

Bilan du projet DS2 2019-2022

Moyens de protection contre *Drosophila suzukii*

 DS2 Project Review 2019-2022 - Control methods of *Drosophila suzukii*



Pour répondre aux enjeux phytosanitaires, environnementaux, techniques et économiques de la protection contre *Drosophila suzukii*, le CTIFL et ses partenaires ont étudié et évalué de nouvelles méthodes de réduction des populations de ce ravageur à différents niveaux d'échelle, de la parcelle à celle du paysage.

Auteur(s)

Florence Février,
Benjamin Gard
CTIFL

Co-auteur(s)

Nicolas Borowiec, Olivier Chabrierie, Florian Chapelin, Aude Couty, Patrice Eslin, Valérie Gallia, Aude Géa, Patricia Gibert, Anthony Ginez, Laetitia Girerd, Alexandre Magrit, Sabine Risso, Christophe Roubal, Aliénor Royer-Lanoote, Romain Ulmer

Mots-clés

#insecte ravageur #lutte biologique #lutte chimique #piégeage #protection par filet

Les données clés à retenir Le projet DS2 a permis d'explorer diverses méthodes de gestion du ravageur *Drosophila suzukii*. Le développement du modèle de simulation « *Drosophila suzukii* » prédit les périodes à risque sur cerise pour mieux cibler les traitements. Les filets périphériques ne sont pas suffisamment efficaces car leur structure ne bloque pas l'entrée de *D. suzukii* sur la parcelle de cerisiers mais en réduit l'infestation. Combiné à une protection chimique, le filet diminue le nombre de traitements à deux. La plante-piège *Pyracantha coccinea* s'est révélée très prometteuse en laboratoire pour attirer *D. suzukii* mais pas en culture de fraise sous abri. La lutte biologique par le parasitoïde exotique *Ganaspis cf brasiliensis* se développe avec des essais préliminaires sous abri intéressants. L'autorisation d'introduction dans l'environnement accordée va permettre de poursuivre les essais sur le terrain.

Key points The DS2 project explored different methods of managing the pest *Drosophila suzukii*. The development of the "*Drosophila suzukii*" simulation model predicts risk periods on cherries to better target treatments. Netting placed around the orchard is not sufficiently effective as its structure does not block the entry of *D. suzukii* into the cherry orchard, but it does reduce the degree of infestation. In combination with chemical control, it reduces the number of treatments to two. The trap plant *Pyracantha coccinea* has shown very promising results in the laboratory for attracting *D. suzukii*, but in protected strawberry cultivation, its use is difficult and not very effective. Other uses of the plant should be considered. Biological control using the exotic parasitoid *Ganaspis cf brasiliensis* is being developed. Preliminary trials under covers are promising and obtaining authorisation to introduce it into the environment will allow the field trials to be continued.

Contexte agronomique et présentation du projet

La drosophile à ailes tachetées, *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae) est un ravageur originaire d'Asie, qui connaît depuis 2008 une progression spectaculaire de son aire de répartition. Elle est actuellement présente sur une grande partie du globe, en Europe, aux États-Unis et en Amérique Latine. Officiellement identifiée en France en 2010, elle cause des dégâts très importants sur de nombreuses espèces fruitières, notamment sur cerises et petits fruits rouges (fraises, framboises, mûres, myrtilles). En effet, cette drosophile présente un fort potentiel de nuisibilité. À la différence des drosophiles indigènes, son ovipositeur est sclérifié et en forme de dents de scie (Atallah *et al.*, 2014 [1]). Cette particularité lui permet de pondre sous la peau des fruits avant leur maturité et donc avant la récolte. Hormis les fruits cultivés, les larves peuvent également se développer dans de très nombreux fruits sauvages (Kenis *et al.*, 2016 ; Poyet *et al.*, 2015 [2, 3]). Ce large spectre d'hôtes, associé à un cycle de développement court, permet une croissance très rapide des populations. Ces caractéristiques peuvent expliquer les limites des stratégies de protection. Pour répondre à la fois aux enjeux phytosanitaires, environnementaux et économiques de la protection contre *D. suzukii*, le projet DS2 : *Drosophila suzukii* « Développer des Stratégies de gestion efficaces, économiquement viables et durables » a vu le jour, voir encadré « Le projet DS2 ».

d'une baisse de température et d'hygrométrie sur la fécondité de la drosophile et de mesurer son temps de réponse. L'impact de la « température » sur la fécondité est testé en faisant varier la

température entre deux valeurs contrastées, 14 °C et 22 °C, et en utilisant une hygrométrie constante de 70 %. Quatre scénarios sont joués avec des alternances ou non de température sur des paliers temporels

Le projet DS2



Le projet DS2 : *Drosophila suzukii* « Développer des Stratégies de gestion efficaces, économiquement viables et durables » a été mis en œuvre de 2019 à 2022 et soutenu financièrement par les fonds CasDAR. Ce projet porté par le CTIFL rassemble plusieurs partenaires : pour la recherche, INRAE PACA (Institut Sophia Agrobiotech, ISA), CNRS (Laboratoire de Biométrie et de Biologie Évolutive, LBBE), Université de Picardie Jules Verne – CNRS (Unité EDYSAN) ; pour l'expérimentation, le CTIFL, l'APREL (Association provençale de recherche et expérimentation légumière), SUDEXPE, le Domaine expérimental La Tapy ; pour le développement, la Chambre d'agriculture des Alpes Maritimes (06) et le CRIIAM Sud ; pour l'enseignement technique ou supérieur, le campus agricole Provence Ventoux et le ministère : DRAAF SRAL PACA.

Le projet avait pour objectif de développer des méthodes innovantes, jusqu'ici peu explorées sur notre territoire. Ces méthodes sont la réduction des niveaux de population de *D. suzukii* à l'échelle du paysage, en développant une méthode de lutte biologique par acclimatation qui bénéficierait à toutes les cultures impactées ; la diminution des niveaux de population à l'échelle de la parcelle, par l'utilisation de filets périphériques qui pourraient être un compromis aux filets monoparcelle et monorang (efficaces mais nécessitant des investissements très importants et une révision complète du système de culture) et le détournement des cultures des femelles de *D. suzukii* prêtes à pondre par l'utilisation de plantes-pièges, pour diminuer la pression de l'insecte dans les cultures sous abris.

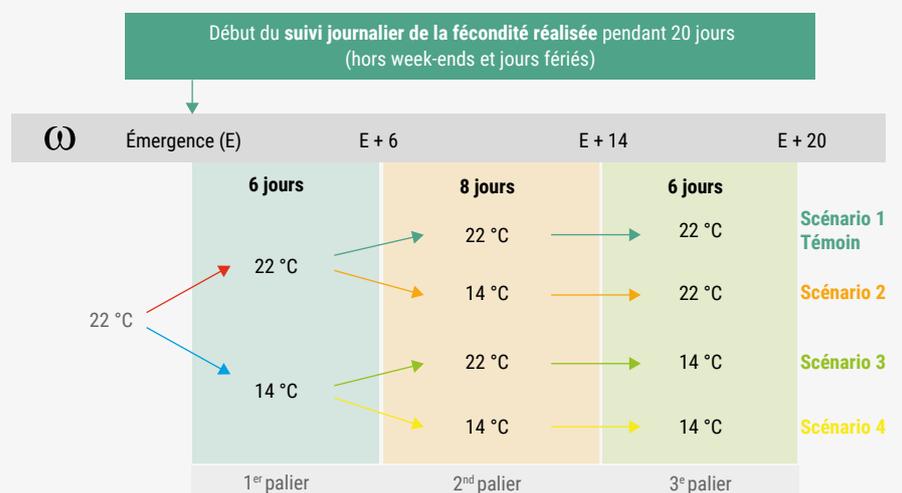
Ces méthodes ont également été combinées à d'autres méthodes de protection, comme la prophylaxie ou la stratégie chimique, de façon à identifier des stratégies économes en produits phytosanitaires dont l'efficacité et l'intérêt technico-économique ont été évalués. Afin que les stratégies puissent être mises en œuvre en anticipant les périodes de risque, c'est-à-dire les périodes de pontes, un outil d'aide à la décision a été développé et mis à la disposition des producteurs. Les deux cultures modèles supports de ces études sont la fraise pour les cultures sous abri et la cerise pour l'arboriculture et le plein champ.

Une meilleure connaissance de l'insecte pour améliorer le modèle *D. suzukii*, nouvel outil d'aide à la décision

Impact de la température et de l'hygrométrie sur la fécondité de *D. suzukii*

Pour mieux protéger les cultures de *D. suzukii*, il est important de bien connaître sa biologie. La température est le principal facteur responsable de la distribution, de la dynamique et de la phénologie saisonnière des populations. Cependant, les connaissances sur l'écologie thermique de cette espèce sont encore lacunaires ce qui empêche la prédiction précise de la dynamique des populations dans la nature. En 2021, une collaboration CNRS-LBBE/DRAAF/CTIFL avait pour objectif d'étudier, en conditions contrôlées, l'effet d'une hausse ou

Figure 1 | Dispositif expérimental de l'essai « température » ; à 70 % d'humidité relative



Ⓞ : phase de développement

identiques (Figure 1). Dans le premier scénario, la température est maintenue constamment à 22 °C pendant les 20 jours d'essais. Dans le deuxième scénario, au bout de six jours, la température est descendue à 14 °C et maintenue à cette température pendant huit jours, avant d'être remontée à 22 °C. Dans le troisième scénario, la température est baissée à 14 °C le premier jour, maintenu à cette température pendant six jours, puis remontée à 22 °C pendant huit jours puis de nouveau baissée à 14 °C pendant six jours. Dans le quatrième scénario, la température est baissée à 14 °C le premier jour et est maintenue à cette température pendant les 20 jours d'essai.

Les résultats obtenus en laboratoire montrent que la diminution de la température de 22 à 14 °C a un effet négatif significatif sur la fécondité de *D. suzukii*. Lorsque la température diminue, les conditions deviennent défavorables et les pontes s'arrêtent. Elles reprennent immédiatement lorsque les conditions redeviennent favorables, c'est-à-dire quand la température augmente (Figure 2, série 2). La courbe du scénario 2 affiche sur le premier palier un potentiel de ponte plus important que le scénario 1, avec un optimum atteint au sixième jour, avec 0,34 œuf pondu en moyenne par femelle. Par la suite, le passage au deuxième palier de température à 14 °C entre les sixième et septième jours marque pour le scénario 2 un effondrement brutal du taux d'oviposition en 24 heures. La courbe du scénario 2 stagne alors nettement en dessous de la courbe du scénario 1 durant le deuxième palier à 14 °C. Enfin, le passage au troisième palier de température à 22 °C marque une augmentation rapide de la fécondité moyenne en 24 heures lorsque les conditions redeviennent favorables à la ponte, avec un pic de ponte au quinzième jour, traduisant 0,32 œuf pondu en moyenne par femelle. Les deux courbes sont significativement différentes au seuil de 1 %.

L'essai « hygrométrie » n'a pas abouti car les deux conditions expérimentales d'humidité relative souhaitées n'ont pas pu être obtenues.

Le modèle de simulation *Drosophila suzukii*

Un modèle de simulation « *Drosophila suzukii* » a été réalisé par la DRAAF PACA pour la cerise. Il n'est pas fiable pour d'autres cultures telles que les fraises ou les petits fruits qui arrivent plus tardivement dans la saison. Il simule la dynamique des populations de *D. suzukii* en sortie d'hiver en fonction de la température et de l'hygrométrie.

Figure 2 | Évolution de la fécondité moyenne par femelle sur 20 jours – Scénarios 1 à 4 – essai température

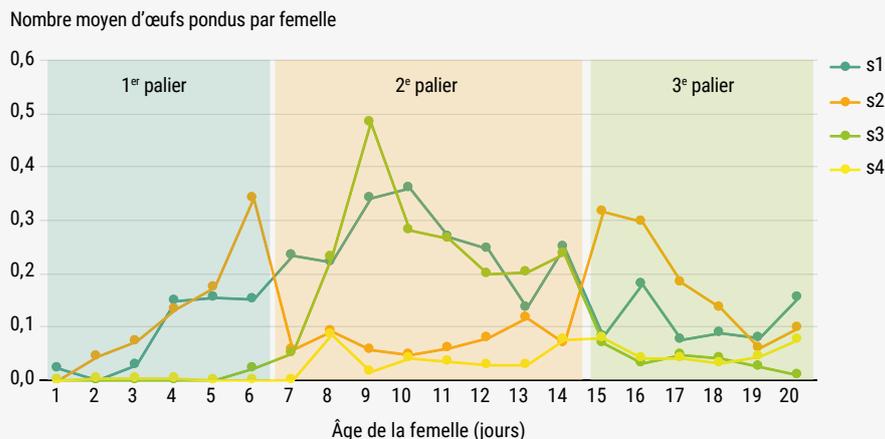
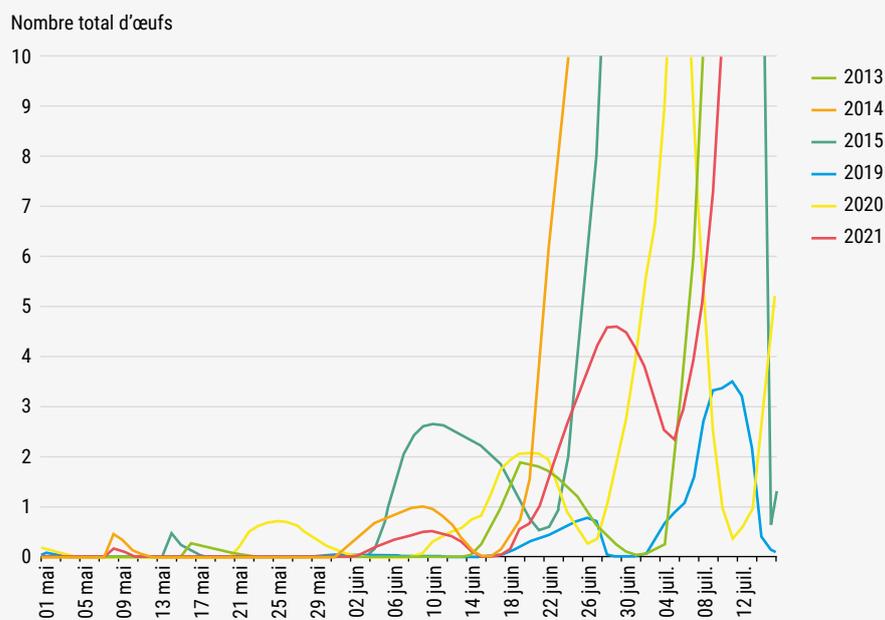


Figure 3 | Estimation du modèle pour l'évaluation de la pression *Drosophila suzukii* à Carpentras sur différentes années

Attention le modèle est qualitatif, le nombre d'œufs pondu par jour est théorique



Ce modèle est issu d'une exploitation originale des données brutes d'élevage obtenues en conditions contrôlées constantes et publiées par des collègues de l'USDA (Tochen et al., 2014, 2016 [4, 5]).

La température est le principal facteur influençant la vitesse du développement, tandis que l'hygrométrie est le principal facteur influençant le taux de survie de l'insecte. Le modèle simule l'arrivée d'une « vague » de ponte plus ou moins intense et compare les années, sans tenir compte du « stock » à la sortie de l'hiver. La sortie du modèle est une courbe représentant

la dynamique journalière de ponte de *D. suzukii* avec un nombre théorique d'œufs sur une période donnée. Pour comparer plusieurs années, les simulations peuvent être lancées l'une après l'autre, année par année. Il est possible d'exporter les résultats numériques des simulations et de les réassembler (Figure 3).

Les résultats de l'essai température décrit dans le paragraphe précédent semblent traduire une réactivité immédiate ou quasi immédiate à la ponte de *D. suzukii*, c'est-à-dire dans les trois jours. Ces données permettent d'ajuster le modèle existant.

Pour valider ces simulations, des observations de pontes ont été faites sur cerise au cours des saisons 2020 et 2021. Les suivis faits au CTIFL sont en adéquation avec les simulations du modèle. Les retours du terrain des différents partenaires du projet DS2 ont permis de confronter le modèle à la réalité et de confirmer son intérêt pour une utilisation en tant qu'outil d'aide à la décision. Cet outil est un appui complémentaire à toutes les informations disponibles (historique de la parcelle, conditions hivernales, etc.) pour décider de la stratégie de protection à mettre en œuvre dans un verger. Le modèle a été mis à disposition dans la région PACA via le CRIIAM Sud. Le reste du territoire français métropolitain est couvert par la plateforme Inoki du CTIFL.

Lors de sa conception, des hypothèses de travail indispensables ont été intégrées au modèle pour tenir compte des délais de réaction de la drosophile face aux variations de température et d'hygrométrie. L'essai de fluctuation de température et la réponse de *D. suzukii* à ces variations ont permis d'améliorer le modèle et d'en créer une deuxième version appelée V2. Néanmoins l'essai ayant été mené en 2021, les modifications n'ont pu être apportées que tardivement dans le projet et cette V2 est encore en cours de validation par des suivis sur le terrain.

La lutte physique par les filets périphériques

Une structure à base de filets périphériques, moins onéreuse que des filets monoparcelle et pouvant s'adapter facilement à des vergers déjà installés et conduits en gobelet, a été évaluée entre 2019 et 2021 dans le cadre du projet DS2 (Figure 4). Des filets hauts de 4 m sont installés en périphérie de trois vergers de cerisiers au Domaine expérimental de La Tapy, à SudExpé Saint-Gilles et sur le centre CTIFL de Balandran sur trois ans. Les variétés testées ont des précocités différentes : Earlise (précoce), Summit (de saison), Noire de Méched, Belge et Regina (tardives). Les niveaux de population sont comparés dans les parcelles protégées et dans les témoins, en utilisant la méthode de piégeage de référence du réseau d'expérimentation. Différents aspects des filets sont évalués : leur niveau de protection, leurs potentiels effets secondaires (microclimat, phénologie, auxiliaires et bioagresseurs) et leur intérêt technico-économique.

Efficacité

L'efficacité des filets seuls ainsi que plusieurs combinaisons de stratégies sont évaluées au cours des trois années dans différentes conditions de pressions.

L'efficacité du filet périphérique seul est variable selon les sites et les années : lorsqu'aucun traitement insecticide n'est effectué à la fermeture des filets pour « nettoyer » le verger, les drosophiles peuvent se retrouver emprisonnées à l'intérieur et l'intérêt recherché de bloquer l'entrée des drosophiles sur la parcelle est alors nul. En revanche, si un seul traitement est réalisé à la fermeture du filet après la floraison et l'intervention des pollinisateurs, sur les deux années d'essai la modalité « filet seul » du site de SudExpé présente une efficacité de 66 % par rapport au témoin non traité hors filet. Cela reste insuffisant pour protéger la culture convenablement avec plus de 20 % de dégâts liés à *D. suzukii*

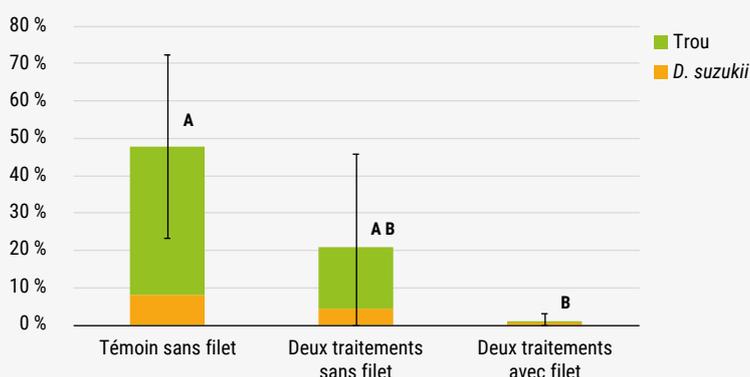
en 2020. Si cette structure ne permet pas de bloquer l'entrée de *D. suzukii* sur la parcelle, elle en réduit l'infestation : - 61 % de captures observées à l'intérieur du filet.

Dans un contexte d'interdiction croissante de molécules et donc de spécialités phytosanitaires, le filet périphérique a également été évalué en combinaison d'autres méthodes de protection afin d'étudier la possibilité de réduction des interventions phytosanitaires par rapport à la stratégie de référence comprenant quatre traitements. Une réduction significative des dégâts est observée en 2021 sur le site de SudExpé lorsque deux traitements complémentaires à celui positionné à la fermeture du filet 37 jours avant récolte sont positionnés 18 jours (lambda-cyhalothrine) et 5 jours avant récolte (cyantraniliprole). Au premier passage de récolte, la modalité « Deux traitements avec filet » présente une efficacité de 74 % par rapport au témoin non traité

Figure 4 | Filet périphérique de 4 m de haut entourant un verger de cerisier



Figure 5 | Dégâts observés sur le second passage de Noire de Meched, le 15 juin 2021



sans filet ; au deuxième passage de récolte, l'efficacité est de 98 % (Figure 5) et au dernier passage de 83 %. En comparaison avec la modalité « Deux traitements sans filet », la modalité « Deux traitements avec filet » présente une efficacité de 44 % au premier passage de récolte, 95 % au deuxième passage et 73 % au dernier passage.

Sur le centre CTIFL, au premier passage de récolte, la modalité avec filet et les trois traitements positionnés 14 jours (lambda-cyhalothrine), 7 jours (cyantraniliprole) et 3 jours (spinétorame) avant récolte présente une efficacité de 92 % par rapport au témoin non traité sans filet et de 83 % au deuxième passage. Les dégâts sur le témoin non traité n'ont pas excédé 7 %.

La mise en place de sondes dans et hors du filet périphérique durant les trois ans d'essais et sur l'ensemble des sites d'étude n'a pas permis de mettre en avant un impact

du filet sur l'environnement de la parcelle que ce soit en termes de température ou d'humidité (minimales, moyennes et maximales). De la même manière, le suivi des stades phénologiques durant les trois années n'a mis en avant aucune différence de développement végétatif des arbres suite à l'installation du filet.

D'un point de vue technique, des points de vigilance sont toutefois soulignés au cours des essais : la nécessité d'un entretien régulier de la structure (gestion de l'herbe, culture si déchirures) et son positionnement vis-à-vis des haies qui peuvent favoriser l'entrée du ravageur si elles sont trop proches du filet et plus hautes que celui-ci. D'un point de vue économique, les coûts d'investissement dans une structure avec filet dépendent des caractéristiques choisies : nombre de poteaux, type de fixations, type de portes, main-d'œuvre pour la pose, etc.

Étude technico-économique

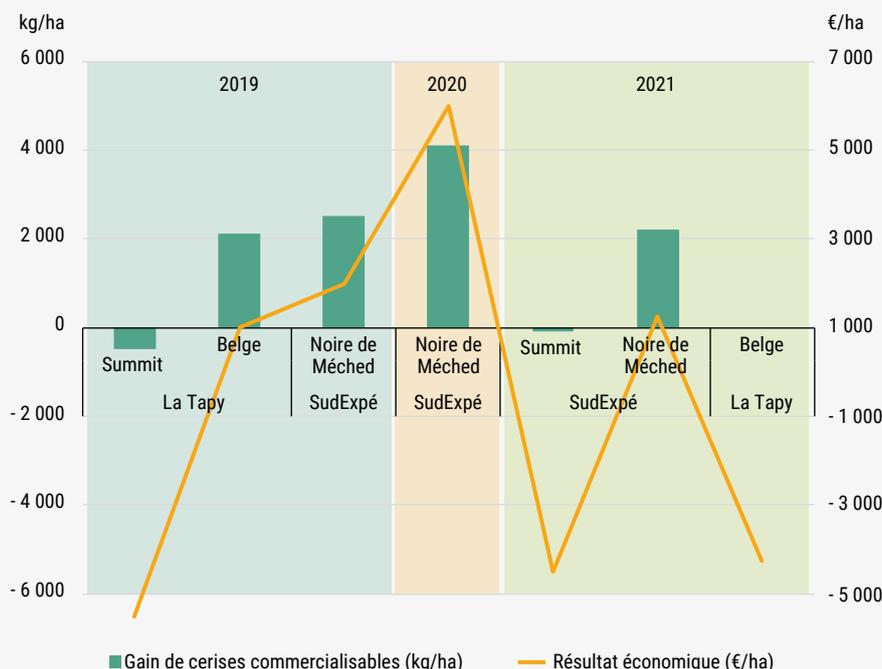
Pour évaluer l'intérêt potentiel des filets pour les producteurs, une étude technico-économique a été réalisée par la chambre d'agriculture du Vaucluse à l'issue des trois années d'essais. Sur l'ensemble des essais menés dans le cadre de l'étude des filets périphériques (au total trois essais par an pendant trois ans et portant à chaque fois sur deux variétés aux créneaux de maturité distincts), sept ont été sélectionnés pour servir de base à l'analyse économique de la technique. Ce choix s'est fait sur les critères suivants :

- les essais sont valides et cohérents : les protocoles de référence ont pu être appliqués, le taux d'infestation dans le témoin non traité est suffisant et la stratégie de référence présente une efficacité relative conforme aux attentes (Source : méthode CEB M266).

Figure 6 | Résultats des essais sélectionnés pour l'analyse

Partenaires		La Tapy	SudExpé	La Tapy	La Tapy	SudExpé	SudExpé	SudExpé
Variété		Summit	Summit	Belge	Belge	Noire de Meched	Noire de Meched	Noire de Meched
Année		2019	2021	2021	2019	2021	2019	2020
Rendement commercialisable (kg/ha)	Témoin non traité	1 000	9 100	3 900	1 200	5 200	3 000	9 500
	Filet + protection chimique	6 000	9 700	9 650	7 900	9 900	9 500	9 500
	Protection chimique seule	6 500	9 800	9 650	5 800	7 700	7 000	5 400

Figure 7 | Synthèse économique



- les essais permettent de comparer une stratégie avec et sans présence du filet périphérique afin de pouvoir en déduire le gain d'efficacité dû à ce dernier.

Le tableau de la figure 6 montre que seulement quatre situations mettent en avant un bilan positif en incluant le filet périphérique. Dans trois cas sur sept, le rendement avec le filet périphérique est inférieur ou égal à celui d'une parcelle sans cette protection supplémentaire. Le coût de la structure vient s'ajouter aux frais de la culture. Dans les autres essais, le filet permet de gagner en moyenne 27,25 % de rendement par rapport à la protection chimique seule. Les rendements commerciaux des parcelles d'expérimentation ne pouvant pas être évalués précisément, une simulation du résultat économique est basée sur des valeurs moyennes des dernières années pour la production de cerise sur des vergers similaires (Figure 7). Pour obtenir les résultats de la figure 5 le rendement a été estimé à 10 t/ha avec un prix de vente moyen de 2,50 €/kg. Le gain annuel à l'hectare (incluant l'ensemble des frais engagés) varie grandement d'une situation à l'autre : celui-ci oscille entre 249 et 1 499 €/ha pour une valeur médiane de 405 €/ha si l'on prend une surface de référence de 2 500 m² comme dans les essais. Ces valeurs sont à pondérer en fonction de leur faible représentativité : sur l'ensemble des essais menés, seul un essai sur la variété Belge à la Tapy et trois essais sur la variété Noire de Méched à SudExpé ont permis de mettre en avant l'intérêt économique de ce système

mais avec une grande variabilité de valeurs. Dans le cas où le rendement de la parcelle serait plus élevé que les 10 t/ha estimées ici, les valeurs de gain commercial seraient également à revoir à la hausse. Pour autant il s'agit ici que d'une échelle expérimentale, dans le cadre d'études réalisées sur de petites surfaces. Des interrogations subsistent dans le cadre d'installations plus grandes, à l'échelle producteur. Les axes d'étude sont orientés sur la combinaison de solutions, en complément du filet, afin d'atteindre des niveaux d'efficacité suffisants pour assurer le maintien de la production. Dans cette optique, un nouveau projet a été déposé avec pour ambition de travailler ces combinaisons de solutions afin d'identifier les meilleures stratégies en fonction des conditions de pression.

L'utilisation des plantes-pièges

Le principe des plantes-pièges

D. suzukii est un ravageur très polyphage des cultures fruitières, également capable d'utiliser les fruits charnus d'un très grand nombre de plantes sauvages et ornementales avoisinant les champs cultivés [6, 3, 2, 7]. Cette polyphagie représente un avantage pour l'insecte car elle lui assure un grand nombre de ressources et une continuité temporelle. Le bénéfice est d'autant plus important si la mouche s'associe à des plantes invasives particulièrement productives en fruits [8] ou lorsqu'elle utilise

les métabolites secondaires des plantes sauvages comme arme de défense contre les parasitoïdes [9]. Cependant, la polyphagie a un coût et peut amener *D. suzukii* à faire des erreurs d'oviposition, c'est-à-dire à pondre ses œufs dans des fruits de plantes inadéquats au développement des larves et donc dans lesquelles les larves finissent par mourir [3, 10]. Par ailleurs, l'insecte peut aussi perdre beaucoup de temps à faire un choix entre plusieurs types de fruits et pondre moins d'œufs lorsque les choix sont multiples [11]. De telles plantes leurrant et trompant *D. suzukii* sont qualifiées de plantes-pièges. Cette méthode durable pour l'environnement a déjà été validée pour d'autres insectes ravageurs des cultures [12].

La démarche est de mettre en compétition les fruits cultivés et les fruits des plantes-pièges pour les choix de ponte de *D. suzukii*, en disposant ces plantes dans les systèmes de production. Le résultat attendu serait une réduction des taux de pontes de *D. suzukii* sur les fruits cultivés, associée à un développement infructueux de la descendance des femelles.

Une plante-piège prometteuse en laboratoire

L'un des objectifs du projet CasDAR-DS2 est de déterminer l'efficacité de plantes-pièges en laboratoire et en serre en tant que méthode innovante et écologiquement acceptable pour réduire les infestations de fraises par *D. suzukii*. Un panel de 67 espèces de plantes sauvages a été testé par Olivier Chabrier et coll. (Université de Picardie Jules Verne - EDYSAN). Certaines se sont révélées des plantes-pièges potentiellement très intéressantes pour piéger *D. suzukii* [3].

Le choix de la plante-piège étudiée s'est fait sur différents critères : le taux de ponte élevé avec un taux d'émergence de drosophiles très faible ; la présence sur le territoire français ; la disponibilité en horticulture ; la résistance et la facilité d'entretien et la forme de vie pérenne de la plante (arbuste). La plante-piège retenue est le *Pyracantha coccinea*, le buisson-ardent (Figure 8). C'est une espèce d'arbuste épineux de la famille des Rosacées, produisant beaucoup de fruits de couleur rouge. Il est planté en quantité dans les jardins et espaces verts, notamment pour constituer les haies. Il existe de nombreuses variétés commercialisées, dont certaines sont résistantes au feu bactérien. Au cours du projet, l'unité EDYSAN du CNRS a mis en place en laboratoire des tests de choix entre plantes-pièges et fraise, réalisés dans différentes

Figure 8 | *Pyracantha coccinea*. Plante-piège utilisée pour le contrôle de *Drosophila suzukii*. Jeune plant en pot sur le site CTIFL de Balandran



conditions expérimentales pouvant influencer sur l'efficacité de la plante-piège.

Au laboratoire, un premier test de choix entre une fraise et un corymbe de *Pyracantha* est proposé à cinq *D. suzukii* (trois femelles et deux mâles) pendant 24 heures en phytotron. Le témoin comporte seulement une fraise avec le même nombre de mouches pendant la même durée. Ce test a montré qu'en présence de *Pyracantha*, le nombre de *D. suzukii* adultes émergeant des fraises est réduit de 47 % (Figure 9). De plus, sur l'ensemble des œufs pondus dans les fruits de *Pyracantha*, aucune mouche n'a émergé. Le second test évalue l'effet de la distance sur le choix de *D. suzukii* entre une fraise et un corymbe de *Pyracantha*. Dans la première modalité, fraise et corymbe sont écartés de 5 cm et dans la deuxième modalité de 30 cm. Pour chaque modalité, les fruits sont exposés à cinq *D. suzukii* (trois femelles et deux mâles) pendant 24 heures

en phytotron. L'augmentation de la distance entre les deux types de fruits n'a pas eu d'influence sur le choix du support de ponte des drosophiles (Figure 10) : *Pyracantha* garde un effet significatif quelle que soit sa distance de la fraise. Pour les deux modalités, le nombre d'œufs pondus sur le corymbe de *Pyracantha* est beaucoup plus important que le nombre d'œufs pondus dans la fraise.

Une hypothèse avancée pour expliquer la préférence de *D. suzukii* pour les fruits du *Pyracantha* porte sur l'architecture des corymbes de la plante-piège. Le corymbe est plus gros et présente une architecture plus complexe qu'une fraise, avec ses nombreuses petites branches pouvant constituer une zone refuge dans lesquelles les drosophiles pourraient se cacher et qui pourrait augmenter l'attractivité pour ses fruits. Pour évaluer l'attractivité de la plante-piège dans des conditions plus

proches du terrain, un essai en mini-serre a été mis en place par l'unité EDYSAN. Dans ce dispositif, quatre pieds de fraisier en pot portant chacun deux fraises rougissantes ont été placés seuls dans une mini-serre témoin, et pour la mini-serre testant la plante-piège des branches de *Pyracantha* portant fruits et feuilles ont été plantées dans du terreau et ajouté au dispositif. Dans les deux modalités, les plantes sont exposées à 25 *D. suzukii* (15 femelles et 10 mâles) pendant 72 heures. Pour chaque mini-serre, les huit fraises et 100 fruits de *Pyracantha* sont conservés jusqu'à émergence pour quantifier l'infestation de *D. suzukii*. Ce test a montré qu'en présence de *Pyracantha*, le nombre de *D. suzukii* adultes émergeant des fraises était réduit de 39 % (Figure 11). De plus, sur l'ensemble des œufs pondus dans les fruits de *Pyracantha*, aucun n'a produit de mouche adulte.

Figure 9 | Nombre d'adultes de *Drosophila suzukii* émergents par fraise sans plante-piège *Pyracantha* (orange) ou avec plante-piège *Pyracantha* (vert). Essai en laboratoire sur fruits détachés

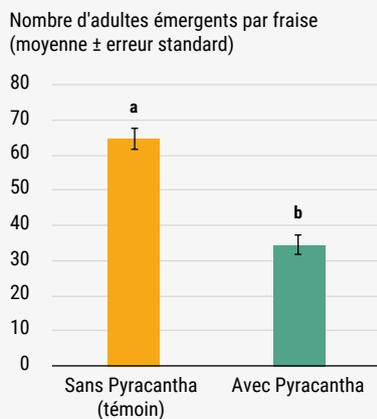


Figure 10 | Nombre d'œufs pondus par *Drosophila suzukii* sur chaque espèce de fruit

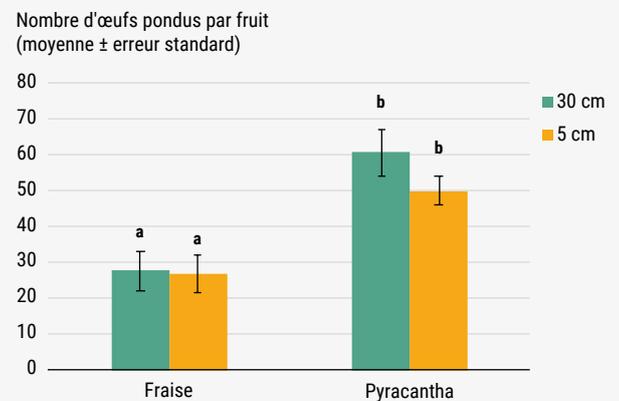


Figure 11 | Nombre d'adultes de *Drosophila suzukii* émergents des fraises dans les deux modalités (fraise sans plante-piège en orange ; ou fraise avec plante-piège en vert). Essai en mini-serre sur plants de fraisiers en pots et branches de *Pyracantha*

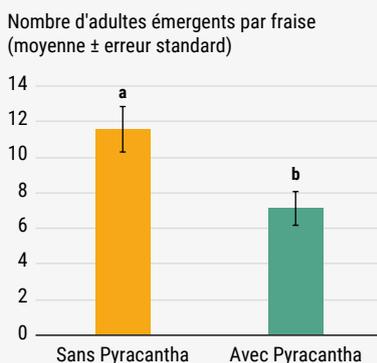
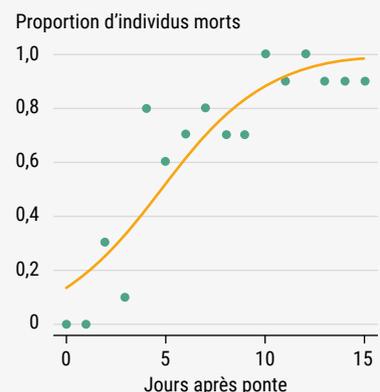


Figure 12 | Proportion d'individus de *Drosophila suzukii* morts observés dans les fruits de *Pyracantha coccinea*



Un essai pour étudier la survie de la progéniture de *D. suzukii* dans la plante-piège a également été mené pour mieux comprendre à quel stade de développement les individus meurent. Pour cela, quatre corymbes de fruits de *Pyracantha* ont été mis en contact avec cinq femelles *D. suzukii* chacun pendant 24 heures. Chaque jour, pendant deux semaines, des fruits sont diséqués pour observer le stade de développement et la survie de 10 œufs et/ou larves. Cet essai a montré que quasiment tous les œufs éclosent (seuls 2 sur 150 n'ont pas éclos) mais après cinq jours, près de 50 % des individus sont morts, et après dix jours près de 100 % des individus de *D. suzukii* sont morts (Figure 12).

Un retard de développement des larves est à noter : à 20 °C, le cycle complet normal de l'œuf à l'adulte de *D. suzukii* est d'environ 13 jours et ici au bout dix jours, les quelques larves survivantes n'en sont qu'au stade 2. Aucune larve n'a atteint le stade pupes et toutes présentaient un brunissement. Les causes de mortalité des larves dans les fruits des plantes-pièges restent encore inconnues : fruits trop fibreux, manque de nutriments et d'eau, et/ou présence de composés toxiques pour les insectes, etc. Une hypothèse avancée est un effet négatif de la composition biochimique des fruits sur la survie des larves. Une étude des composés chimiques des fruits de *Pyracantha* a été initiée dans le cadre du projet DS2 pour identifier des familles de composés avec des effets toxiques. L'adaptation de la méthode aux cultures sous serre nécessite encore des recherches.

Des essais ont ensuite été menés en serre expérimentale pour évaluer la plante-piège sélectionnée en conditions plus proches

de la pratique. Une première étude est réalisée en conditions semi-contrôlées dans les serres expérimentales du centre CTIFL de Balandran. L'essai est réalisé sur une culture de fraisier hors-sol, plantée en août 2020. Cette plantation tardive permet de faire coïncider la fructification des fraisiers avec celles des plants de *Pyracantha* pour maximiser l'effet de piégeage. Les jeunes plantes-pièges de *Pyracantha* sont cultivés en pot et disposés sous et à l'extrémité des gouttières, à la densité de 0,25 plante-piège/m² (soit 2 500 plantes par hectare). Trois compartiments de serres sont équipés de plants de *Pyracantha* et deux autres compartiments témoins n'en reçoivent aucun. À l'apparition des premiers fruits rouges, un apport de 30 femelles et 20 mâles de *D. suzukii* est réalisé afin de garantir une infestation homogène et suffisante par le ravageur dans les cinq compartiments d'essais. Les fruits sont ensuite récoltés, 80 fruits par compartiment, deux fois par semaine, pendant quatre semaines.

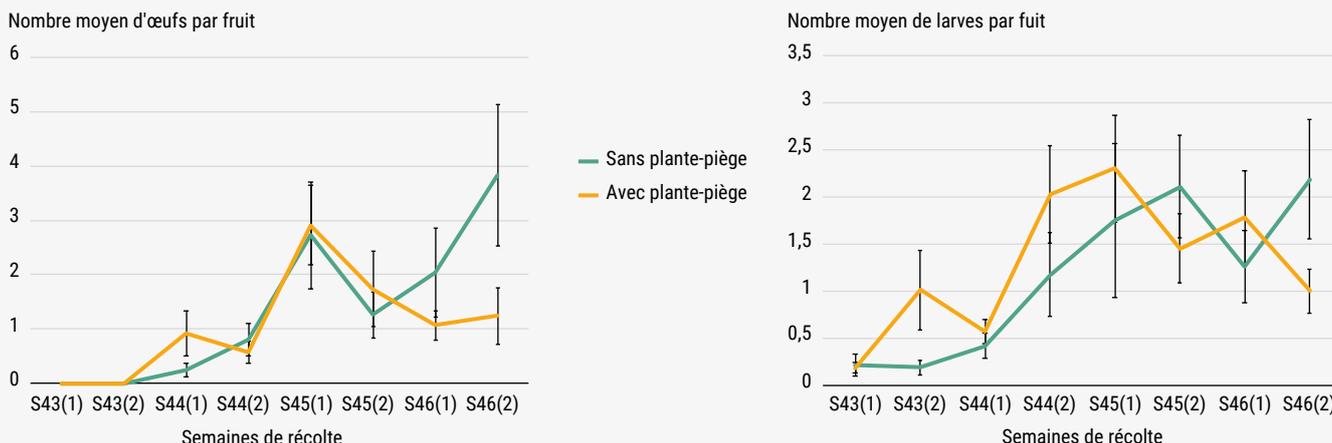
Sur l'ensemble de l'essai, le taux d'infestation moyen des fruits par les larves n'est pas significativement différent entre le témoin et la modalité protégée avec les plants de *Pyracantha*, ($p = 0,729$). En moyenne, sur l'ensemble de l'essai, la modalité témoin présente 1,14 ($\pm 0,17$) larve par fruit quand la modalité avec plantes-pièges en présente 1,29 ($\pm 0,14$). Il en est de même pour le taux d'infestation moyen par les œufs de *D. suzukii* observés dans les fruits ($p = 0,210$) : 1,30 ($\pm 0,24$) œuf par fruit dans le témoin et 1,05 ($\pm 0,16$) œuf par fruit dans la modalité avec les plantes-pièges (Figure 13). À partir de la semaine 45, dans la modalité avec plantes-pièges, le taux

moyen d'infestation baisse. L'analyse date à date ne met pas en évidence de différence significative entre les modalités pour le taux moyen d'infestation des fruits, pour les larves comme pour les œufs, à l'exception de la dernière date de récolte S46(2) (Figure 14). Lors de la dernière mesure, le nombre d'œufs par fruit est significativement plus faible dans la modalité avec plante-piège que dans la modalité témoin (Kruskal-Wallis, $p = 0,004$). Bien que la même tendance s'observe pour le nombre de larves par fruit, la différence n'est pas significative au seuil de 5 % (Kruskal-Wallis, $p = 0,13$).

Une seconde étude est conduite par l'APREL, chez un producteur de fraise sur la variété remontante Mara des Bois fortement exposée aux attaques de *D. suzukii*. La culture est conduite en hors-sol et les plantes de *Pyracantha* sont disposées sous les gouttières pour ne pas gêner la circulation dans les rangs, à une densité de 150 plantes par hectare. Les résultats de l'APREL ne montrent pas d'efficacité quant à la réduction des dégâts de *D. suzukii*. Le taux d'infestation des fruits est équivalent entre les tunnels avec plantes-pièges et les tunnels témoins sans plante-piège.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce manque d'efficacité : l'utilisation de jeunes arbustes, peu matures et très peu fournis en fruits et la densité des arbustes dans les serres. Dans les essais en laboratoire, le nombre de fruits de *Pyracantha* était très largement supérieur au nombre de fraises ce qui n'était pas le cas dans les essais en serre. De plus, la gestion des plantes-pièges sous abri a été difficile : la présence d'épines nécessite de tailler régulièrement l'arbuste et la fructification tardive de la

Figure 13 | Taux d'infestation moyen des fraises par les larves (en haut) et les œufs (en bas) de *Drosophila suzukii* pour les modalités témoin



plante-piège, pas avant la fin du mois d'août, n'offre une potentielle protection que les derniers mois de production des variétés remontantes. D'autres systèmes sont à évaluer comme l'installation de plantes-pièges dans des haies bordant les cultures pour tenter de réduire la pression de *D. suzukii* sur les exploitations.

Ces essais ne sont que des tests préliminaires en laboratoire et une étude à long terme, en plein champ et avec l'utilisation de pieds d'arbustes de *Pyracantha* bien plus matures d'au moins trois ou quatre ans, serait nécessaire pour valider l'efficacité *in situ* de la plante-piège, avant son utilisation en système de production.

Lutte biologique par acclimatation : de la caractérisation intégrative des parasitoïdes exotiques en laboratoire et en serre aux introductions expérimentales sur le terrain

Comme indiqué plus haut, *D. suzukii* présente une très large gamme de plantes-hôtes sur lesquelles elle est capable de se développer [3, 2, 7]. La plupart de ces plantes sont toutefois des espèces non cultivées spontanément présentes et abondantes à différentes périodes de l'année. Elles peuvent donc servir de réservoir et/ou de refuges à *D. suzukii*, et sont à la base des infestations qui sont observées dans les cultures [13]. La gestion des populations de ce ravageur dans les zones non cultivées apparaît donc comme un élément clé pour la mise en place d'une stratégie de gestion intégrée efficace et durable.

Parmi les méthodes alternatives évaluées contre ce ravageur dans le projet DS2, les travaux relatifs à la lutte biologique par acclimatation à l'aide de parasitoïdes exotiques se sont poursuivis. Cette méthode de biocontrôle repose sur l'introduction, en vue de son établissement pérenne dans la nature, d'un auxiliaire spécifique provenant de la même zone d'origine que le ravageur cible, de manière à induire un contrôle durable de ce dernier [14]. Menées conjointement avec le CABI (Suisse) et financées en particulier par le projet européen DROPSA (KBBE-FP7, 2014-2018), des prospections en Asie ont permis, en 2015 et 2016, d'importer en quarantaine (CABI en Suisse et INRAE en France) plusieurs populations de parasitoïdes exotiques de *D. suzukii* [15] appartenant aux genres *Asobara* (Hymenoptera, Braconidae), *Ganaspis* et *Leptopilina* (Hymenoptera, Figitidae). L'étape d'évaluation au laboratoire

Figure 14 | Boxplot représentant la distribution du taux d'infestation des œufs dans les fraises, pour les modalités témoin (control) et avec plantes pièges (PP), sur l'ensemble des placettes de récoltes lors de la dernière observation le 12/11/2020 [S46(2)]

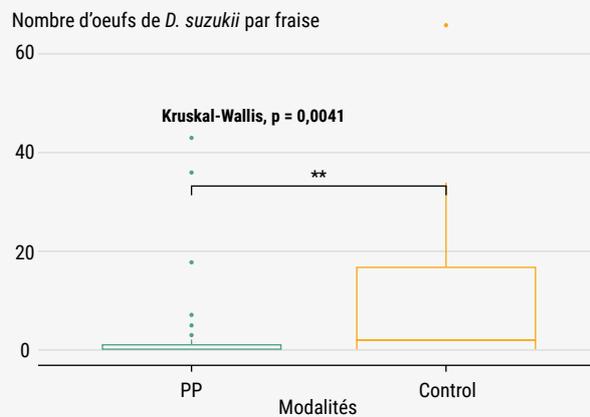


Figure 15 | Évaluation de *Ganaspis cf. brasiliensis* au laboratoire



a permis d'étudier certains traits biologiques d'intérêt (spécificité d'hôte notamment) et de préciser l'identité des auxiliaires importés.

***Ganaspis cf. brasiliensis* G1 : le parasitoïde le plus spécifique**

Les tests de spécificités des parasitoïdes au laboratoire (Figure 15) sont menés en conditions de non-choix c'est-à-dire en présence uniquement de *D. suzukii* et en conditions de choix c'est-à-dire en présence de plusieurs hôtes dont *D. suzuki*. Dans ce dernier cas, différentes espèces de drosophiles plus ou moins proches phylogénétiquement de *D. suzukii*, les drosophiles *D. melanogaster*, *D. subobscura*, *D. busckii*, *D. hydei* et *D. immigrans* sont proposées. *Ceratitis capitata* (Tephritidae) a également

été testée car, bien que n'étant pas une drosophile, elle partage certaines exigences écologiques avec *D. suzukii* au niveau de la ponte dans les fruits frais. Les résultats obtenus montrent que les espèces du genre *Asobara* et *Leptopilina* (dont *L. japonica*) sont capables de significativement se développer dans plusieurs espèces non-cibles de drosophiles contrairement aux populations de *Ganaspis* qui se développent presque exclusivement sur *D. suzukii* [16].

En plus de ce spectre d'hôte plus restreint, certaines populations de *Ganaspis* dont *G. cf. brasiliensis* G1 en particulier, semblent partager des caractéristiques écologiques avec *D. suzukii* à savoir le développement dans les fruits frais uniquement [17, 18]. Des essais menés en serre confinée au CTIFL ont

d’ailleurs confirmé la capacité de certaines populations de *Ganaspis* (*G. cf. brasiliensis* G1) à parasiter *D. suzukii* directement sur des plants de fraisiers en conditions de production et à induire un impact significatif sur le développement de la population. En effet, les populations de *D. suzukii* sont réduites de 35 à 46 % dans les modalités avec introduction de parasitoïdes en comparaison du témoin sans parasitoïde (Figure 16) [19].

Une identification fiable nécessaire avant toute introduction

Pour préciser l’identité des parasitoïdes importés, les différentes populations étudiées ont subi une caractérisation moléculaire en utilisant plusieurs marqueurs moléculaires : mitochondrial, COI ou nucléaires, 28S et ITS2. Les résultats ont confirmé les incertitudes taxinomiques observées par ailleurs chez l’espèce nommée *Ganaspis brasiliensis* [20, 21], avec l’existence de plusieurs clusters génétiquement différenciés dont un, le groupe 1, rassemble les populations les plus spécifiques de *D. suzukii* [22] (Figure 17). Des expériences de croisement réalisées entre des individus appartenant à ces différents groupes ont d’ailleurs montré l’existence d’incompatibilités de reproduction entre certains groupes, confirmant la présence d’espèces différentes au sein de ce complexe. Par exemple, des individus appartenant à deux populations (Chine et Japon) du groupe 1 sont tout à fait capables de se reproduire, alors que des croisements entre individus appartenant à des groupes différents (1 et 3 par exemple) n’ont produit aucun descendant femelle. Chez ces espèces, la reproduction

Valorisation des résultats du projet DS2

Les résultats de ce projet sont valorisés sous différentes formes : publications et site web.

Les publications en anglais et en français sont :

- Ulmer R., Couty A., Eslin P., Gabola F., Chabrierie O. (2020). The firethorn (*Pyracantha coccinea*), a promising dead-end trap plant for the biological control of the spotted-wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*). *Biological Control*, Vol. 150 : 104345. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104345>
- Seehausen, M.L., Ris, N., Driss, L. *et al.* (2020) Evidence for a cryptic parasitoid species reveals its suitability as a biological control agent. *Sci Rep* 10, 19096.
- Borowiec N., Seehausen L., Girod P., Thaon M., Gard B., Sauvignet M., Risso S., Kremmer L., Cailleret B., Ponchon M., Idier M., Gatti J.L., Ris N. and Kenis M. (2021a). *Drosophila suzukii* et lutte biologique par acclimatation. *Phytoma*, 740, 25-30.
- Borowiec N., Gatti J.L. and Ris N. (2021b). Document technique relatif à l’introduction dans l’environnement de l’hyménoptère parasitoïde exotique, *Ganaspis cf. brasiliensis* G1. INRAE, 33pp.
- Gard B., Sauvignet M., Bardel A. and Borowiec N. (2021a). Lutte biologique : introduire un auxiliaire pour contrôler *Drosophila suzukii*. *INFOS CTIFL* 371, 51-54.
- Ballion S., Fevrier F., Gallia V., Gorski C. and Simler O. (2021). Protéger les cerises de la drosophile. *Phytoma*, 740, 21-24.
- Gabelle A., Zavagli F., Duval-Chaboussou A., Fevrier F. and Bourguin B. (2021). Rencontres phytosanitaires CTIFL – DGAL/SDQSPV Les nouvelles stratégies de protection des cultures. *INFOS CTIFL* 371, 11-15.
- Fevrier F. (2022). Journée nationale *Drosophila suzukii* 2022. Panorama des solutions étudiées par la recherche et l’expérimentation
- Le Gis Fruits fait le plein de pistes de solutions, Réussir Fruits & Légumes, n° 413 février 2021
- Un parasitoïde contre *D. suzukii*, Réussir Fruits & Légumes, n°418 juillet-aout 2021

Les résultats sont aussi disponibles sur le site internet du projet : <https://drosophila-suzukii.ctifl.fr/> et sur la plateforme Inoki pour l’accès au modèle *Drosophila suzukii* DGAL et à son tutorial : <https://inoki.ctifl.fr/>

Figure 16 | Évolution du nombre d’adultes de *D. suzukii* émergés par fraise récoltée. Les codes GS6 et GT correspondent aux dénominations des lieux de prélèvement de la population G1 de *Ganaspis cf. brasiliensis*

Les barres d’erreurs représentent l’erreur standard. Les lettres indiquent les groupes statistiquement différents.

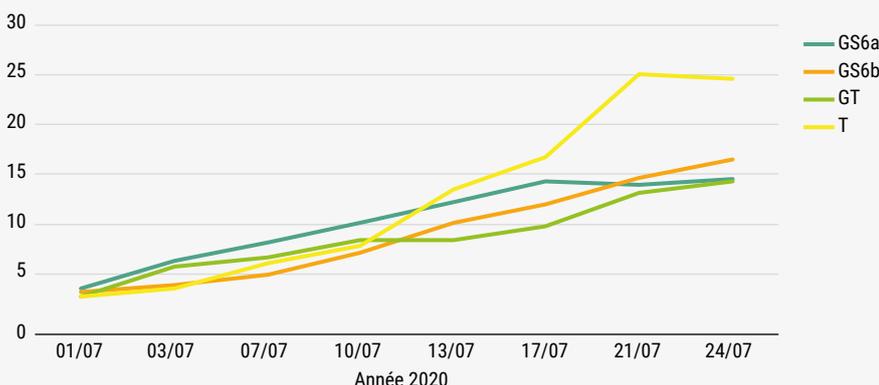


Figure 17 | Individu adulte femelle de *Ganaspis cf. brasiliensis*



est dite arrhénotoque, c'est-à-dire que la production de descendants femelles se fait à partir d'œufs fécondés. Les populations de *Gnaspis cf. brasiliensis* G1 c'est-à-dire appartenant au groupe moléculaire 1, sont donc identifiées comme candidats les plus prometteurs pour une lutte biologique contre *D. suzukii* dans plusieurs pays (États-Unis, France, Italie, Suisse).

L'ensemble des données produites a ensuite été utilisé pour rédiger un dossier de demande d'introduction dans l'environnement pour le parasitoïde exotique *Gnaspis cf. brasiliensis* G1, qui comprend notamment une évaluation des risques et des bénéfices liés à ces introductions [23]. Après évaluations favorables par des comités d'experts (Anses notamment), INRAE a obtenu en août 2022, sous forme d'Arrêté conjoint des ministères de l'Agriculture et de l'Environnement, l'autorisation d'introduire ce parasitoïde en France à des fins de lutte biologique par acclimatation.

Cette opération de lutte biologique par acclimatation doit maintenant se poursuivre par les premières introductions et les premiers suivis d'établissement en France en 2023. Ce travail sera notamment réalisé dans le cadre du projet Ecophyto SUZoCARPO (coordination INRAE, 2023-2026). ■

• Remerciements

Nos remerciements aux partenaires du projet (INRAE, CNRS, Université de Picardie Jules Verne, APREL, SudExpé, Domaine expérimental La Tapy, Chambre d'agriculture des Alpes Maritimes, CRIIAM Sud, Campus agricole Provence Ventoux, DRAAF SRAL PACA) et aux membres actifs du Comité de pilotage de ce projet CasDAR financé par le ministère de l'Agriculture. Nos remerciements aussi à Jérôme Vibert, Caroline Van Themsche, Véronique Baffert, Amélie Bardel et les stagiaires CTIFL qui sont intervenus sur les essais.

Bibliographie

• Consultable sur la version en ligne de l'article.

Co-auteur(s)

- Nicolas Borowiec**
ISA UMR 1355 INRAE-CNRS-Université Côte d'Azur
- Olivier Chabrerie**
EDYSAN UMR 7058 CNRS-UPJV
- Florian Chapelin**
CRIIAMSUD
- Aude Couty**
EDYSAN, UMR 7058 CNRS-UPJV
- Patrice Eslin**
EDYSAN, UMR 7058 CNRS-UPJV
- Valérie Gallia**
SudExpé
- Aude Géa**
CRIIAMSUD
- Patricia Gibert**
LBBE, CNRS
- Anthony Ginez**
APREL
- Laetitia Girerd**
Campus agricole Provence Ventoux
- Alexandre Magrit**
SudExpé
- Sabine Risso**
Chambre d'agriculture des Alpes Maritime
- Christophe Roubal**
DRAAF SRAL PACA
- Aliénor Royer**
CTIFL/La Tapy
- Romain Ulmer**
EDYSAN, UMR 7058 CNRS-UPJV

