



HAL
open science

TIS et attractif contre *Bactrocera dorsalis* à La Réunion

Laura Moquet, Vincent Jacob, Yves Dumont, Pierre-François Duyck, Hélène Delatte

► **To cite this version:**

Laura Moquet, Vincent Jacob, Yves Dumont, Pierre-François Duyck, Hélène Delatte. TIS et attractif contre *Bactrocera dorsalis* à La Réunion. *Phytoma*, 2024, 773, pp.30-33. hal-04721445

HAL Id: hal-04721445

<https://hal.science/hal-04721445v1>

Submitted on 4 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TIS et attractif contre *Bactrocera dorsalis* à La Réunion

Le Cirad étudie la faisabilité de la technique de l'insecte stérile (TIS) combinée à un attractif de femelles pour lutter contre la mouche *Bactrocera dorsalis* présente à la Réunion depuis 2017.

Laura Moquet^{1*}, Vincent Jacob¹, Yves Dumont^{2,3,4}, Pierre-François Duyck^{5,6}, Hélène Delatte¹.

¹ Cirad, UMR PVBMT, F-97410 Saint Pierre, Réunion.

² Cirad, UMR AMAP, F-97410 Saint Pierre, Réunion.

³ AMAP, Univ Montpellier, Cirad, CNRS, Inrae, IRD, Montpellier, France

⁴ Department of Mathematics and Applied Mathematics, Université de Pretoria (Afrique du Sud).

⁵ Cirad, UMR PVBMT, 98848 Nouméa, Nouvelle Calédonie.

⁶ IAC, Equipe ARBOREAL 98800 La Foa, Nouvelle Calédonie

Résumé

Contexte - La mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis*, est un ravageur invasif qui s'est rapidement propagé en Afrique subsaharienne et dans les îles du Sud-Ouest de l'océan Indien, notamment en 2017 à la Réunion, causant des dégâts significatifs sur diverses cultures fruitières.

Études - Pour contrer cette menace, des projets de recherche testant plusieurs leviers agroécologiques ont été initiés. Parmi ceux-ci, la technique de l'insecte stérile (TIS) est un des leviers considérés comme prometteurs. Cette approche nécessite des études approfondies avant sa mise en œuvre à la Réunion. Notamment, le projet consiste à acquérir un certain nombre de données et de connaissances sur la bioécologie de *B. dorsalis* afin de développer et calibrer des modèles mathématiques, dont l'analyse et la simulation sont des facteurs-clés pour adapter au mieux les stratégies de lutte et maximiser leurs efficacités.

En parallèle, un programme de recherche complémentaire cherche de nouveaux attractifs spécifiques aux femelles de *B. dorsalis* et susceptibles de les piéger. Une enquête minutieuse associant analyses chimiques des odeurs de fruits et neurophysiologie de l'olfaction des mouches a déjà permis d'identifier près d'un millier de composés chimiques volatils, et de

sélectionner les plus prometteurs pour des tests comportementaux qui seront réalisés à partir de 2024.

Mots clés - Lutte biologique, biocontrôle, agroécologie, mouche orientale des fruits.

La mouche orientale des fruits, *Bactrocera dorsalis* (Diptera : Tephritidae), est un ravageur invasif originaire d'Asie du Sud-Est classé comme organisme de quarantaine prioritaire (OQP) réglementé sur le territoire européen. Très polyphage, cette espèce s'attaque à une large gamme de fruits-hôtes dans lesquels les larves se nourrissent et provoquent les dégâts. Après une première détection en 2003 au Kenya, elle s'est très vite propagée en Afrique subsaharienne et dans les îles du Sud-Ouest de l'océan Indien [1].

Des dégâts considérables sur fruits à la Réunion

A la Réunion, *B. dorsalis* a été détectée en 2017. Très compétitive, elle a entraîné un déplacement des niches écologique des espèces de Tephritidae résidentes et est donc devenue l'espèce dominante sur une grande partie des plantes-hôtes dans les zones de basses altitudes [2]. Elle engendre des dégâts considérables sur des cultures d'importance économique, notamment sur les mangues. Malgré des pratiques agroécologiques mises en place contre les mouches des fruits, une conséquence de cette invasion est le regain de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques comme moyen de lutte. Une autre conséquence de cette invasion est la restriction de l'export de certains fruits frais vers des zones où ce ravageur n'est pas encore installé. Il n'est, par exemple, plus possible de transporter ou d'envoyer des mangues, des agrumes, des poivrons et des piments de la Réunion vers l'Union européenne.

Face à ce constat, un premier projet de recherche (Gemdotis⁽¹⁾) a vu le jour afin de développer et combiner de nouveaux leviers agroécologiques par une approche multi-échelle. Deux leviers en cours de développement semblent prometteurs, à savoir l'utilisation de la technique de l'insecte stérile (TIS) sur des zones ciblées dans le but de réduire les populations de *B. dorsalis* et la poursuite de recherche pour le développement d'attractifs spécifiques des femelles de ce ravageur. Le CIRAD a ainsi démarré un nouveau projet (Attractis⁽²⁾) dans lequel l'efficacité de la TIS par des lâchers de mâles stériles à petite échelle va être testée, et en parallèle la faisabilité technique et écologique sera modélisée. Cette modélisation permettra aussi de proposer des stratégies de lâchers optimisés. Afin de combiner la TIS avec une méthode de piégeage compatible, l'attractivité des femelles envers une présélection de nouvelles substances volatiles sera également recherchée et testée (Figure 1).

(1) Gemdotis : Projet Ecophyto 2, 2019-2022 « Évaluation de la faisabilité d'une gestion multiéchelle du ravageur invasif *Bactrocera dorsalis* sur manguier à la Réunion, incluant la technique de l'insecte stérile ».

(2) Attractis : Projet Ecophyto 2, 2023-2025 « Développement d'outils de biocontrôle contre *Bactrocera dorsalis* à la Réunion : la technique de l'insecte stérile combinée à un attractif de femelles ».

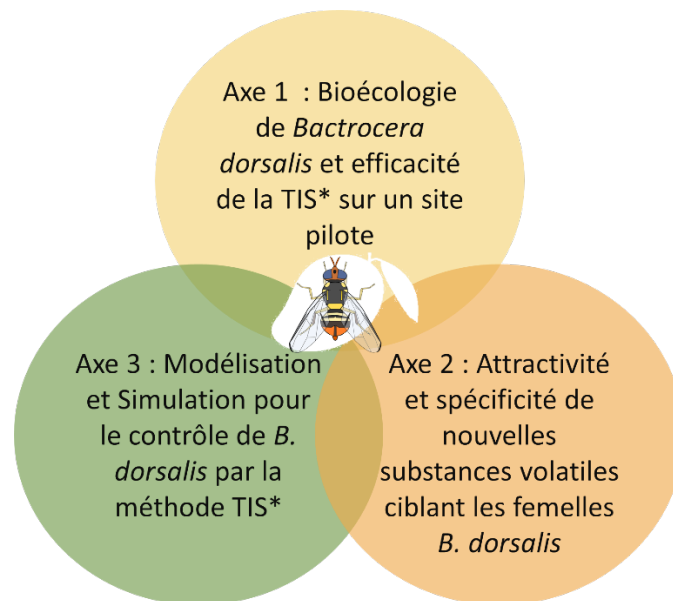


Figure 1: Axes d'étude du projet Attractis (Ecophyto 2, 2023-2025). (*) TIS : technique de l'insecte stérile.

La technique de l'insecte stérile

Des mâles stérilisés en compétition avec les mâles sauvages

La TIS est une méthode de lutte, développée depuis les années 1950, qui consiste à élever en masse et à stériliser une espèce d'insecte ravageur. Les mâles stérilisés sont ensuite lâchés dans des zones définies, où ils s'accouplent avec des femelles sauvages sans engendrer de descendance (Figure 2) entraînant une diminution progressive des populations de l'espèce. Les insectes sont stérilisés par rayonnement ionisant (rayons X ou gamma) à une dose spécifique à chaque espèce. Cette dose doit engendrer une bonne stérilité mais limiter l'altération d'autres fonctions physiologiques qui pourrait, entre autres, diminuer la compétitivité sexuelle face aux mâles sauvages. Actuellement, la TIS est pratiquée dans le monde entier et dans une trentaine de programmes de lutte contre les Tephritidae dont un sur *B. dorsalis* en Thaïlande. La TIS présente l'avantage de ne cibler que l'espèce que l'on veut combattre et peut être utilisée pour l'élimination d'une population locale, pour éviter la dispersion d'une espèce vers des territoires voisins ou également en prévention pour éviter l'installation d'une espèce invasive menaçante. Cependant, la TIS est le plus souvent utilisée

pour diminuer des populations de bioagresseurs sous un seuil de nuisibilité dans des zones choisies. De plus, elle est généralement déployée à l'échelle du paysage et non de la parcelle. La mise en place des programmes TIS met en général plusieurs années car, en plus de la maîtrise des méthodes d'élevage en masse et de stérilisation, elle nécessite une connaissance approfondie de la biologie et de l'écologie de l'espèce-cible afin déterminer les meilleures stratégies de lâcher et améliorer l'efficacité de la TIS. Il est également nécessaire de réduire le niveau des populations au préalable, *via* une application combinée avec d'autres méthodes de lutte tel que le piégeage de masse [3].

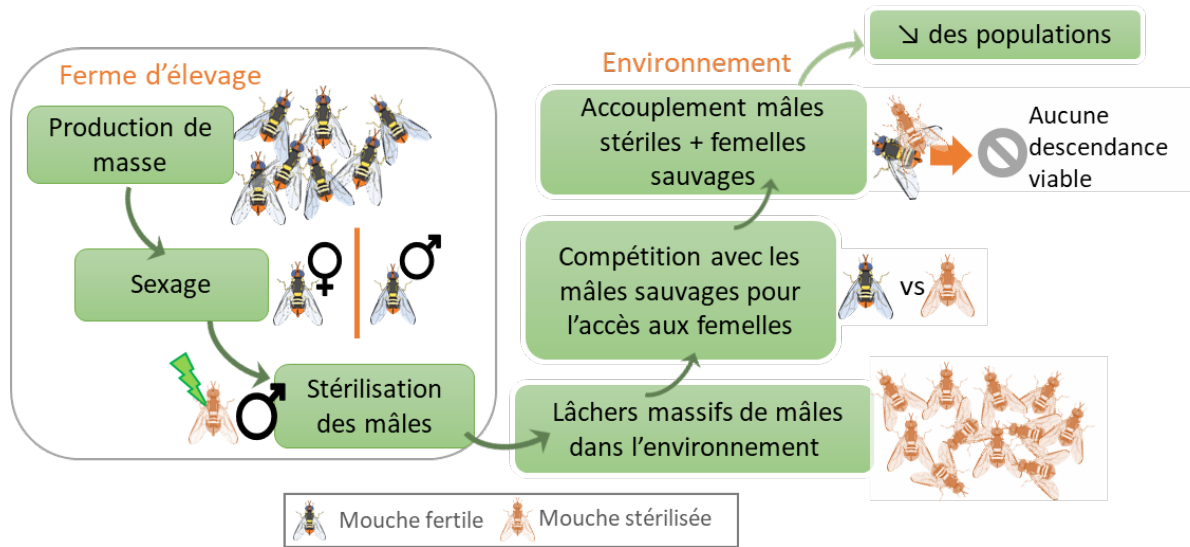


Figure 2 : Principe de la technique de l'insecte stérile

La TIS *Bactrocera dorsalis* à la Réunion

A la Réunion, la TIS peut être envisagée pour créer des zones exemptes de *B. dorsalis* ou avec une réduction de dégâts sous un seuil économiquement viable dans les zones de production. Pour nos expérimentations, nous nous sommes intéressés à une zone de production de 150 ha de mangues dans l'ouest de l'île. Afin de préparer au mieux la mise en place potentielle de la TIS dans la zone ciblée, une campagne d'information et des enquêtes ont été menées en 2021 auprès de producteurs de mangues et des acteurs de la filière réunionnaise. Ces enquêtes ont recensé les différentes pratiques mises en place pour la lutte contre *B. dorsalis* en fonction notamment du type d'exploitation. Celles-ci ont également permis de mettre en lumière un certain nombre de sujets comme : les parallèles entre la TIS moustique, en développement depuis 2009 à la Réunion, et la TIS *B. dorsalis* ; le positionnement de la TIS dans l'agroécologie et l'agriculture biologique ; les liens entre TIS et réduction de l'usage des pesticides ; et la place de la participation des populations dans le déploiement de cette technologie.

Un volet modélisation

Optimiser l'efficacité de la TIS

La modélisation est maintenant un outil complémentaire aux observations et expériences de laboratoire et de terrain. Si le développement de modèles s'appuie sur des connaissances d'experts, il ne s'agit pas de reproduire tel quel tous les processus du système étudié, mais de ne considérer que les variables et paramètres d'intérêts, en relation avec la question initiale. La modélisation permet également de tester des hypothèses quand certains processus sont peu ou mal connus, et, dans notre cas, de déterminer *in silico* les meilleures stratégies de lâchers afin d'optimiser l'efficacité de la TIS (voir [4]). Bien que la TIS soit mise en application depuis plusieurs dizaines d'années, peu de modèles ont été développés, sauf quelques-uns très génériques et très simples dans les années 1970 et 80, et d'autres, plus complexes, sur les moustiques.

Les modèles que nous avons développés mettent en avant l'importance des traits d'histoire de vie et des comportements liés à la reproduction dans la mise en place de stratégie TIS, comme la compétitivité des mâles stériles, la qualité et même l'ordre d'utilisation des différents spermatozoïdes transférés lors des accouplements répétés, ou encore la capacité de mâles stériles à induire ou non une inhibition sexuelle chez les femelles après l'accouplement, modifiant ainsi la période entre deux accouplements, appelée aussi période réfractaire. En particulier, nous avons modélisé l'impact pour la fertilité résiduelle (quand les mâles stériles ne sont pas 100% stériles) et mis en évidence l'existence d'un seuil critique, pour cette fertilité résiduelle, qui dépend des paramètres biologiques de l'insecte, au-delà duquel la TIS n'est plus efficace. Nous avons également étudié l'impact du réaccouplement selon que les mouches femelles sont fécondées d'abord par un mâle sauvage puis un mâle stérile, et réciproquement.

Réaccouplement et fertilité résiduelle

Finalement, les résultats obtenus suggèrent une utilisation possible de la TIS pour *B. dorsalis*, même si la fertilité résiduelle est de quelques pourcents [5]. Enfin, en y ajoutant le réaccouplement, nous avons mis en évidence que les paramètres biologiques (production journalière d'œufs, mortalité journalière, durée de la période réfractaire) liés aux femelles réaccouplées, avec un mâle fertile (stérile) puis un mâle stérile (fertile) ou uniquement par des mâles fertiles, avaient un impact sur le seuil critique pour la fertilité résiduelle et qu'il était indispensable de connaître ces paramètres pour déterminer exactement ce seuil [6]. Si globalement, le réaccouplement diminue le seuil critique de fertilité résiduelle, dans certains cas, il peut l'augmenter, et donc améliorer l'efficacité de la TIS. Tous ces résultats sont illustrés à l'aide de simulations numériques, permettant les interactions entre modélisateurs et biologistes, en attendant des données laboratoires ou/et en conditions contrôlées.

Les travaux réalisés jusqu'à présent, entre autres, serviront de base aux travaux de modélisation en cours et à venir, prenant en compte la dispersion des mâles stériles relâchés dans certains vergers, *via* la connectivité et la diversité des vergers dans la zone ciblée, afin de déterminer les meilleures stratégies possibles pour maximiser l'efficacité de la TIS. Il sera également possible d'étudier et comparer les stratégies, avec des lâchers de mâles stériles uniquement ou avec des lâchers simultanés de femelles et de mâles stériles, ce qui permettrait d'éviter l'étape de triage des sexes. Enfin, il est également possible de considérer la TIS en combinaison avec d'autres moyens de lutte biologique, et de déterminer la ou les meilleures combinaisons possibles.

Développement de nouveaux attractifs pour le piégeage des femelles

Pourquoi cibler les femelles ?

Pour que la TIS soit efficace et viable économiquement, il est indispensable de réduire les populations de *B. dorsalis* par d'autres techniques de lutte. L'approche préconisée dans certains pays consiste à piéger au préalable les mâles sauvages grâce à un attractif ciblé très efficace, le méthyleugénol (ME). Cependant, les pièges encore déployés lorsque les mâles stériles sont lâchés éliminent également ces derniers et réduisent ainsi leur efficacité, et par ailleurs l'utilisation du ME en Europe est limitée réglementairement à cause de sa cancérogénicité [7]. Aussi notre projet cherche à identifier un autre attractif qui ciblerait directement les femelles, qui, d'une part, pourrait être déployé sans interférence négative avec la TIS et, d'autre part, éliminerait directement les individus responsables des dégâts sur fruits.

Les attractifs de femelles connus sont des leurres alimentaires peu spécifiques et à pouvoir attractif relativement faibles. Deux pistes d'investigations parallèles n'ont jusqu'à présent pas abouti à des attractifs suffisamment efficaces. Il s'agit de phéromones sexuelles et de kairomones, composés volatils émis par des fruits-hôtes. Cette dernière approche est cependant sous-explorée, au regard de plusieurs centaines de composés attractifs potentiels que nous avons identifiés au cours du projet, et semble prometteuse, car elle s'est révélée efficace sur l'espèce phylogénétiquement proche, *Zeugodacus cucurbitae* [8].

Les essais en laboratoire

L'objectif est d'identifier un mélange de kairomones susceptible de piéger spécifiquement les femelles *B. dorsalis* en verger de mangue. Pour cela, nous avons réalisé des analyses chimiques des émissions volatiles de 28 espèces de fruits différents. Nous avons identifié chimiquement près de 700 composés volatils. Trouver les composés les plus attractifs parmi ces nombreux

candidats revient à chercher une aiguille dans une botte de foin. Aussi, nous avons réalisé des tests neurophysiologiques pour comprendre comment les mouches des fruits « sentent » ces composés, et quels sont les principes qui régissent leur sélectivité chimique. La technique utilisée, intitulée « électroantennographie », est une technique sœur de l'électrocardiographie ou l'électroencéphalographie employé en milieu médical. Ces tests ont permis de sélectionner un sous-ensemble de 45 composés les plus prometteurs, parmi les émissions volatiles de certains fruits les plus attaqués par cette espèce (mangue, goyave, goyavier, badamier). Des tests comportementaux sont en cours. Ces tests sont réalisés à l'aide de dispositifs expérimentaux, appelés "olfactomètres", mis en place au laboratoire pour mesurer le degré d'attractivité de *B. dorsalis* envers les différentes odeurs. Deux olfactomètres ont été développés en parallèle. Un dispositif, dénommé « flywalk », permet de tester les réponses comportementales à de nombreux composés présentés individuellement. Le deuxième dispositif, un olfactomètre six voies, simule un comportement de piégeage et permettra de tester des mélanges des composés les plus prometteurs. Plusieurs années seront probablement nécessaires pour trouver le ou les meilleurs composés et les tester sur le terrain.

Étude de la bioécologie de *Bactrocera dorsalis*

L'objectif est d'approfondir les connaissances sur la biologie et l'écologie de *B. dorsalis* afin d'ajuster efficacement les stratégies de prévention et de gestion et d'apporter les éléments nécessaires à l'application efficace d'une stratégie TIS. Deux comportements importants ont été étudiés : les paramètres de dispersion et les comportements d'accouplement.

Paramètres de dispersion

La caractérisation des paramètres de dispersion est cruciale pour le développement de stratégies de gestion efficaces, notamment pour espacer de manière optimale les lâchers d'insectes stériles. Si une étude montre que les individus relâchés de *B. dorsalis* peuvent se déplacer jusqu'à 97 km, dans la majorité des études les individus sont recapturés à moins de 2 km [9]. Pour étudier les paramètres de dispersion et les comportements de vol, nous avons effectué deux types d'expérimentations : des expériences de marquage/lâchers/recaptures avec des individus stérilisés de *B. dorsalis* et des expérimentations en laboratoire à l'aide d'un moulin de vol.

Les expérimentations de marquage/lâchers/recaptures ont été réalisées dans une zone de production de mangues (Figure 3). Nous avons recapturé entre 0,9 et 7,5 % de mâles stériles lâchés et, 48 heures après le lâcher, certaines mouches ont été recapturées à plus de 1 200 m. Cependant, une grande partie des mouches recapturées sont restées autour du point de lâcher, même après 6 jours. Pour l'application de la TIS, cela révèle la nécessité de faire des lâchers en de multiples points peu espacés les uns des autres. De plus, les résultats suggèrent l'importance de la structure du paysage, car certains pièges à proximité d'habitats non favorables n'ont permis aucune recapture.

Le moulin de vol est un dispositif expérimental permettant d'étudier les caractéristiques de vol de l'insecte (Figure 4). Nous avons comparé les performances de vol (distance, vitesse, nombre d'événements de vol) entre des individus sauvages fertiles, et des individus de laboratoire fertiles et stériles. Nous avons observé que l'origine des mouches (sauvages, de laboratoire, fertiles ou stériles) influençait les performances de vol de *B. dorsalis*. Par exemple, les mouches sauvages ont parcouru de plus longues distances en 2 heures que les mouches de laboratoire (stériles ou fertiles), mais les mouches stériles volaient beaucoup plus vite que les mouches fertiles (de laboratoire ou sauvages). Nos résultats suggèrent notamment la nécessité de créer des zones-tampons autour des zones des lâchers, car la forte capacité de dispersion des individus pourrait entraîner l'immigration d'individus sauvages de la périphérie vers l'intérieur du site de lâchers.

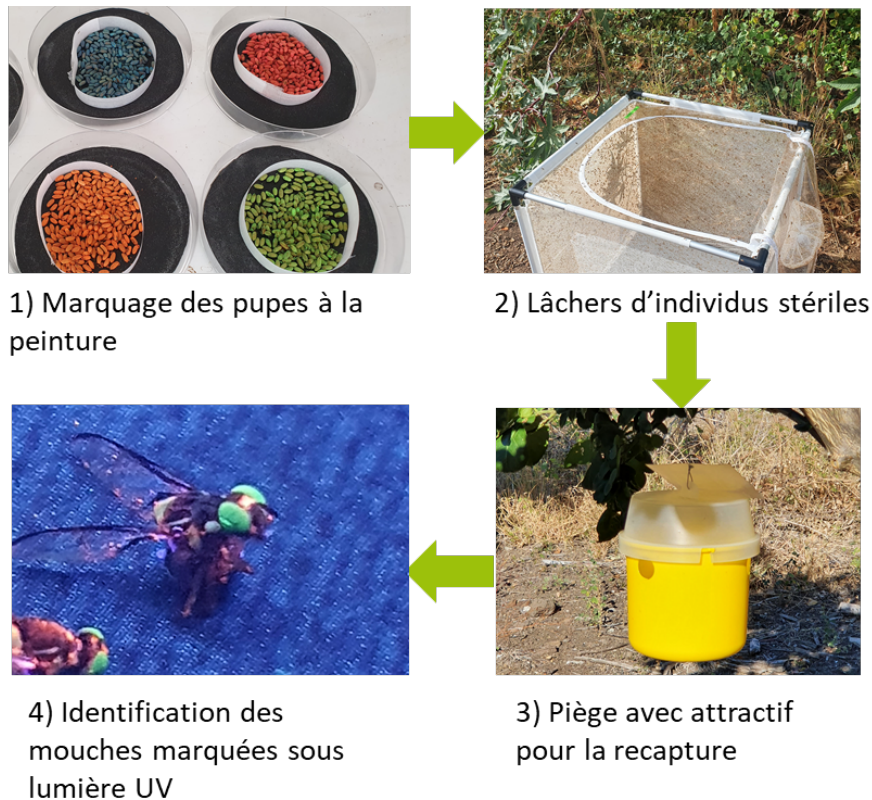


Figure 3: Étapes successives des expérimentations de marquage/lâcher/recapture : 1) Les mouches stérilisées sont marquées avec de la poudre fluorescente. 2) Ces individus sont lâchés en des points précis dans la zone d'étude. 3) Des pièges sont ensuite disposés pour recapturer les mouches lâchées et déterminer la durée et la distance des recaptures. 4) Les mouches des fruits capturées dans les pièges sont rapportées au laboratoire. Sous lumière UV, il est possible de différencier les mouches lâchées par la présence de poudre fluorescente entre les deux yeux. (Crédit photo : Laura Moquet – Cirad).



Figure 4 : Dispositif expérimental du moulin de vol. L'insecte est fixé par le dos (thorax) sur un bras horizontal pouvant tourner autour d'un axe. À chaque tour, un capteur détecte le passage du bras horizontal (crédit photo : Corentin Gledel – Cirad).

Comportements d'accouplement

Chez les Tephritidae, les comportements reproductifs sont complexes notamment car l'accouplement se déroule en sein de leks : les mâles s'agrègent sur des parties spécifiques de la végétation qu'ils défendent contre les incursions d'autres mâles. Les mâles composant un lek émettent des signaux (olfactifs, acoustiques et visuels) afin d'attirer des femelles [10]. Or, l'efficacité de la TIS dépend de la compétitivité sexuelle des mâles stériles dans les populations cibles ; et l'efficacité de la TIS peut être fortement réduite si les femelles s'accouplent avec plusieurs mâles.

En laboratoire, des femelles sont mises en contact avec des mâles pour déterminer avec combien de mâles se reproduit une femelle, le délai entre deux accouplements et si ces paramètres sont les mêmes après un accouplement avec des mâles stériles ou sauvages. De plus, nous avons testé si les mâles stériles ont la même probabilité que les mâles sauvages de s'accoupler (compétitivité). Nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence de proportion de femelles réaccouplées selon l'origine du mâle (stérile ou sauvage). Les mâles se sont réaccouplés plusieurs fois de suite, et les mâles de laboratoire (stériles ou fertiles) se sont réaccouplés beaucoup plus que les mâles sauvages. Des expérimentations en grandes cages extérieures ont cependant montré que les mâles stériles sont moins compétitifs que les mâles sauvages.

Des essais à venir sur le terrain

Ces premières expérimentations et modélisations laissent penser que la TIS peut être une solution prometteuse contre *B. dorsalis* à la Réunion. L'objectif est maintenant de tester la

méthode lors d'essais-pilotes sur une petite parcelle de production de mangues. De même, les tests en laboratoire ont permis de sélectionner 45 composés les plus prometteurs pour le développement de nouveaux attractifs spécifiques aux femelles de *B. dorsalis*. Nous allons maintenant réaliser des tests comportementaux pour trouver les meilleurs composés à tester sur le terrain.

Avec des incursions récurrentes de *B. dorsalis* en Europe et notamment en France métropolitaine depuis 2019, le risque d'établissement est non négligeable. Le développement de la TIS sur *B. dorsalis* pourrait prendre une autre dimension notamment pour éradiquer l'espèce lorsque les populations sont encore réduites en début d'invasion.

Pour en savoir plus

Contact - laura.moquet@cirad.fr

Bibliographie :

1. Mutamiswa R.; Nyamukondiwa C.; Chikowore G.; Chidawanyika F., 2021. Overview of Oriental Fruit Fly, *Bactrocera Dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in Africa: From Invasion, Bio-Ecology to Sustainable Management. *Crop Prot.*, n° 141, 105492, doi:10.1016/j.cropro.2020.105492.
2. Moquet, L.; Payet, J.; Glenac, S.; Delatte, H. Niche Shift of Tephritid Species after the Oriental Fruit Fly (*Bactrocera Dorsalis*) Invasion in La Réunion. *Divers. Distrib.* **2021**, 27, 109–129, doi:10.1111/ddi.13172.
3. *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*; Dyck, V.A., Hendrichs, J., Robinson, A.S., Eds.; Springer: Dordrecht, Netherlands, 2005; ISBN 978-1-4020-4050-4.
4. Anguelov, R.; Dumont, Y.; Yatat Djeumen, I.V. Sustainable Vector/Pest Control Using the Permanent Sterile Insect Technique. *Math. Methods Appl. Sci.* **2020**, 43, 10391–10412, doi:10.1002/mma.6385.
5. Aronna, M.S.; Dumont, Y. On Nonlinear Pest/Vector Control via the Sterile Insect Technique: Impact of Residual Fertility. *Bull. Math. Biol.* **2020**, 82, 110, doi:10.1007/s11538-020-00790-3.
6. Dumont, Y.; Oliva, C.F. *On the Impact of Re-Mating and Residual Fertility on the Sterile Insect Technique Efficacy: Case Study with the Medfly, Ceratitis Capitata*; BioarXiv, 2023.
7. Shelly, T. Effects of Methyl Eugenol and Raspberry Ketone/Cue Lure on the Sexual Behavior of *Bactrocera* Species (Diptera: Tephritidae). *Appl. Entomol. Zool.* **2010**, 45, 349–361.
8. Jang, E.B.; Carvalho, L.A.; Chen, C.-C.; Siderhurst, M.S. Cucumber Lure Trapping of *Zeugodacus Cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in Hawaii and Taiwan: Longevity and Nontargets Captures. *J. Econ. Entomol.* **2017**, 110, 201–207.
9. Hicks, C.B.; Bloem, K.; Pallippambil, G.R.; Hartzog, H.M. Reported Long-Distance Flight of the Invasive Oriental Fruit Fly and Its Trade Implications. *Area-Wide Manag. Fruit Fly Pests* **2019**, 9.
10. Arakaki, N.; Kuba, H.; Soemori, H. Mating Behavior of the Oriental Fruit Fly, *Dacus Dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae). *Appl. Entomol. Zool.* **1984**, 19, 42–51.