) ; Vera, Wood, Cladera, & Gilburn, (2002) et Abraham et al. (2002) et. Les fluides séminaux par exemple peuvent agir comme de puissants inhibiteurs réaccouplement (Radhakrishnan & Taylor, 2007). Il apparaît important d'étudier les effets de l'irradiation (des mâles) sur le comportement de réaccouplement de la femelle *D. suzukii* (Arnqvist & Nilsson, 2000 ; Zeh & Zeh, 2001). Une femelle qui s'est réaccoupler avec un mâle sauvage après s'être accoupler avec un mâle stérile pourraient diminuer l'efficacité de la TIS (Landeta-Escamilla et al., 2016). Notons que le réaccouplement a aussi un coût également été associés à l'accouplement, tels que la diminution de la longévité des femelles et l'augmentation de leur taux de mortalité (Chapman, Liddle, Kalb, Wolfner, & Partridge, 1995 ; Rice, 2000).

C'est dans cet ordre d'idée que s'inscrit les études de Krüger et al (2018) et de Chen et al. (2022). Etant donné le peu de connaissance disponible sur le comportement postcopulatoire d'envahisseur candidat à la TIS tel que *Drosophila suzukii*, Krüger et al (2018) ont cherché dans leurs papiers, les effets de la stérilisation des mâles et des femelles sur le comportement d'accouplement et de ré-accouplement de *D. suzukii*. Pour ce faire, dans un premier temps, les auteurs ont testé la fréquence de réaccouplement dans différentes combinaisons entre mâles et femelles stériles et fertiles. Dans un second temps, la même analyse a été réalisée sur les effets de la stérilité des mâles et des femelles sur la propension des femelles à s'accoupler et à se ré-accoupler. Les résultats de cette analyse ont montré un taux de ré-accouplement globalement faible chez les femelles de *D. suzukii* ; la stérilité des mâles n'affectant pas la probabilité d'accouplement et de réaccouplement.

Toutefois, la durée de la copulation des mâles stériles était plus courte que celle des mâles fertiles et les femelles stériles étaient moins susceptibles de s'accoupler. De plus, pour citer Barclay (2005), même si elle est souhaitable, la monogamie n'est pas une caractéristique obligatoire pour qu'une espèce soit éligible au SIT, la polygamie étant considérée comme compatible avec la TIS, tant que l'accouplement est aléatoire. Ces résultats sont encourageant pour la mise en œuvre de la TIS chez *D. suzukii*. Bien que de nombreuses espèces de *Drosophila* présentent la polyandrie (Singh et al., 2002), la plupart des femelles *D. suzukii* testées étaient monandres. Il est possible que si les observations de ré-accouplement avaient été effectuées sur une plus grande période, un plus grand nombre de femelles ré-accouplées aurait été observé.

Cependant, en raison niveaux élevés de mortalité naturelle ajoutés à une longue période réfractaire, il est probable qu'une petite proportion de femelles survivrait assez longtemps pour avoir l'opportunité de se ré-accoupler (Abraham et al., 2011). D'après (Avila et al. 2011), après l'accouplement, les femelles subissent une série de changements physiologiques et comportementaux qui entraînent une modification de la réceptivité sexuelle des femelles. L'absence d'influence de la stérilité des mâles sur la réceptivité des femelles

Crésus KOUNOUDJI – INRAE 2022

au réaccouplement, montrer dans cette étude, indique que l'irradiation n'affecte pas ces facteurs. Cependant, Chen et al. (2022) eux, ont montré que les femelles *D. Suzukii* s'accouplaient en moyenne deux fois avec en moyenne 16 jours entre chaque accouplement. De plus d'après les auteurs, seuls les mâles stériles relâchés s'accouplant avec des femelles sauvages peuvent produire un effet stérilisant suffisant. Si des femelles stériles sont également relâchées, l'ITS serait inefficace et non rentable. Les auteurs proposent de marquer les mâles stériles *D. Suzukii* pour évaluer l'effet du SIT, étant donné que cela a bien fonctionné avec le moustiqu

Environnement, piégeage et dynamique de population de *D. Suzuki*

La répartition de *D. suzukii* n'est pas homogène et régulière dans le temps. Il y a une pression liée à son environnement. Cet insecte est sensible aux facteurs de stress environnementaux, et son développement peut être contrôlé grâce aux conditions de température et d'humidité (Diepenbrock et Burrack (2016), Rendon et Walton (2019), le Ctifl (2016)). Le printemps et surtout l'automne sont favorables à un fort accroissement de la population. D'un autre côté, un hiver doux donne une population plus précoce au printemps suivant. Ce qui peut vouloir dire que l'aboutissement de la phase larvaire est grandement impacté en termes de survie et développement des œufs voire des larves par le froid (Kinjo et al. (2014) ; Tochen et al. (2014)). Les températures critiques de développement et de reproduction sont en dessous de 13 °C et au-dessus de 28 °C, l'optimal étant entre 16 et 25° pour un développement rapide et dense (œufs à adultes) et entre 18 et 30° pour la ponte (Winkler et al. (2020) et le Ctifl (2016)). D'après le rapport du Ctifl (2016), la durée de vie des adultes par exemple peut excéder 9 semaines en hiver tandis que des tests mis en place sur fraise et cerise ont montré qu'un passage au froid (– 1 °C à 2 °C) sur une période de 24 h à 72 h limite la survie des œufs et le développement des larves et que des températures supérieures à 2 °C sont inefficaces. *D. suzukii* est assez résistant au froid mais tolère mal la chaleur par rapport aux autres espèces. Une température au-delà de 32° ou en dessous de -1° est mortelle pour la moitié (50%) de la population (Passeri, 2019).

Aussi, il y a-t-il un transfert des abris vers les parcelles dès qu'il fait beau tandis qu'en hiver la population à l'intérieur des parcelles chute totalement. Cela est dû d'une part à la capacité de *D. suzukii* à avoir plusieurs hôtes alternatifs (les plantes sauvages) autour de la parcelle assurant la présence en permanence pendant l'année. D'autre part, la capacité des adultes à entrer en dormance et en diapause reproductive sous l'effet de la photopériode et de la température et se regrouper dans les abris en saisons hostiles. En effet, les bosquets autour des parcelles avec des arbres de feuilles persistantes, les forêts, entre autres représentent un refuge pendant l'hiver, pendant que la population dans les plantations chute totalement. Pendant le printemps (correspondant à la période de maturation des fruits), la population à l'intérieur des plantations est importante avant de diminuer en été et de se densifier à nouveau et plus encore en automne (Passeri (2019) citant Shearer et al., (2016)) ; (Weydert et al. (2016)).

Comme énoncé plus tôt, en plus de la migration, la température de la saison, affecte la mortalité dans la population de *D. suzukii*. Un hiver avec plusieurs jours de froids intense cause une grande mortalité dans la population (moins chez les femelles qui se sont accouplé avant l'hiver que chez les mâles). De plus, d'après Renkema, et Cuthbertson, (2018) et Weydert et al. (2016), dans les fraises, des prédateurs naturels comme *Orius insidiosus* ou *T. drosophilae* peuvent faire perdre entre 60% et 80% de la population de *D. suzukii* immature. Par ailleurs, la femelle pond en moyenne 380 œufs dans sa vie à raison de 7 à 16 œufs par jour dont 1 à 3 par fruits. Ce cycle très cours, (jusqu'à 13 générations par an au Japon), avec des adultes capables de parcourir des kilomètres, donne à *D. suzukii* un fort potentiel de dispersion.

En effet, les durées du cycle et de l'activité de *D. suzukii* sont très dépendantes du climat en l'occurrence de la température et de l'humidité (Ørsted et al. 2021 ; Winkler et al. (2020) et Langille (2017)). Cette sensibilité au climat à différents stades et même selon le sexe (les femelles sont plus résistantes au froid que les mâles par exemple) induit une certaine dynamique dans la population totale de *D. suzukii* (mortalité, reproduction) et dans la population à l'intérieur des parcelles (migration). Ainsi, au printemps, les femelles sont-elles toujours plus nombreuses que les mâles. La proportion de mâle et femelle s'équilibre en suite en été pour enfin

s'inversée en automne. La population fluctue avec les étés chauds (plus de 25°) et secs (moins de 60% d'humidité) cela peut cacher une mortalité importante ou une baisse de l'activité dans la population.

D'un autre côté, Leach et al. (2019) ont tenté de prédire les captures de *D. Suzukii* à partir de 7 ans de piégeages dans des fermes aux USA en modélisant les facteurs temporelles et environnementaux qui influencent l'activité de *D. Suzukii* dans le but de comprendre et faire des prédictions sur les dynamiques de la population à partir de données de piégeage. Les résultats de cette étude suggèrent que l'activité de *D. suzukii* est prévisible et que les conditions environnementales peuvent être utilisées dans les régions tempérées. Les auteurs ont, à partir des résultats, établi un calendrier des activités de *D. Suzukii* sur l'année et ont souligné le fait que le sex-ratio variait dans la saison tout au long de la saison (Plus de mâles ont été observés à des niveaux de population élevés et plus de femelles ont été observées en début et en fin de saison) mais cette différence entre le sex-ratio réel et un sex-ratio égal pour chaque saison n'est pas statistiquement significatif. Les meilleurs prédicteurs du sex-ratio étaient la densité moyenne des mouches et la période de l'année. Aussi, d'après les auteurs Les tendances annuelles de l'activité de *D. suzukii* observées dans cette étude dans une région tempérée du nord suggèrent également que ce ravageur n'est pas réceptif aux pièges en hiver raison de leur état physiologique ou de leurs besoins en nutriments (Rendon et al. 2018, Wong et al. 2018). De plus les résultats de cette étude se confortent par un schéma similaire trouvé au Brésil par Klesener et al. (2018) et par Thistlewood et al. (2018) en Colombie Britannique. Avec le printemps qui commence par une activité faible (ce qui indique que les températures hivernales sont probablement une période de goulot d'étranglement avec des femelles plus disposées au froid) suivie d'une expansion rapide au début de l'été (où il y a plus de mâles). De plus il a été établi que les conditions climatiques ou la température (par exemple le nombre de jours en dessous de 0°C) étaient des prédicteurs importants à la fois de la première la détection des printemps et la capture des pics dans la région de l'étude.

Cependant, ces analyses du ratio basées sur les captures par saison peut être simplement dû à l'attractivité des pièges selon la saison et le sexe ; les femelles capables de reporter leur ponte étant plus attirées puisque à la recherche de site de ponte. De plus en l'absence de lien établi entre les taux de dégâts et les captures, le suivi par capture n'est pas forcément pertinent si ce n'est pour étudier les mouvements de populations.

Par ailleurs, l'attractivité des pièges soulève autant de question. Dans le rapport du Ctifl (2016) l'attractif utilisé est basé sur le VVE (1/3 vin, 1/3 vinaigre et 1/3 eau) le plus efficace selon les auteurs. Dans cet ordre d'idée, Landol, Adams et Rogg (2011) étudie des attractifs à base le vinaigre et le vin, et l'acide acétique et l'éthanol. Les résultats de cette étude montrent que la combinaison de vinaigre et de vin a attiré un plus grand nombre d'insectes dans les pièges que le vinaigre ou le vin seul. De plus les auteurs ont mis en évidence l'attraction des mâles et femelles de SWD vers l'acide acétique, mais pas vers le vinaigre de cidre de pomme ou l'éthanol.

Dynamique de *D. Suzuki* en condition de serre (suivi par piégeage)

Les contributions dans la littérature sur le cycle de vie et la dynamique de population de *D. Suzukii* sous serre manquent à l'appel. Pourtant la culture qui nous intéresse ici notamment la fraise se cultivent principalement sous serre. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude de Ju Hwang et al. (2020) qui porte sur la dynamique de *D. Suzukii* à partir de captures dans des serres de fraises en Coréen. Dans cette étude, des pièges ont été posés à l'intérieur des serres ainsi que dans les bois avoisinant sur une période de 19 mois.

Les auteurs ont montré que *D. Suzukii* ne vit pas dans la serre de fraise mais plutôt dans les zones boisées alentour qui sont une source majeure de populations de SWD plutôt que les champs de fraises. De plus il a été constaté 3 mois de capture nulle ou quasi nulle en hiver et aucune émergence venant de fruit tombé ce qui peut être dû à une grande mortalité causée notamment par la chute de la température dans les régions boisées alentours. Les résultats des captures corroborent ces hypothèses puisque la période de capture la plus élevée a été observée d'octobre à la mi-décembre dans les bois, tandis que le nombre de captures a ensuite fortement diminué jusqu'à la mi-avril ce qui a donné lieu à des captures nulles ou à de faibles captures (≤ 10) pour la

plupart. Dans le même temps on observait une capture nulle à l'intérieur de la serre qui a duré près de trois mois (de fin décembre à fin février). Ainsi, la présence de *D. Suzukii* dans la serre dépendrait fortement de la situation dans les bois environnant. La chute hivernale et les périodes de capture nulles ou faibles dans les zones boisées étaient probablement liées à la présence de *D. Suzukii* les serres et inversement.

QUIZ

🚩 Quel est le sexe ratio de *Drosophila suzuki* ?

Le sex-ratio des adultes nouvellement émergés est en moyenne de 1 : 1 (Emiljanowicz et al (2014), Leach et al. (2019)).

Revadi et al. (2015), le temps de maturation sexuelle, ainsi que l'occurrence du réaccouplement ont un impact significatif sur le sex-ratio opérationnel.

🚩 Biais du sex-ratio par saison observé avec le piégeage ?

Ciftl (2016) attractif VVE.

Ces analyses du ratio basées sur les captures par saison peut être simplement dû à l'attractivité des pièges selon la saison et le sexe ; les femelles capables de reporter leur ponte étant plus attirée puisque à la recherche de site de ponte. De plus en l'absence de lien établi entre les taux de dégâts et les captures, le suivi par capture n'est pas forcément pertinent si ce n'est pour étudier les mouvements de populations.

De plus les adultes capturés ne représentent que 8% de la population ce qui pose un problème de pertinence des pièges si (Emiljanowicz et al ; 2014)

Le sex-ratio variait dans les saison tout au long de la saison (Plus de mâles ont été observés à des niveaux de population élevés et plus de femelles ont été observées en début et en fin de saison) mais cette différence entre le sex-ratio réel et un sex-ratio égal pour chaque saison n'est pas statistiquement significatif. Les meilleurs prédicteurs du sex-ratio étaient la densité moyenne des mouches et la période de l'année. Ce ravageur n'est pas réceptif aux pièges en hiver raison de leur état physiologique ou de leurs besoins en nutriments (Rendon et al. (2018), Wong et al. (2018) ; Leach et al. (2019))

🚩 Il y a-t-il une compétitivité spermique / un arbitrage entre les mâles de la part de la femelle *D. Suzukii* accouplée ?

Une préférence de la femelle pour la filiation du premier mâle (Chen ; 2022).

Comme les femelles peuvent stocker du sperme provenant de différents accouplements, elles peuvent utiliser le sperme viable d'un mâle sauvage à la place du sperme stérile d'un mâle irradié, et produire une progéniture (Bertin et al., 2010 ; Scolari et al., 2014).

Pour qu'il y ait compétition entre les spermatozoïdes, les spermatozoïdes d'un mâle stérile et d'un mâle fertile doivent coexister dans l'appareil reproducteur de la femelle. Les longs spermatozoïdes peuvent être la raison de la première préférence d'accouplement de la progéniture en raison du blocage des organes de stockage. En général, les mâles fertiles effectuent en moyenne 13% de plus de fécondations en tant que seconds partenaires que les mâles irradiés (Simmons 2001).

Il existe une autre théorie pour expliquer la parenté avec le premier mâle : chez les lépidoptères, les organes de stockage du sperme des femelles sont remplis par l'éjaculat du premier mâle, ne laissant aucune place pour le sperme du second mâle (Chen et al. (2022)).

Pour Barclay (2005), même si elle est souhaitable, la monogamie n'est pas une caractéristique obligatoire pour qu'une espèce soit éligible au SIT, la polygamie étant considérée comme compatible avec la TIS, tant que l'accouplement est aléatoire.

Est-ce que la femelle stérile pond / peut-on s'attendre à en trouver sur le site de ponte ?

La stérilité du mâle n'affecte pas le taux de ponte ou la probabilité d'une femelle de se réaccoupler.

D'après Kruger (2019) la plupart des femelles se reproduisent une fois. Ça pourrait s'expliquer par la durée d'observation mais dans ce cas, une mortalité naturelle élevée compense et la latence entre deux accouplements réduit le nombre de femelle susceptibles de se réaccoupler plusieurs fois.

Quel est le taux de ponte d'une femelle avec un mâle stérile ?

Le taux de ponte des femelles sauvage n'est pas affecté par leurs accouplements avec des mâles irradiés.

Les inputs de femelles stériles vierges et de femelles sauvages déjà fécondées, pourquoi et comment les intégrer ou non au modèle ?

Les femelles irradiées relâchées ne pondent pas d'œufs. Cependant, il n'est pas clair si elles percent encore les fruits pour se nourrir (Lanouette et al. ; 2017).

Les femelles stériles sont moins susceptibles de s'accoupler (Kruger et al. (2020))

Il y a clairement un avantage à n'avoir que des mâles stériles. Cela est même indispensable dans certains cas. Mais même si l'absence de femelles stériles permet aux mâles stériles d'être 3 à 4 fois plus efficace, la présence de femelles stérile n'est pas forcément un total désavantage puisque si les mâles sont limités dans leurs capacités à s'accoupler, il y aura des femelles stériles qui n'arriveront pas à s'accoupler (Barclay (2020) citant Hendrichs et al. (1995) ; et Rendón et al. (2004)).

L'activité de *D. Suzukii* observée à l'intérieur des serres est de toute évidence, fortement liées aux migrations donc aux hôtes auxiliaires et des abris autour (Chen et al. ;2020). On devrait tenir compte des probables apport en larve de femelles déjà fécondés ainsi que de femelles et mâles sauvages.

Modèle compartimental

ANNEXE

Table 2. Variables and notation used throughout as defined by Carey (1982, 1993), and the measures for *D. suzukii*

Notation	Definition	Estimate
Gross fecundity rate	Lifetime production of offspring (eggs) by an avg female that lives to the last day of life in the cohort	635.6 eggs
Gross fertility rate	Lifetime production of viable eggs by an avg female that lives to the last day of life in the cohort	491.1 fertile eggs
Gross hatch rate	Ratio of gross fertility to gross fecundity (weights hatch by the no. of eggs produced at each age)	0.77
Net fecundity rate	Average lifetime production of eggs for a newborn female	480.7 eggs
Net fertility rate	Average lifetime production of viable eggs for a newborn female	386.8 fertile eggs
Gross reproductive rate	Sum of all female offspring per female across all ages	317.8 daughter eggs per female
Net reproductive rate	Average no. of female offspring that would be born to a birth cohort of females during their lifetime	240.4 daughter eggs per female
Intrinsic rate of natural increase (r)	Rate of natural increase in a closed population that has been subject to constant age-specific schedules of fertility and mortality	0.179
Mean generation time	Time required for a population to increase by a factor equal to the net reproductive rate	30.6 d
Doubling time	Time required for the population to double	3.872 d
Finite rate of increase	Fraction of increase per female per unit time	1.196
Life table entropy (H)	Distribution of mortality by age	0.683

Source : *Emiljanowicz et al (2014)*

Table 1. Life table and reproductive schedule parameters used as defined by Carey (1982, 1993)

Parameter	Definition	Formula
l_x	Stage-specific survivorship: fraction of the original cohort alive at the beginning of the designated age interval	$l_x = \text{no. of individuals alive at age } x \text{ by no. of individuals in original cohort}$
p_x	Proportion of those alive at age x that survive through the interval	$p_x = l_{x+n}/l_x$
q_x	Proportion of those alive at age x that die in the interval	$q_x = 1 - p_x$
d_x	Fraction of the original cohort that die in the age interval	$d_x = l_x - l_{x+n}$
${}_nL_x$	Number of days lived by the avg individual in the age interval	${}_nL_x = {}_n[l_x - (0.5)d_x]$
T_x	Total no. of days lived beyond age x	$T_x = \sum_{i=n}^{\omega} {}_iL_x$
e_x	Expected no. of additional days the avg individual age x will live	$e_x = T_x/l_x$
c_x	Stable age distribution: schedule of fractions each stage represents in the ultimate population	$c_x = e^{-rx}L_x / \sum_{x=0}^{\omega} e^{-rx}L_x$
M_x	Gross maternity: avg no. of offspring (eggs) produced by a female in the age interval	$M_x = \text{total no. of offspring produced by female cohort between } x \text{ and } x+n \text{ by total no. of females in cohort at midpoint of interval } x \text{ to } x+n$
h_x	Hatch rate: fraction of all eggs produced by the cohort that are viable (i.e. hatch)	$h_x = \text{total no. of eggs that are produced by female cohort that hatch between } x \text{ and } x+n \text{ by total no. of offspring produced by female cohort between } x \text{ and } x+n$

Source : *Emiljanowicz et al (2014)*

Table 5. Average time (days \pm SE) in each developmental stage for the full development cohort of *D. suzukii*

Life stage	Time in stage (days \pm SE)
Egg ($n = 44$)	1.4 ± 0.08
First instar ($n = 37$)	1.1 ± 0.08
Second instar ($n = 35$)	1.5 ± 0.1
Third instar ($n = 34$)	3.1 ± 0.1
Total larval development ($n = 33$)	6.0 ± 0.2
Pupa ($n = 33$)	5.8 ± 0.05
Egg-adult ($n = 33$)	12.8 ± 0.2

n is the number of individuals in each stage.

Source : *Emiljanowicz et al (2014)*

Table 3. Abridged reproduction schedule for *D. suzukii*

Age interval	Nonreplacement male group		Replacement male group	
	$l_x h_x$		$l_x h_x$	
1–10	9.990	0.711	9.960	0.778
11–20	9.530	0.856	9.600	0.841
21–30	9.200	0.832	9.000	0.878
31–40	9.040	0.820	8.800	0.859
41–50	8.800	0.805	8.800	0.829
51–60	8.800	0.849	8.800	0.830
61–70	8.430	0.806	8.800	0.871
71–80	7.350	0.677	8.120	0.866
81–90	5.290	0.703	6.190	0.906
91–100	3.930	0.736	3.560	0.819
101–110	2.680	0.385	1.450	0.771
111–120	0.920	0.216	0.000	

All formulae were taken from Carey (1982, 1993).

Source : Emiljanowicz et al (2014)

Table 4. Abridged life table for a cohort of *D. suzukii*

Stage	n	Interval (x)	l_x	p_x	q_x	d_x	nL_x	T_x	e_x	c_x
Egg	1.384	0–1	1.000	0.868	0.132	0.132	1.293	56.194	56.194	0.250
L1	1.059	1–2	0.868	0.913	0.087	0.075	0.879	54.902	63.256	0.142
L2	1.477	2–3	0.792	0.952	0.048	0.038	1.143	54.022	68.171	0.155
L3	3.115	3–6	0.755	0.900	0.100	0.075	2.233	52.880	70.066	0.211
Pupa	5.836	6–12	0.679	0.944	0.056	0.038	3.854	50.646	74.563	0.163
A1	10	12–22	0.642	1.000	0	0	6.415	46.792	72.941	0.065
A2	10	22–32	0.642	1.000	0	0	6.415	40.378	62.941	0.011
A3	10	32–42	0.642	1.000	0	0	6.415	33.962	52.941	0.002
A4	10	42–52	0.642	0.971	0.029	0.019	6.321	27.547	42.941	
A5	10	52–62	0.623	0.727	0.273	0.170	5.378	21.226	34.091	
A6	10	62–72	0.453	0.875	0.125	0.057	4.245	15.849	35.000	
A7	10	72–82	0.396	0.905	0.095	0.038	3.774	11.604	29.286	
A8	10	82–92	0.358	0.737	0.263	0.094	3.113	7.830	21.842	
A9	10	92–102	0.264	0.714	0.286	0.075	2.264	4.717	17.857	
A10	10	102–112	0.189	0.400	0.600	0.113	1.321	2.453	13.000	
A11	10	112–122	0.075	0.250	0.750	0.057	0.472	1.132	15.000	
A12	10	122–132	0.019	1.000	0	0	0.189	0.660	35.000	
A13	10	132–142	0.019	1.000	0	0	0.189	0.472	25.000	
A14	10	142–152	0.019	1.000	0	0	0.189	0.283	15.000	
A15	10	152–162	0.019	0	1.000	0.019	0.094	0.094	5.000	
A16	10	162–172	0							

L1, first instar; L2, second instar; L3, third instar; and the A stages represent consecutive adult intervals of 10 d. n is the number of days in the interval and interval (x) is the age interval associated with each stage. All formulae were taken from Carey (1982, 1993).

Source : Emiljanowicz et al (2014)

Comparison of the trapping efficiency of chemical lures, baits, and traps from the 2018 arboretum test.

Type	Comparison	Total SWD	SWD ♂	SWD ♀
Bait	ACV + W	55.83 ± 45.16**	51.02 ± 51.65	55.92 ± 56.13*
	ACV + GA	44.17 ± 54.84	48.98 ± 48.35	44.08 ± 43.87
Chemical lure	Scentry lure	87.36 ± 88.43***	88.35 ± 88.32***	93.75 ± 82.09***
	Trécé lure	12.64 ± 11.57	11.65 ± 11.68	6.25 ± 17.91
Selected attractants	ACV + W	80.27 ± 82.87***	83.69 ± 82.89***	91.84 ± 79.67***
	Scentry lure	19.73 ± 17.13	16.31 ± 17.11	8.16 ± 20.33
Traps	Dreves	62.29 ± 53.02***	58.46 ± 56.43**	58.70 ± 66.18
	Haviland	37.71 ± 46.98	41.54 ± 43.57	41.30 ± 33.82

*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$. ACV, apple cider vinegar; W, wine; and GA, ground apple

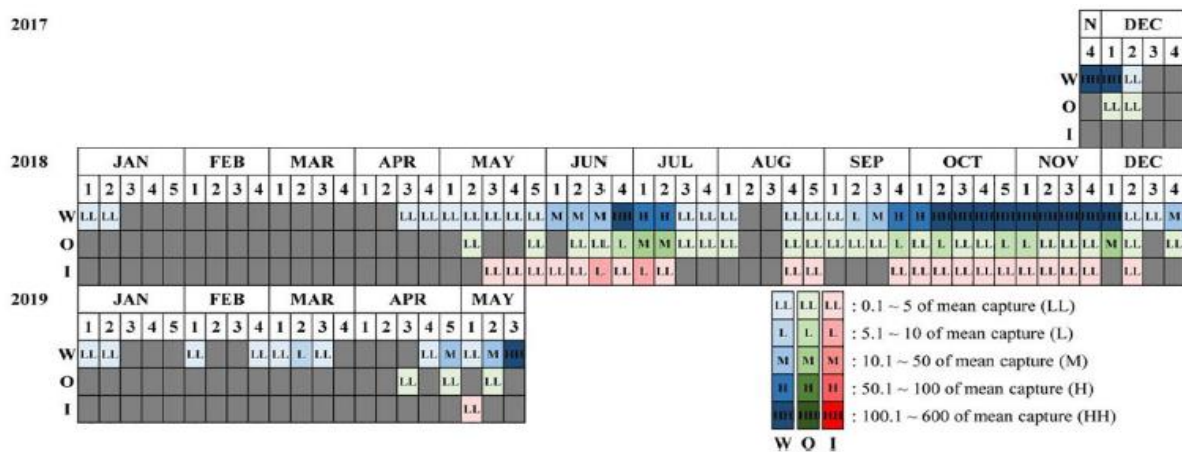
Ju Hwang et al. (2020)

Crésus KOUNOUDJI – INRAE 2022

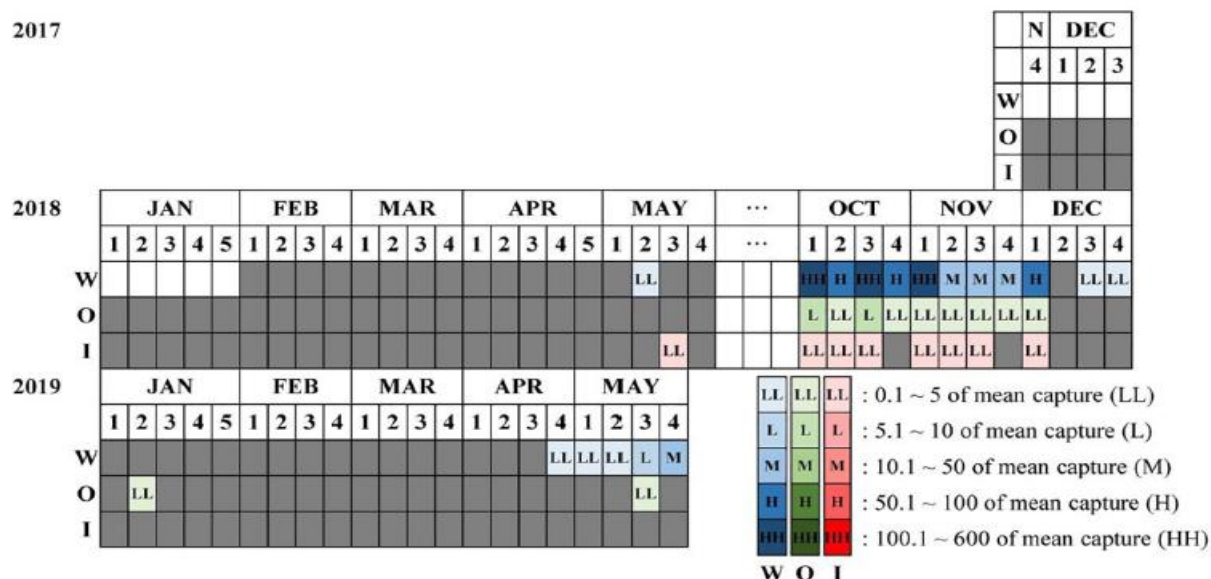
Table 1
Summary of trap capture schemes.

Region	Coordinates	Trap sites (inside/ outside trap no.)	Environment	Distance from woodland (m)	Cultivar	Cultivation method	Export	Duration
Gokseong	35°17'07" N, 127°20'14" E	GW (3)	Pine trees, Raspberry, Chestnut	–	–	–	–	20 Nov 2017–20 May 2019
Damyang	35°14'30" N, 126°58'11" E	G1 (6/6)	Rice paddy	150	Seolhyang	Hydroponics	Y	22 Mar 2018–20 May 2019
		G2 (6/6)	Rice paddy	160	Seolhyang	Soil system	N	
		DW (3)	Pine trees, Persimmon, Bamboo	–	–	–	–	29 Jan 2018–26 May 2018
		D1 (6/6)	Blueberry, Rice paddy, Cabbage	700	Seolhyang	Hydroponics	Y	27 Nov 2017–26 May 2018
		D2 (6/6)	Rice paddy, Cabbage, Strawberry	750	Jughyang	Hydroponics	Y	Oct 2018–23 May 2019
Hwasun	35°00'12" N, 126°56'16" E	D3 (3/6)	Strawberry	730	Seolhyang	Soil system	N	2 Apr 2018–26 May 2018
		HV (3)	Strawberry	–	–	–	–	Oct 2018–23 May 2019
		HP (3)	Strawberry	–	–	–	–	27 Nov 2017–26 May 2018
Jinju	35°14'30" N, 127°57'27" E	D1 (3/3)	Grape, Peach	–	Seolhyang	Hydroponics	N	30 Apr 2018–2 Jun 2018
		JW (3)	Pine trees, Bamboo	–	–	–	–	
		J1 (6/6)	Mulan magnolia	–	–	–	–	28 Sep 2018–20 May 2019
		J2 (6/6)	Strawberry	100	Seolhyang	Soil system	Y	
		J3 (6/6)	Strawberry	800	Seolhyang	Hydroponics	Y	
		J4 (6/6)	Strawberry	1600	Maehyang	Hydroponics	Y	
				1100	Maehyang	Soil system	Y	

Ju Hwang et al. (2020)



Ju Hwang et al. (2020)



Ju Hwang et al. (2020)

BIBLIOGRAPHIE

- []. Chen, Y. and al. (2022) « Effects of Irradiated Sterile Male and Mating Sequence on the Fertility of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) », *Journal of Insect Science*, (2022) 22(1): 22; 1–5
<https://doi.org/10.1093/jisesa/ieac009>
- []. CtfI (2016) « *Drosophila suzukii*, connaissance du ravageur, moyens de protection, bilan du projet CASDAR 2013-2016 »
- []. Delbac, L. ; Rusch, A. and Thiery, D. (2020) « Temporal dynamics of *Drosophila suzukii* in vineyard landscapes », doi : 10.1127/entomologia/2020/0858
- []. Drummond, F. ; Ballman, E. and Collins J. « Population Dynamics of Spotted Wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii* (Matsumura)) in Maine Wild Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton) »
- []. Emiljanowicz, L. M. et al. (2014) « Development, Reproductive Output and Population Growth of the Fruit Fly Pest *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) on Artificial Diet », *Journal of Economic Entomology*, 107(4):1392-1398. 2014, <http://www.bioone.org/doi/full/10.1603/EC13504>
- []. Enriquez, T. (2019) « Mécanismes physiologiques sous-jacents à la plasticité de la thermotolérance chez la drosophile invasive *Drosophila suzukii* », <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02400579>
- []. Grassi, A. et al. (2017) « Seasonal Reproductive Biology of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Temperate Climates », *Environmental Entomology*, 47(1), 2018, 166–174
doi: 10.1093/ee/nvx195
- []. Ju Hwang , E. et al. (2020) « Year-round trap capture of the spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae), in Korean strawberry greenhouses », <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.01.004>
- []. Krüger, P. A. et al. (2018), « Radiation effects on *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) reproductive behaviour », DOI: 10.1111/jen.12563
- []. Lanouette, G. et al. (2017) « The sterile insect technique for the management of the spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*: Establishing the optimum irradiation dose », <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180821>
- []. Leach, H. and al. (2019) « Predicting Within- and Between-Year Variation in Activity of the Invasive Spotted Wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae) in a Temperate Region », *Environmental Entomology*, 48(5), 2019, 1223–1233, doi: 10.1093/ee/nvz101
- []. Lee, J. C. et al. (2019) « Biological Control of Spotted-Wing *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae)-Current and Pending Tactics », *Journal of Integrated Pest Management* ; doi: 10.1093/jipm/pmz012
- []. Revadi, S. and al. (2015) « Sexual Behavior of *Drosophila suzukii*, *Insects* 2015, 6, 183-196;
doi:10.3390/insects6010183
- []. Landolt, P. J. ; Adams , T. et Rogg, H. (2011) « Trapping spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae), with combinations of vinegar and wine, and acetic acid and ethanol », doi: 10.1111/j.1439-0418.2011.01646.x
- []. Langille, A. (2017) « A Mechanistic Model of *Drosophila suzukii* Population Dynamics In Contemporary and Future Climates »
- []. Lespinasse, Y. (2014) « *Drosophila suzukii*, ravageur émergent en Europe »
- []. Manko, P. ; Tierno de Figueroa, M. and Oboña, J. (2021) « Responses of the pest *Drosophila suzukii* population to environmental variables in southern Spain (Granada, Andalusia) », doi : 10.2478/cszma-2021-0004

- []. Ørsted, M. and al. (2021) « Global analysis of the seasonal abundance of the invasive pest *Drosophila suzukii* reveal temperature extremes determine population activity potential », doi :10.1002/ps.6494
- []. Panel, A. and al. (2020) « Seasonal morphotypes of *Drosophila suzukii* differ in key lifehistory traits during and after a prolonged period of cold exposure », doi : 10.1002/ece3.6517
- []. Papanastasiou, S. and all (2021) « Adaptation of an Invasive Pest to Novel Environments: Life History Traits of *Drosophila suzukii* in Coastal and Mainland Areas of Greece during Overwintering », <https://doi.org/10.3390/biology10080727>
- []. Papanastasiou, S. and al. (2020) « Population Dynamics of *Drosophila suzukii* in Coastal and Mainland Sweet Cherry Orchards of Greece », doi :10.3390/insects11090621
- []. Pfab, F. (2017) « Mathematical models for host-parasitoid interactions and biological control of *Drosophila suzukii* »
- []. Passeri, P. (2019) « Étude de l'efficacité du parasitoïde *Ganaspis cf. brasiliensis* pour la gestion de *Drosophila suzukii*, ravageur invasif en culture de fraise sous abri », <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02335876>
- []. Polturat, B. and al. (2018) « Projet *Drosophila suzukii* : connaissance du ravageur, caractérisation du risque et évaluation de méthodes de protection », <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01830335>
- []. Rafael, A. and al. (2022) « Field Suppression of Spotted Wing *Drosophila* (SWD) (*Drosophila suzukii* Matsumura) Using the Sterile Insect Technique (SIT) », <https://doi.org/10.3390/insects13040328>
- []. Renkema, J. and Cuthbertson, A. (2018) « Impact of multiple natural enemies on immature *Drosophila suzukii* in strawberries and blueberries», <https://doi.org/10.1007/s10526-018-9874-8>
- []. Ryan, G. and al. (2016) « Thermal Tolerances of the Spotted-Wing *Drosophila* *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) », doi: 10.1093/jee/tow006
- []. Thistlewood, H. and al. (2018) « Spatial Analysis of Seasonal Dynamics and Overwintering of *Drosophila suzukii* (Diptera : Drosophilidae) in the Okanagan-Columbia Basin, 2010–2014 », doi : 10.1093/ee/nvx178
- []. Union Girondine des vins de Bordeaux (2018) « *Drosophila suzukii* dans le vignoble bordelais »
- []. Wang, X. and al. (2016) « Population dynamics and ecology of *Drosophila suzukii* in Central California », doi : 10.1007/s10340-016-0747-6
- []. Winkler, A. and al. (2020) « A review on temperature and humidity effects on *Drosophila suzukii* population dynamics », *Agricultural and Forest Entomology*, doi :10.1111/afe.12381
- []. Wollmann, J. and al. (2019) « Population Dynamics of *Drosophila suzukii* (Diptera : Drosophilidae) in Berry Crops in Southern Brazil »