



Un parasitoïde exotique contre le carpocapse des pommes

Nicolas Borowiec, Alexandra Auguste, Bertrand Alison, Myriam Bérud,
Pascal Borioli, Inessa Buch, Camille Duraj, Xavier Fauvergue, Sophie Hardy,
Bruno Hucbourg, et al.

► To cite this version:

Nicolas Borowiec, Alexandra Auguste, Bertrand Alison, Myriam Bérud, Pascal Borioli, et al.. Un
parasitoïde exotique contre le carpocapse des pommes. *Phytoma* , 2020, 739. hal-04166329

HAL Id: hal-04166329

<https://hal.science/hal-04166329>

Submitted on 6 Oct 2023

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.

Un parasitoïde exotique contre le carpocapse des pommes

Le parasitoïde *Mastrus ridens* a été introduit en France pour aider à contrôler *Cydia pomonella*. Il s'agit d'une première en Europe.

NICOLAS BOROWIEC⁽¹⁾, ALEXANDRA AUGUSTE⁽¹⁾, BERTRAND ALISON⁽²⁾, MYRIAM BERUD⁽³⁾, PASCAL BORIOLI⁽⁴⁾, INESSA BUCH⁽¹⁾, CAMILLE DURAJ⁽¹⁾, XAVIER FAUVERGUE⁽¹⁾, SOPHIE HARDY⁽⁴⁾, BRUNO HUCBOURG⁽⁴⁾, MATHILDA IDIER^{(1) (7)}, ISABELLE LE GOFF⁽¹⁾, JEAN LE MAGUET⁽⁵⁾, LAURENT LAMY⁽¹⁾, ANNA LEGUILLON⁽¹⁾, ARNAUD LEMARQUAND⁽⁶⁾, THIBAUT MALAUSA⁽¹⁾, SANDRINE MAUGIN⁽⁷⁾, DAVID MURU⁽¹⁾, MYRIAM SIEGWART⁽⁷⁾, MARCEL THAON⁽¹⁾, ÉLODIE VERCKEN⁽¹⁾, AGNÈS VERHAEGHE⁽⁸⁾, SYLVIE WAROT⁽¹⁾ ET NICOLAS RIS⁽¹⁾ (1) Inrae, UMR Institut Sophia Agrobiotech (Inrae-CNRS - Université Côte d'Azur) - Sophia Antipolis. (2) CTIFL/SudExpé - Marsillargues. (3) Station d'expérimentation La Pugère - Mallemort. (4) GRCEA Basse Durance - Saint-Rémy-de-Provence. (5) IFPC, Station cidricole - Sées. (6) Inrae, UE Horti - Beaucauzé. (7) Inrae, UR PSH - Avignon. (8) CTIFL/Senura - Chatte.

La pression du carpocapse des pommes *Cydia pomonella* s'accroît en France, avec le début d'installation d'une quatrième génération dans les régions méditerranéennes. Un parasitoïde spécifique d'origine exotique, *Mastrus ridens*, a été identifié il y a vingt-cinq ans. Les premières introductions sur le territoire français ont été réalisées en 2019 afin de vérifier l'efficacité et l'établissement pérenne de l'auxiliaire.

Cydia pomonella : un enjeu majeur en verger

Une pression croissante du ravageur

Avec un total d'environ 12 millions de tonnes produites, la pomme est la première culture fruitière en Europe. La France se classe au troisième rang européen, derrière la Pologne et l'Italie, avec 1,2 à 1,5 million de tonnes par an (Prognofruit, 2018). La France dispose également du plus grand bassin cidricole d'Europe avec plus de 200 000 tonnes de fruits transformés annuellement. La culture de la pomme est caractérisée par son niveau élevé d'intrants qui la place au deuxième rang, en termes de quantité de produits phytopharmaceutiques par hectare, et au premier rang pour le nombre de traitements (Butault *et al.*, 2011). En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, première région productrice de pommes en France, plus de 40 % des traitements insecticides ciblent le



Photo : N. Borowiec

carpocapse des pommes, ce qui fait de ce ravageur un enjeu prioritaire pour la réduction de l'utilisation de produits.

C'est d'autant plus d'actualité que, depuis quelques années, la pression du carpocapse des pommes *Cydia pomonella* s'accroît. La troisième génération, incomplète et localisée à certaines régions il y a dix ans, est actuellement complète et on constate l'apparition d'un début de quatrième génération dans les régions les plus chaudes. En arboriculture biologique, malgré une protection combinant confusion sexuelle et virus de

Mastrus ridens, hyménoptère parasitoïde du carpocapse des pommes.

RÉSUMÉ

♦ **CONTEXTE** - *Cydia pomonella* (Lep., Tortricidae) est un ravageur majeur en verger de pommier en France, et la pression sur la production s'accroît ces dernières années.

♦ **ÉTUDE** - Dans le cadre d'un programme de lutte biologique classique, les premières introductions d'un parasitoïde spécifique d'origine exotique, *Mastrus ridens* (Hym., Ichneumonidae), ont été réalisées en France en 2019. L'objectif recherché est l'établissement pérenne du parasitoïde et le contrôle durable d'une partie des populations de carpocapse en verger

de production, mais aussi dans les milieux non gérés. Le projet vise également à caractériser l'effet de certains facteurs démo-génétiques sur l'établissement de *M. ridens*.

♦ **RÉSULTATS** - Au total, près de 7 000 individus de *M. ridens* (mâles et femelles) ont été introduits en France entre le 27 août et le 2 octobre 2019, sur un dispositif expérimental composé de 23 vergers situés dans le nord-ouest et dans le sud-est de la France. Une faible mortalité a été constatée pendant le transport et la quasi-totalité des sites a reçu le nombre

prévu de parasitoïdes (200 femelles et 100 mâles). Ces lâchers ont été rendus possibles grâce à la production de plus de 15 000 individus au laboratoire. Les prochaines campagnes de lâchers ainsi que les échantillonnages post-introductions permettront d'évaluer avec précision le taux d'établissement du parasitoïde et sa capacité à contrôler les populations de carpocapse *in natura*.

♦ **MOTS-CLÉS** - Parasitoïde, *Cydia pomonella*, *Mastrus ridens*, écologie du paysage, lutte biologique, diversité génétique, arboriculture.

la granulose⁽¹⁾, la situation devient souvent intenable en l'absence de protection physique (filets Alt'carpo).

Agir à l'échelle du territoire

L'amélioration du contrôle de ce ravageur, en particulier dans les zones moins protégées (agriculture biologique, jardins, pommiers sauvages, etc.), reste donc une préoccupation majeure, et seule une diminution globale des populations de carpocapse à l'échelle du territoire permettra d'améliorer la situation. Une piste prometteuse pour améliorer le contrôle du carpocapse des pommes repose sur le déploiement d'une lutte biologique classique. Cette stratégie repose sur l'introduction délibérée dans l'environnement d'un auxiliaire spécifique et d'origine exotique, en vue de son établissement pérenne et d'un contrôle durable du ravageur (Borowiec et Sforza, 2020). Un exemple récent d'opération aboutie en France est l'introduction de *Torymus sinensis* pour lutter contre le cynips du châtaignier (Borowiec et al., 2018).

Les taux de parasitisme peuvent être supérieurs à 40 % dans l'aire native.

M. ridens présente *a priori* un potentiel intéressant pour réduire les populations de *Cydia pomonella* et, en particulier, les individus diapausants qui contribuent aux infestations précoces l'année suivante.

À la suite de sa découverte en Asie, *M. ridens* a été introduit délibérément en Californie (1998), en Argentine (2003), au Chili (2006), en Nouvelle-Zélande (2013) et en Australie (2015). Bien que ce parasitoïde se soit systématiquement établi avec succès dans tous ces pays, peu de données ont été acquises sur le terrain (Charles et al., 2019 ; Mills, 2007 ; Tortosa et al., 2014), notamment concernant l'efficacité du contrôle. C'est ainsi que Mills (2005) a observé des taux de parasitisme supérieurs à 40 % dans l'aire native, et pouvant atteindre 70 % sur cocons hivernants en Californie. Il est toutefois difficile d'en inférer la régulation effective (comparaison des populations du ravageur avec et sans *M. ridens*), et encore moins le gain économique et la réduction des IFT (Charles et al., 2019 ; Mills, 2007 ; Tortosa et al., 2014).

Un auxiliaire venu de l'Est Un agent de lutte identifié en 1995

C'est au cours de prospections menées par des chercheurs américains au Kazakhstan et en Chine en 1995 qu'un agent potentiel de lutte biologique a été identifié. Il s'agit d'un parasitoïde de la famille des Ichneumonidae, *Mastrus ridens* (Horstmann, 2009), cette espèce ayant été longtemps confondue avec *Mastrus ridibundus* (Gravenhost, 1829) (Horstmann, 2009 ; Kuhlmann and Mills, 1999). *M. ridens* est un ectoparasitoïde idiobionte (c'est-à-dire avec une interaction limitée dans le temps avec son hôte vivant) et grégaire (plusieurs parasitoïdes pouvant se développer sur un même hôte). La femelle parasitoïde pond ses œufs sur la cuticule du dernier stade larvaire ou sur les prépuces de *C. pomonella* (Charles and Dugdale, 2011 ; Devotto et al., 2010). En s'attaquant uniquement aux larves au stade « cocon »,

Première importation en France en 2015

En 2015, des collaborations entre Inrae (Institut Sophia Agrobiotech-Centre Paca) et le Plant and Food Research Institute (Nouvelle-Zélande) ont permis d'importer une souche de *M. ridens* en France puis de la maintenir dans le bâtiment de quarantaine Entomopolis, après obtention des autorisations officielles d'importation. Les tests de laboratoire menés ont confirmé la spécificité de *M. ridens* vis-à-vis du ravageur ciblé (Borowiec et al., 2016 ; Muru et al., 2018) et, en 2017, un arrêté des ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement a été délivré, autorisant les introductions de *M. ridens* dans l'environnement.

Contrôler le carpocapse, optimiser la lutte biologique

Parallèlement à l'objectif agronomique de régulation des populations de carpocapse, cette primo-introduction en France, et même en Europe, de *Mastrus ridens* offre une opportunité unique d'étudier certains facteurs impliqués dans le succès ou l'échec de l'établissement de populations introduites (Fauvergue et al., 2012). Cet objectif plus académique doit permettre, sur le long terme, d'améliorer/optimiser les méthodes de lutte biologique. Dans ce cadre, deux problématiques sont plus particulièrement abordées. La première vise à documenter le rôle de la complexité de l'habitat sur l'établissement et/ou la dispersion de l'auxiliaire introduit ainsi que sur le contrôle du ravageur. Il s'agit d'approches désormais courantes en lutte biologique par conservation (Rusch et al., 2010, Bianchi et al., 2006), mais encore peu développées dans le cadre de la lutte biologique classique. Un enjeu pourtant immédiat pour optimiser les stratégies de déploiement de nouveaux auxiliaires serait d'être capable d'interpréter la structure d'un paysage agricole au niveau fonctionnel, incluant notamment l'évaluation quantitative des barrières à la dispersion,

Lâcher de *Mastrus ridens*, hyménoptère parasitoïde du carpocapse des pommes



des puits démographiques et de l'influence de la distribution d'un ravageur-hôte.

Évaluer les risques liés à l'érosion génétique

La seconde problématique de recherche concerne les risques liés à l'« érosion génétique » dans les populations d'auxiliaires introduits. Cette question est particulièrement cruciale concernant *M. ridens*, le sexe des individus étant gouverné par un déterminisme particulier, le sl-CSD (« Single-locus Complementary Sex Determination »). En cas d'homozygotie au gène du sl-CSD, l'individu diploïde qui aurait dû se développer en femelle se développe finalement en mâle non viable ou stérile (Retamal *et al.*, 2016), et la proportion de ces mâles diploïdes dans les populations augmente lorsque la diversité allélique à ce locus diminue. Ce gène, également décrit chez l'abeille (Beye *et al.*, 2013), est donc responsable d'un phénomène particulier de dépression de consanguinité, comparable à ce qui peut être observé dans les populations en déclin d'espèces menacées (Frankham, 1998). Des modèles théoriques de biologie des populations ont démontré qu'un tel phénomène peut entraîner les populations vers l'extinction (Zayed and Packer, 2005).

Première introduction en France en 2019

C'est dans ce contexte, et après une introduction « pionnière » de *M. ridens* dans la région d'Avignon en 2018 (Muru, non publié), qu'a démarré en 2019, le projet FranceAgriMer « BIOCCYD-Mastrus » dont les deux principaux objectifs sont, d'une part, de tester, au champ et en conditions de production, (malgré des contraintes liées au dispositif expérimental – voir plus bas) l'efficacité de *M. ridens* dans le contrôle des populations de carpocapse des pommes et, d'autre part, d'étudier les facteurs démographiques, génétiques et environnementaux affectant le succès d'établissement, la capacité de dispersion et/ou l'efficacité du parasitoïde introduit.

Résultats des premiers lâchers en 2019

Dispositif expérimental

La sélection de sites de lâcher s'est opérée selon plusieurs critères⁽²⁾. Le premier concerne le niveau des populations de carpocapse, qui doit être suffisamment élevé pour *a priori* limiter la dispersion de *M. ridens* et ainsi favoriser sa recapture. Le second critère de sélection concerne l'itinéraire cultural, les parcelles devant être conduites en agriculture biologique, et les traitements potentiellement préjudiciables à l'établissement du parasitoïde (spinosad par exemple) devant être limités voire proscrits. Le troisième critère important est la distance minimale entre les sites (au moins 7 kilomètres), de façon à assurer, au moins pendant un temps, une indépendance entre les sites, compte tenu des capacités de dispersion de *M. ridens* (plusieurs kilomètres par an, Tortosa *et al.*, 2014). En complément, des sites témoins sont sélectionnés à proximité (1 à 2 km) de certains sites de lâcher afin de vérifier cette capacité de dispersion. La culture ciblée prioritairement est la pomme mais, compte tenu des problèmes que ce ravageur peut poser sur la culture de la noix, quelques sites composés de noyers ont également été sélectionnés.

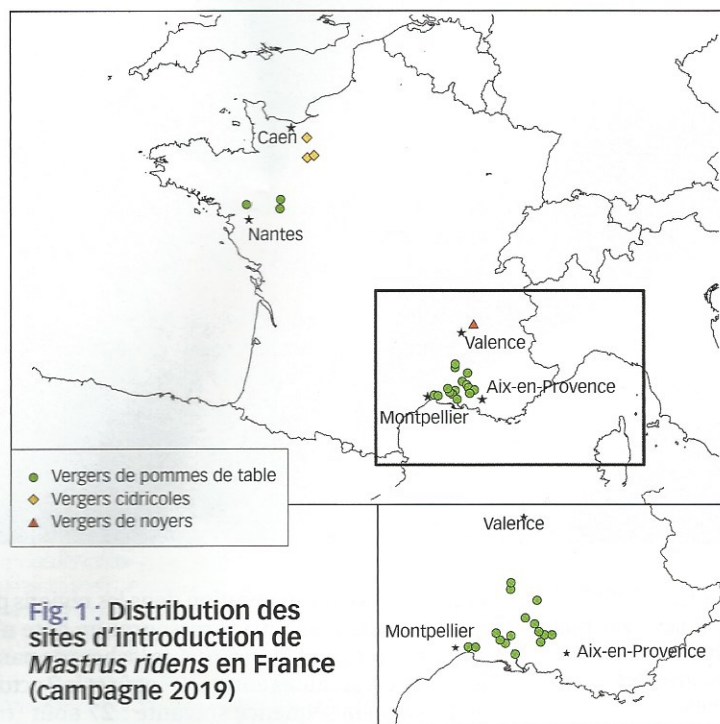


Fig. 1 : Distribution des sites d'introduction de *Mastrus ridens* en France (campagne 2019)

Pour la première campagne d'introduction de *M. ridens* en France, vingt-trois sites ont ainsi été retenus, répartis dans différents bassins de production (Figure 1) : dix-neuf vergers de pommes de table (Occitanie, Paca et Pays de la Loire), trois vergers cidricoles (Normandie) et un verger de noyer (en Isère). Tous sont conduits en agriculture biologique et un site est sous filet Alt'carpo monoparcelle. La surface des parcelles varie de 0,2 à 5 ha, la majorité des sites possède une surface de 1 à 3 ha. La plupart des vergers étant présents dans des zones de production, l'environnement parcellaire est très souvent constitué d'autres vergers de fruits (pommiers conduits en conventionnel par exemple) ou d'autres cultures (vigne, grandes cultures, maraîchage). La moitié des sites est située à moins de 10 km d'un autre site de lâcher, et un quart des sites à plus de 20 km. Les distances minimale et maximale entre deux sites de lâcher d'un même bassin de production sont respectivement de 7 et de 78 km.

Lâchers de *M. ridens*

Les élevages de *M. ridens*⁽¹⁾, maintenus dans le bâtiment de quarantaine Entomopolis, ont été constitués grâce à l'importation d'individus provenant de trois sources (Nouvelle-Zélande, Chili et Kazakhstan). Femelles et mâles du parasitoïde sont mis en présence de larves diapausantes de carpocapse (larves en cocons), *M. ridens* s'attaquant exclusivement à ce dernier stade larvaire de *C. pomonella*. Les œufs de carpocapse sont issus de l'élevage de masse de l'Inrae d'Avignon (UMR PSH) et la diapause des larves est induite sur le site Inrae de Sophia Antipolis (UMR ISA). Des lâchers de 200 femelles et 100 mâles de *M. ridens* ont été réalisés sur chaque site, entre fin août et mi-octobre. À cette période de l'année, une grande proportion de larves de *C. pomonella* entre en diapause (deuxième génération dans le nord de la

(1) Voir « Carpocapse des pommes : nouvelles résistances au virus de la granulose », Phytoma n° 738 p. 45-50, et « Les mésanges se nourrissent-elles dans le verger où elles nichent ? » p. 51-55.

(2) La partie détaillée consacrée aux matériels et méthodes (élevages, dispositif, sites d'introduction, échantillonnages...) est disponible auprès de la rédaction.



Photo : M. Sandanayaka

Larve de *Mastrus ridens* se développant sur une larve de carpocapse des pommes.

France, troisième génération dans les régions plus méridionales), et ainsi la ressource en hôte n'est pas limitante pour *M. ridens*. Les lâchers de parasitoïdes ont été réalisés entre le 27 août et le 2 octobre 2019 selon la séquence suivante : 27 août (trois sites), 28 août (trois sites), 4 septembre (trois sites), 10 septembre (deux sites), 12 septembre (deux sites), 18 septembre (deux sites), 25 septembre (un site), 26 septembre (trois sites), 1^{er} octobre (un site), 2 octobre (trois sites).

Pour cette première campagne, plus de 15 000 individus de *M. ridens* ont été produits au laboratoire, pour un total de près de 4 600 femelles et 2 300 mâles lâchés sur le terrain. Tous ces individus provenaient de l'élevage « de routine ». Globalement, la logistique s'est bien déroulée puisqu'une très faible mortalité des femelles parasitoïdes pendant le transport a été constatée. En effet, seuls cinq sites ont reçu moins que le nombre prévu de *M. ridens* femelles.

Échantillonnages prélâcher

Préalablement à tout lâcher, chaque site fait l'objet d'une évaluation des communautés de parasitoïdes associés à *C. pomonella* à l'aide de bandes pièges (vingt à trente bandes par parcelle) placées en début d'été (première quinzaine de juillet), et retirées au moment des lâchers pour analyse⁽²⁾. Bien que toutes les données ne soient pas encore totalement acquises, une dizaine de parasitoïdes seulement ont été récoltées en 2019 sur les parcelles. Les identifications morphologiques et moléculaires sont en cours.

L'estimation des populations de carpocapse est effectuée annuellement, en dénombrant le nombre de larves de carpocapse dans les bandes pièges. De plus, une estimation des dégâts sur fruit est réalisée en début puis en fin d'été. Sur chaque site, cela consiste à se déplacer dans la parcelle et dénombrer le nombre de fruits piqués par le carpocapse parmi 1 000 fruits choisis aléatoirement. Plus de 1 000 larves de carpocapse ont été récoltées dans les bandes pièges. Les sites retenus pour la campagne 2019 présentent

des niveaux d'infestation de carpocapse variables, mais globalement faibles. Le nombre de larves de carpocapse par bande piège est ainsi compris entre 0,1 et 21 avec une moyenne de 2,8 larves par bande.

Échantillonnages post-lâcher

L'échantillonnage (recaptures) de *M. ridens* est basé sur deux méthodes, la première à l'aide des bandes pièges cartonnées placées à la base des troncs, la seconde en utilisant des larves de carpocapse « sentinelles »⁽²⁾. Ces recaptures sont prévues annuellement sur chaque site de lâcher et sites témoins, et au plus tôt un an après les premiers lâchers réalisés.

Exceptionnellement, un test de recapture a été effectué sur un site de lâcher en octobre 2019 (PACA61), en ne retirant que la moitié des bandes pièges (quinze) le jour des lâchers de *M. ridens*, et en retirant les quinze bandes restantes dix jours après les lâchers. Deux *M. ridens* femelles ont émergé de ces quinze bandes pièges.

La campagne 2019 : une première étape réussie

Les données disponibles dans la littérature ont été précieuses pour optimiser les élevages (Bezemer et Mills, 2001 ; Bezemer *et al.*, 2005 ; Devotto *et al.*, 2010 ; Hougardy *et al.*, 2005 ; Sandanayaka *et al.*, 2011). L'utilisation du stockage au froid s'est avérée particulièrement utile pour obtenir des émergences groupées et nombreuses (Sandanayaka *et al.*, 2015). Situés dans différents bassins de production du nord-ouest et du sud-est de la France, les vingt-trois sites couvrent des contextes pédoclimatiques différents et contrastés, ce qui permettra d'étudier l'effet de

certain facteurs abiotiques sur l'établissement et l'efficacité de *M. ridens*. Les premiers résultats des suivis montrent une faible diversité de parasitoïdes indigènes sur l'ensemble du dispositif, ce qui concorde avec les données disponibles (Maalouly *et al.*, 2015). La poursuite de ces suivis sera importante, notamment pour caractériser les éventuelles interactions entre le parasitoïde introduit et les communautés indigènes (Muru *et al.*, 2020).

En 2019, *M. ridens* a été retrouvé sur le seul site où des recaptures ont été mises en place. Toutefois, ces recaptures ne préfigurent pas de la bonne

acclimatation du parasitoïde puisqu'elles ont été mises en place seulement pendant dix jours après les premiers lâchers. Les prochaines campagnes informeront sur la capacité de *M. ridens* à survivre à l'hiver et à accroître ses effectifs. L'utilisation des larves sentinelles permettra également de vérifier les périodes d'activité du parasitoïde sur le terrain. En Nouvelle-Zélande, les femelles *M. ridens* ne pondent pas lorsque les températures sont inférieures à 15 °C (Charles *et al.*, 2019). On peut donc s'attendre à ce que le parasitoïde soit actif une grande partie de l'année en France.

Enfin, et compte tenu des capacités de dispersion de *M. ridens* de plusieurs kilomètres par an (Tortosa *et al.*, 2014), il semble nécessaire d'optimiser les recaptures du parasitoïde. Pour cela, des expérimentations

Les prochaines campagnes informeront sur la capacité de *M. ridens* de survivre à l'hiver.

viseront à étudier dans quelle mesure des composés volatils (phéromone sexuelle de *M. ridens* ou phéromone d'aggrégation de *C. pomonella*) pourraient être utilisés pour estimer les populations de ce parasitoïde (Leguillon, non publié).

Déployer le réseau de lâchers et intensifier le suivi

Cette première campagne d'introduction de *M. ridens* en France s'est déroulée comme prévu, avec plus de vingt sites de lâcher mis en place dans quatre bassins de production. À l'instar de ce qui a été fait lors d'opérations antérieures – tentatives d'introductions de *Psytalia lounsburyi* contre la mouche de l'olive (Malauza *et al.*, 2010) ou introductions réussies de *T. sinensis* contre le cynips du châtaignier (Borowiec *et al.*, 2018) –, un des challenges de ce projet sera de mettre en place, dans les meilleurs délais, un réseau de sites de lâchers pertinent et cohérent. Pour cela, nous estimons qu'il en faudra probablement plus de cinquante, c'est-à-dire assurer une vingtaine de lâchers chaque année *a minima* pendant les trois prochaines années.

À partir de 2020, les lâchers de *M. ridens* seront effectués selon deux niveaux de diversité génétique (faible diversité *versus* diversité élevée), ce qui intensifiera la logistique de l'opération. L'enjeu est de bien évaluer

l'efficacité de *M. ridens* et, pour cela, d'être en capacité de mettre en place des suivis post-introductions adéquates. Les premières recaptures de *M. ridens* en Paca sont de bon augure, il est toutefois nécessaire d'intensifier les campagnes de recaptures. En 2020, des suivis ont été réalisés sur sept sites du dispositif. La méthode employée sera plus complète (bandes pièges et larves sentinelles). Ces efforts seront intensifiés au fil du temps pour aboutir à un suivi sur la totalité des sites du dispositif.

Enfin, sans préjuger du succès de cette opération, il semble pertinent de commencer à réfléchir à l'intégration de cette méthode de lutte dans les itinéraires de production. La toxicité de certains produits phytosanitaires à l'égard de *M. ridens* sera donc évaluée. □

REMERCIEMENTS Ce projet, soutenu au niveau national par la profession, bénéficie du soutien financier de FranceAgriMer (projet « Bioccyd-Mastrus », 2019-2022). Pour les évaluations au laboratoire de *Mastrus ridens*, les introductions sur le terrain de 2018 et les mobilités internationales au Chili, au Kazakhstan et en Nouvelle-Zélande, l'Inrae a bénéficié du soutien financier de l'Onema (projet PSPE2 « Bioccyd », 2015-2017), du département Santé des plantes et Environnement de l'Inrae (projet « Mastrus », 2018-2020) et de l'Union européenne (projet Marie Curie « Biomedics », 2013-2017 ; projet ERA-net c-IPM « API-Tree », 2017-2020). Nous adressons nos sincères remerciements à John Charles, Mano Sandanayaka (Plant and Food Research, Nouvelle-Zélande), Tania Zaviedo, Alda Romero (Université catholique de Santiago, Chili), Aimeken Nygymetova, Peter Egorov (Agroshield, Kazakhstan) pour leur aide précieuse dans l'acquisition des différentes populations de *M. ridens*.

POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACT :
nicolas.borowiec@inrae.fr

BIBLIOGRAPHIE : - Beyre M., Haselmann M., Fondrik M.K., Page R.E., Omholt S.W., 2003, The gene *csd* is the primary signal for sexual development in the honeybee and encodes an SR-type protein. *Cell*, 114, 419-429.

- Bianchi F., Booi C.J.H., Tschamtké T., 2006, Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control, *Proceedings of the Royal Society B*, 273, 1715-1727.

- Bezemer T.M., Mills N.J., 2001, Host density response of *Mastrus ridibundus*, a parasitoid of the codling moth, *Cydia pomonella*, *Biological Control*, 22, 169-175.

- Bezemer T.M., Harvey J.A., Mills N.J., 2005, Influence of adult nutrition on the relationship between body size and reproductive parameters in a parasitoid wasp. *Ecological Entomology*, 30, 571-580.

- Borowiec N., Sforza R., 2020, Chapitre 3 : Lutte biologique par acclimatation, In : Fauvergue X., Rusch A., Barret M., Bardin M., Jacquelin-Joly E., Malauza T., Lannou C. Biocontrôle : éléments pour une protection agroécologique des cultures, Quae éditions, p. 49-61.

- Borowiec N., Muru D., Malauza T., Ris N., 2016, Dossier de demande d'introduction dans l'environnement de l'hyménoptère parasitoïde *Mastrus ridens*, Inrae, 34 p.

- Borowiec N., Thaum M., Brancaccio L., Cailleret B., Ris N., Vercken E., 2018, Early population dynamics in classical biological control: establishment of the exotic parasitoid *Torymus sinensis* and control of its target pest, the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*, in France, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166, 367-379.

- Butault J.-P., Delame N., Jacquet F., Zardet G., 2011, L'utilisation des pesticides en

France : état des lieux et perspectives de réduction, NESE, 35, 7-26.

- Charles J.G., Dugdale J.S., 2011, Non-target species selection for host-range testing of *Mastrus ridens*, *New Zealand Entomologist*, 34, 45-51.

- Charles J.G., Sandanayaka W.R.M., Walker J.T.S., Shaw P.W., Chhagan A., Cole L.M., Colhoun K., Davis V.A., Wallis D.R., 2019, Establishment and seasonal activity in New Zealand of *Mastrus ridens*, a gregarious ectoparasitoid of codling moth *Cydia pomonella*, *BioControl*, 64, 291-301.

- Devotto L., Del Valle C., Ceballos R., Gerdling M., 2010, Biology of *Mastrus ridibundus* (Gravenhorst), a potential biological control agent for area-wide management of *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera, Tortricidae), *Journal of Applied Entomology*, 134, 243-250.

- Fauvergue X., Vercken E., Malauza T., Hufbauer R.A., 2012, The biology of small, introduced populations, with special reference to biological control, *Evolutionary Applications*, 5, 424-443.

- Frankham R., 1998, Inbreeding and extinction: Island populations, *Conservation Biology*, 12, 665-675.

- Guennelon G., Audemard H., Fremont J.-C., El Idrissi Ammari M.A., 1981, Progrès réalisés dans l'élevage permanent du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) sur milieu artificiel, *Agronomie*, 1, 59-64.

- Horstmann K., 2009, Revisionen von Schlupfwespen-Arten XIII (Hymenoptera, Ichneumonidae), *Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft*, 99, 37-44.

- Hougardy E., Bezemer T.M., Mills N.J., 2005, Effects of host deprivation and egg expenditure on the reproductive capacity of *Mastrus ridibundus*, an introduced parasitoid for the biological control of codling moth in California, *Biological Control*, 33, 96-106.

- Institut national de l'information géographique et forestière, 2019, www.geoportail.fr

- Kuhlmann U., Mills N., 1999, Exploring the biodiversity of Central Asia to assess specialized parasitoids for biological control of apple pests in Europe and North America, *IOBC/wprs Bulletin*, 22, 1-6.

- Maalouly M., Franck P., Lavigne C., 2005, Temporal dynamics of parasitoid assemblages parasitizing the codling moth, *Biological Control*, 82, 31-39.

- Malauza J.-C., Auguste-Maros A., Cheyenne-Buchmann S., Groussier-Bout G., Ris N., Thaum M., Warot S., Fauvergue X., 2010, Introductions of the African parasitoid *Psytalia lounsburyi* in South of France for classical biological control of *Bactrocera oleae*, *IOBC/wprs Bulletin*, 59, 163-170.

- Mills N., 2005, Selecting effective parasitoids for biological control introductions: codling moth as a case study, *Biological Control*, 34, 274-282.

- Mills N., 2007, Classical biological control of codling moth: the California experience, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Biological Control of Arthropods*, 12-16 September, Davos Switzerland.

- Muru D., Borowiec N., Thaum M., Ris N., Viciruc M.I., Warot S., Vercken E., 2020, The open bar is closed : restructuration of a native parasitoid community following successful control of an invasive pest, *PCI Zoology*, doi: 10.1101/2019.12.20.884908.

- Muru D., Auguste A., Fauvergue X., Malauza T., Ris N., Thaum M., Vercken E., Borowiec N., 2018, Un parasitoïde exotique pour lutter contre le carpocapse. *Phytoma*, 710, 37-41.

- Prognofruit, 2018, European Apple and Pear Crop Forecast, August 2018, Warsaw, Poland.

- Retamal R., Zaviedo T., Malauza T., Le Goff I., Toleubayev K., 2016, Genetic analyses and occurrence of diploid males in field and laboratory populations of *Mastrus ridens* (Hymenoptera, Ichneumonidae), a parasitoid of the codling moth, *Biological Control*, 101, 69-77.

- Rusch A., Valentin-Morison M., Sarthou J.-P., Roger-Estrade J., 2010, Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: a review, *Advances in Agronomy*, 109, 219-259.

- Sandanayaka W.R.M., Chhagan A., Page-Weir N.E.M., Charles J.G., 2011, Colony optimisation of *Mastrus ridens* (Hymenoptera, Ichneumonidae), a potential biological control agent of codling moth in New Zealand. *NZ Plant Protection*, 64, 227-234.

- Sandanayaka W.R.M., Davis V.A., Charles J.G., 2015, Influence of cold storage on survival and fitness of *Mastrus ridens*, an ectoparasitoid of codling moth, *NZ Plant Protection*, 68, 197-203.

- Thaum M., Audant P., Ris N., Borowiec N., 2017, Entomopolis : de la production de masse d'insectes auxiliaires au maintien de macro-organismes réglementés. *Cahiers Techniques de l'Inra*, numéro spécial « Innovations entomologiques : du laboratoire au champ ! », 59-68.

- Tortosa O.E., Carmona A., Martínez E., Manzano P., Giardina M., 2014, Liberación y establecimiento de *Mastrus ridens* (Hymenoptera, Ichneumonidae) para el control de *Cydia pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae) en Mendoza, Argentina, *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 73, 109-118.

- Zayed A., Packer L., 2005, Complementary sex determination substantially increases extinction proneness of haplodiploid populations, *PNAS*, 102, 10742-6.