

Contrôle biologique du foreur ponctué de la canne à sucre à la Réunion par lâchers inondatifs de trichogrammes : Étapes franchies pour un développement à grande échelle

Hong DO THI KHANH⁽¹⁾, François-Régis GOEBEL⁽²⁾, Marlène MARQUIER⁽³⁾,
Jacques FRANDON⁽⁴⁾, Estelle ROUX⁽³⁾, Clarisse CLAIN⁽³⁾, Ety COLOMBEL⁽¹⁾,
Elisabeth TABONE⁽¹⁾

1. INRA - Centre PACA, 400 Route des CHAPPES, 06903 Sophia Antipolis, France.
elisabeth.tabone@sophia.inra.fr, hong.do@sophia.inra.fr, etty.collombel@sophia.inra.fr
2. CIRAD, Unité de Recherches Cultures Annuelles, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, France.
francois-regis.goebel@cirad.fr
3. Département de Mise au Point des Méthodes de Lutte, FDGDON-Réunion, 97460 Saint-Paul, La Réunion.
marlene.marquier@fdgdon974.fr, Clarisse.clain@Fdgdon974.fr, Estelle.roux@fdgdon974.fr
4. BIOTOP, Route de Biot - D4, 06560 VALBONNE France. jfrandon@biotop.fr

Résumé

Les lâchers inondatifs de parasitoïdes oophages du genre *Trichogramma* sont très largement utilisés en lutte biologique dans le monde et couvre 32 millions d'hectares de cultures (y compris de la canne à sucre) et forêts.

A la Réunion, nous élaborons depuis plus de 10 ans une stratégie de lutte biologique par lâchers inondatifs de la souche Saint Benoît de *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae) contre *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera: Crambidae), stratégie qui est issue d'une collaboration fructueuse entre l'INRA, la FDGDON et le CIRAD.

De l'identification du meilleur auxiliaire à la production de masse en passant par les essais de terrain, des améliorations ont été constamment apportées. Les essais expérimentaux ont montré une réduction jusqu'à 50% des dégâts avec des gains économiques non négligeables de 700 à 1400 euros par hectare. Pour développer cette stratégie de lutte biologique à grande échelle, il est nécessaire de réduire les coûts de production des auxiliaires et de main d'œuvre au champ. Entre 2008 et 2011, nous avons mis en évidence une quiescence permettant un stockage au froid de *T. chilonis* sur plusieurs mois sans perte de performance. Grâce à ce stockage, l'efficacité de la production de masse et de la gestion des lâchers est nettement améliorée. Un partenariat de longue date avec Biotop, une biofabrique française qui possède une expérience confirmée des lâchers inondatifs de trichogrammes contre la pyrale du maïs en France, assurera la disponibilité de ce traitement pour tous les volontaires de la filière. Le transfert en milieu producteur en est désormais dans sa première phase avec l'appui du CTICS pour la diffusion de la stratégie auprès des planteurs.

Mots clés: Parasitoïdes oophages, production de masse, stockage au froid, diapause, quiescence.

Introduction

Le foreur ponctué, *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera :, Crambidae) est le principal ravageur de la canne à sucre à la Réunion. Les chenilles font des galeries dans les tiges et sont responsables d'importantes pertes de productivité, en particulier sur la variété de canne la plus productive (30% en cas d'attaques sévères) (Goebel 1999, Goebel *et al.* 1999). Alors que les traitements chimiques ne sont ni efficaces ni autorisés, la lutte biologique offre une alternative intéressante et plus respectueuse de l'environnement. Parmi le cortège d'auxiliaires indigènes

associés à ce ravageur à la Réunion, les trichogrammes (micro-guêpes parasitoïdes d'œufs) sont bien représentés, d'où l'idée de mettre au point une lutte à l'aide de ces oophages. Leur inventaire a montré qu'une espèce est souvent présente dans les champs de canne : *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae).

Toutefois, cet auxiliaire étant naturellement en trop faible densité, notre objectif est d'effectuer des lâchers inondatifs dans les champs de canne, en début de cycle de la plante qui correspond à la période à laquelle les pontes du foreur sont les plus préjudiciables pour la culture. Les premiers résultats, obtenus en parcelles expérimentales sur la variété sensible R579, montrent que la lutte biologique augmente le rendement jusqu'à 30 tonnes/hectare (Goebel *et al.*, 2005). Cette technique de lutte biologique pourra assurer la protection des 15.000 ha actuellement attaqués et bénéficiera à l'ensemble de la filière.

Pour que cette lutte soit transférable aux planteurs, il est nécessaire d'en diminuer le coût (prix des parasitoïdes et temps de la main d'œuvre au champ). Pour cela, de nombreuses optimisations sont indispensables (Figure 1) à la fois sur la stratégie des lâchers (ajustement des périodes, doses, fréquence des lâchers), le nombre de déplacements au champ (16 aujourd'hui sur canne contre 2 au maximum sur maïs) et la production de masse de trichogrammes notamment la technique de stockage.

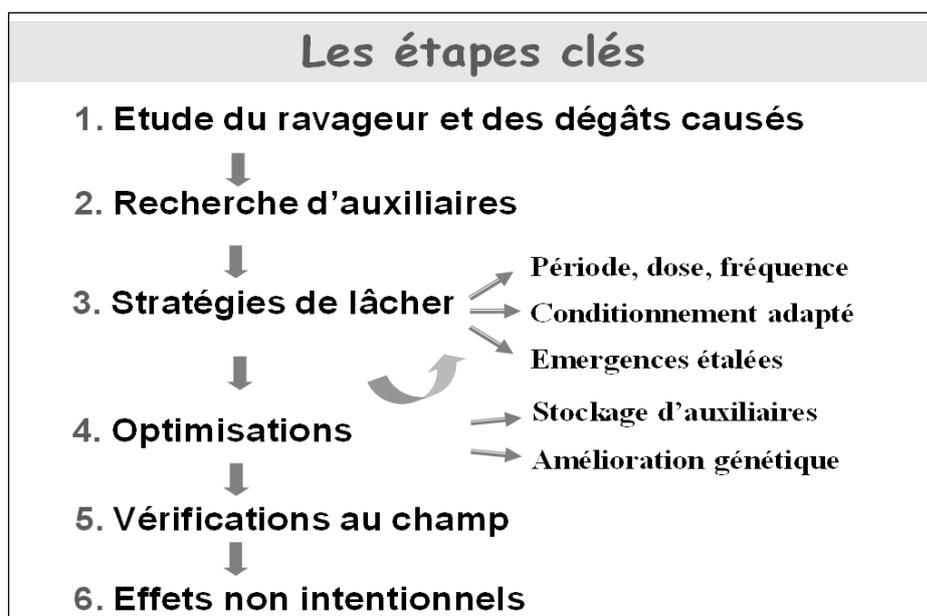


Figure 1. Principales étapes à étudier dans le programme de lutte biologique contre le foreur ponctué *C. sacchariphagus*, à la Réunion à l'aide de trichogrammes (collaboration INRA/ FDGDON/CIRAD)

Les acquis : stratégie et efficacité

Une stratégie de lutte originale a été développée, combinant lâchers inondatifs de *T. chilonis* et conservation en favorisant l'action prédatrice des fourmis dont *Pheidole megacephala* Fab. (Hymenoptera: Formicidae) (Tabone *et al.* 2002). La jeune plante de canne est très attractive et sensible aux attaques du foreur ponctué (Goebel 1999). Les lâchers inondatifs de trichogrammes ont été effectués en début de la saison pour enrayer la dynamique du foreur (Tabone *et al.* 2002 ; Tabone et Goebel 2005). Plus tard dans la saison, les fourmis prédatrices

arrivent en masse et « nettoient » très efficacement tous les œufs du ravageur, qu'ils soient parasités ou pas.

De nombreuses optimisations de la stratégie de lâchers inondatifs de trichogrammes ont été réalisées concernant le conditionnement, la densité des lâchers dans les parcelles expérimentales, leur nombre et leur fréquence au cours de la saison, la quantité de trichogrammes utilisée (Tabone et Goebel 2005 ; Marquier *et al.* 2008a, Marquier *et al.* 2008b).

Avec 100 000 trichogrammes par hectare (répartis sur 100 points de lâcher) toutes les semaines durant 4 mois, cette stratégie combinée a porté ses fruits **en réduisant d'environ 50% les attaques de ravageurs** et augmente le rendement de la canne de l'ordre de 15 à 20% suivant les sites expérimentaux à la Réunion. Ceci représente, dans des conditions encore non optimales de lâchers, des gains financiers de 700 à 1400 euros / ha (Rochat *et al.* 2001, Soula *et al.* 2003, Barreault *et al.* 2005, Goebel *et al.* 2005, Reay-Jones *et al.* 2006).

Les recherches sur le stockage au froid chez *Trichogramma chilonis*

Une diminution des coûts (notamment le prix des parasitoïdes et le temps de la main d'œuvre au champ) de cette lutte biologique efficace est nécessaire pour qu'elle soit transférable aux planteurs de cannes. Une possibilité de stockage au froid des auxiliaires et une diminution du nombre de déplacements au champ sont très attendues.

En effet, la recherche d'un arrêt de développement chez *T. chilonis* correspond aux attentes de toute la filière de la canne (Tabone *et al.* 2008a, Tabonne *et al.* 2008b). La capacité des Trichogrammes à hiverner dans leurs hôtes à l'état de vie ralentie est connue depuis longtemps (Zorin 1927). Une diapause de plus de 9 mois chez *T. brassicae* (Voegelé *et al.* 1986) a permis le développement de la lutte biologique contre la pyrale de maïs, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera : Pyralidae) à grande échelle (Bigler 1994). En France, plus de 100.000 ha de maïs ont été traités en 2009 avec *T. brassicae* (Biotop). Chez *T. cordubensis*, *T. cacoeciae* et *T. minutum*, les diapauses ont respectivement pu être déclenchées à 180 jours (Garcia *et al.* 2002), 260 jours (Rossi & Pizzol 1997) et 70 jours (Laing & Corrigan 1995). Une quiescence a également été observée chez *T. caverae* (60 jours) (Rundle *et al.* 2004), *T. evanescens* (60 jours) (communication personnelle, Pizzol J.), *T. ostriniae* (28 jours) (Pitcher 2002) et *T. funiculatum* (Rundle *et al.* 2003).

Chez *T. chilonis*, plusieurs études sur un arrêt de développement ont également été réalisées (Zhu & Zhang 1987, Jalali & Singh 1992, Khosa & Brar 2000, Farid *et al.* 2001, Chen & Ou-Yang 2004, Kumar *et al.* 2005, Singh *et al.* 2006, Nadeem *et al.* 2010). Chen & Ou-Yang (2004) ont réussi à stocker *T. chilonis* pendant 42 jours et ont obtenu plus de 70% d'émergence après stockage, ce qui prouve qu'il est possible de déclencher un arrêt de développement chez *T. chilonis*. Cependant, il est nécessaire d'étudier de manière détaillée la fécondité, la survie et l'efficacité au champ des insectes après stockage, ce qui n'est pas toujours le cas dans la littérature. Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est l'obtention d'une plus longue durée de stockage chez *T. chilonis* et l'évaluation des performances de *T. chilonis* après stockage.

Performance des trichogrammes stockés

Les premiers résultats de l'étude du stockage au froid chez *T. chilonis* de notre programme ont été très prometteurs (Do Thi Khanh *et al.* 2009, Do Thi Khanh *et al.* 2011a, Do Thi Khanh *et al.* 2011b). Sur le graphique ci-dessous (figure 2) sont présentées les fécondités des 312 modalités testées en fonction des 19 durées de stockage de 3 à 22 semaines (N=9827 femelles).

Les données de fécondité obtenues montrent que parmi les 19 durées de stockage étudiées (3 à 22 semaines), la durée de stockage maximale envisageable serait de 15 semaines (tableau 1). La fécondité médiane sur 7 jours à 25°C est de 54 œufs par femelle (tableau 1, voir données en grisé, n=1017 femelles).

Cependant, la fécondité des femelles après 2 mois de stockage (11 semaines, n=842 femelles, tableau 1) reste significativement meilleure que celle obtenue après 15 semaines (67 œufs pondus vs 54, logiciel R glm Quasi Poisson puis Kruskalmc, $p < 0.05$). Six classes de fécondité significativement différentes sont obtenues (A, B, C, D, E et F ; GLM Quasi Poisson puis test Kruskalmc, $p < 0.05$, logiciel R) (Figure 2).

La proportion de femelles vivantes à 7 jours de ponte reste supérieure à 80% pour la plupart des durées de stockages étudiées. La survie à elle-seule n'est donc pas suffisante pour estimer la performance des trichogrammes stockés. Cependant, elle est indispensable dans l'estimation de la performance globale.

Plusieurs variables biologiques sont pris en compte pour estimer la performance des trichogrammes après stockage : % d'émergence, sex-ratio, fécondité moyenne sur 7 jours, proportion de femelles vivantes à 7 jours. Les variables les plus sensibles sont la fécondité moyenne et la survie à 7 jours.

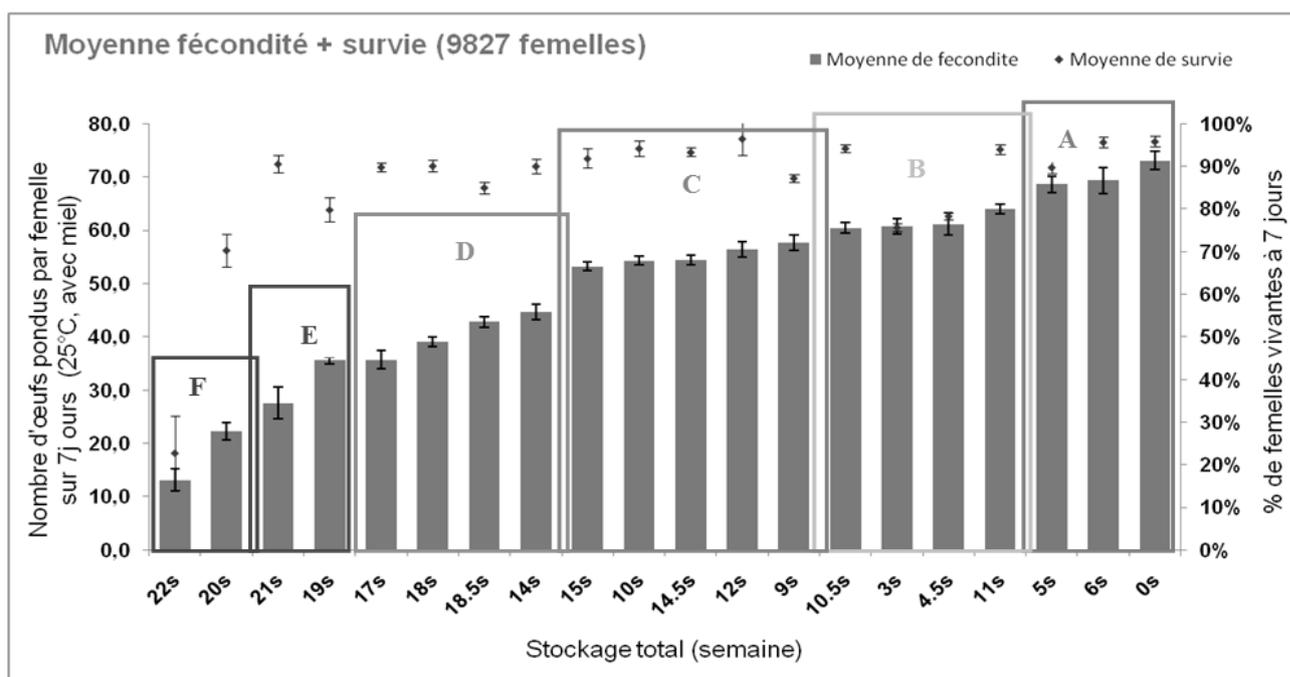


Figure 2. Relation entre Fécondité de *T.chilonis* et durée de stockage au froid.

Tableau 1 .Exemple de Statistiques descriptives pour le stockage à 8 durées (fécondité/femelle sur 7 jours)

Stockage (semaine)	3	6	9	11	12	15	18	21
Median	58	75	57	67	58	54	40	24
Moy	61	69	58	64	56	53	42	28
ES	1,4	2,4	1,4	1	1,5	0,8	1,1	3
n	415	186	611	842	213	1017	639	55

ES = Erreur Standard ; n = nombre d'échantillons

Qualité des trichogrammes stockés

Tout au long des expérimentations, la qualité des *T. chilonis* stockés a été suivie. Elle est évaluée par le calcul de la **fécondité x survie x 100**. A 15 semaines de stockage, elle reste proche d'une valeur de 5000 (la référence de *Trichogramma brassicae* en production industrielle) et chute très fortement par la suite. Ce résultat nous confirme la possibilité de stocker *Trichogramma chilonis* jusqu'à 15 semaines dans le cadre d'une production industrielle pour une utilisation à grande échelle.

Validation au laboratoire de la qualité des trichogrammes stockés au froid après leur transport et leur stockage en chambre froide à La Réunion

Cette étude a consisté à voir la possibilité de stocker et réveiller les trichogrammes à La Réunion sans qu'il y ait un impact sur leur qualité. Dans un premier temps, il a été montré que les trichogrammes produits avec stockage et expédiés à La Réunion pouvaient être conservés localement durant 7 jours à 15°C sans affecter leur longévité et émergence. Par contre, il y aurait un impact négatif sur leur fécondité. Ce dernier résultat s'expliquait par le faible taux d'humidité des conditions de stockage. Afin d'améliorer ce dernier critère, des boîtes à sel ont été placées dans l'enceinte à 15°C pouvant augmenter l'humidité. Puis, sur 8 lots de trichogrammes expédiés, il a été conclu que les trichogrammes pouvaient être stockés à 4°C à La Réunion jusqu'à 3 semaines sans affecter leur qualité biologique. Le taux d'émergence est supérieur à 80% quelle que soit la durée de stockage. Le pourcentage de femelle vivante est supérieur à 70% sur 7 jours. Ces deux critères corroborent avec ceux de la littérature. Les fécondités des trichogrammes stockés et non stockés sont similaires (Clain *et al.* 2011).

Efficacité au champ des trichogrammes stockés au froid

Cette action a consisté à confirmer au champ les résultats obtenus au laboratoire. L'efficacité des trichogrammes stockés au froid et réveillés a été comparée à celle de trichogrammes non stockés au cours d'un essai mené en 2009-2010 en parcelles de canne à sucre. Les lâchers de trichogrammes stockés au froid pendant 11 semaines ont réduit significativement l'intensité des dégâts du foreur à la récolte par rapport au Témoin non traité (ANOVA, Modèle mixte, $p < 0,05$) (Figure 3). Avec plus de 25 % d'entre-nœuds attaqués en moins, l'efficacité au terrain des trichogrammes stockés au froid (Stockage) est comparable à celle des trichogrammes non stockés (Référence).

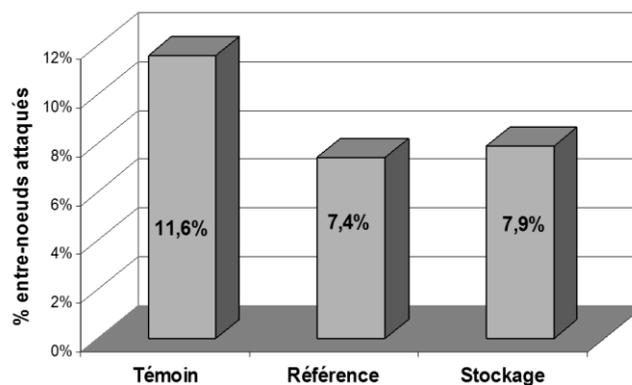


Figure 3. Intensité des dégâts du foreur ponctué à la récolte pour les 3 modalités de l'essai.

Réduction du nombre de lâcher au champ

Avec seize passages au champ, la stratégie de lutte biologique est coûteuse en main d'œuvre. Pour qu'elle soit transférable aux agriculteurs, il est nécessaire de simplifier sa mise en œuvre.

Mise au point du lâcher « multivagues »

Afin de réduire le nombre de lâchers et de faciliter la mise en œuvre de la lutte, l'objectif est de mettre au point un lâcher « multivagues » pour obtenir avec un seul lâcher des vagues d'émergences successives dans le temps de trichogrammes.

Un essai de mise au point au champ a été mené en 2009 en parcelle de canne à sucre. Le lâcher « multivagues » a été obtenu par l'association de trichogrammes non stockés au froid à 3 stades larvaires différents dans un même diffuseur. Les émergences des trichogrammes se sont étalées sur 8 jours de 2 à 9 jours après le lâcher :

- Immédiat (I) : 2 à 4 jours après le lâcher
- Retard (R) : 5 à 7 jours après le lâcher
- Super Retard (SR) : 7 à 9 jours après le lâcher

Un essai d'efficacité au champ a été mené en 2009-2010 en parcelles de canne à sucre. L'efficacité des lâchers « multivagues » bimensuels (précédemment décrits) a été comparée à celle des lâchers hebdomadaires de référence. Contrairement à ces derniers, les lâchers « multivagues » n'ont pas réduit significativement les dégâts du foreur à la récolte. L'échelonnement des émergences des trichogrammes s'est révélé insuffisant pour des lâchers toutes les deux semaines afin d'obtenir une protection continue et efficace. Nous avons également constaté la présence de moisissures dans les diffuseurs du lâcher « multivagues » qui sont restés deux semaines au champ. Le développement de moisissures sur les œufs parasités avant l'émergence des trichogrammes a pu avoir un impact négatif sur l'émergence et la qualité des trichogrammes R et SR.

Trois essais de mise au point au laboratoire ont été menés en 2011. Le lâcher « multivagues » a été obtenu par l'association de trichogrammes stockés au froid réveillés à deux dates décalées de quelques jours, et par l'ajout dans le diffuseur d'œufs d'*Ephestia kuehniella* Zell (epidoptera : Pyralidae) (teigne de la ruche) irradiés non parasités. Les premiers trichogrammes émergés ont parasité les œufs réalisant un « mini élevage ». On a obtenu ainsi 3 vagues d'émergence Immédiat (I), Retard (R) et Ultra Retard (UR) dont les émergences se sont étalées sur 14 jours de 1 à 14 jours après le lâcher (Tableau 2). Les caractéristiques biologiques des trichogrammes des 3 vagues étaient supérieures ou égales aux résultats obtenus durant ces 3 dernières années à la FDGDON. Pour la vague Ultra Retard, le taux de parasitisme des œufs d'*E. kuehniella* était de 80 %. La fécondité des trichogrammes (48 œufs/femelle) s'expliquait par la qualité des œufs d'*E. kuehniella* qui se trouvaient dans les diffuseurs. En effet, la vague Ultra Retard a été constituée en fait de deux vagues : une première vague issue du parasitisme des trichogrammes I et d'une seconde issue de celui des R.

Un essai de mise au point mené en 2012 a montré qu'au champ le taux de parasitisme des œufs d'*E. kuehniella* était réduit à 40 % ; et que la vague Ultra Retard était issue seulement du parasitisme des trichogrammes I. Les conditions de température et d'humidité au champ ont dégradé les œufs de telle façon qu'ils n'étaient plus attractifs 5 jours après le lâcher pour un parasitisme par les trichogrammes R. Les émergences des trichogrammes du lâcher « multivagues » se sont donc étalées seulement sur 11 jours de 1 à 11 jours après le lâcher.

Réduction de la période de lâcher

Afin de réduire le nombre de lâchers et de faciliter la mise en œuvre de la lutte, l'objectif est d'évaluer son efficacité en réduisant d'un mois la période des lâchers de trichogrammes. Ainsi, on s'affranchirait des lâchers sur des cannes hautes et fermées, stade auquel il est plus difficile de rentrer dans la parcelle.

Tableau 2. Caractéristiques des 3 vagues de trichogrammes du lâcher « multivagues ».

	Immédiat (I)	Retard (R)	Ultra Retard (SR)
Période d'émergence après le lâcher	1 à 2 jours	5 à 6 jours	10 à 14 jours
Taux d'émergence	> 80 %	> 80 %	> 80 %
Taux de parasitisme des œufs d' <i>E.k.</i>	-	-	80%
Sex-ratio	> 80 %	> 80 %	> 80 %
Taux de survie des femelles	93%	93%	100%
Fécondité des femelles	81 œufs/7jours	59 œufs/7jours	48 œufs/7jours

Un essai a été mené en 2010-2011 en parcelles de canne à sucre. A la récolte, le niveau d'attaque du foreur ponctué sur le Témoin non traité était inférieur au seuil de nuisibilité économique admis de 10 % d'entre-nœuds attaqués par tige. Dans ces conditions de faible infestation, les observations de dégâts au champ n'ont pas permis de mettre en évidence l'impact positif des lâchers de trichogrammes. Il n'a donc pas été possible de conclure sur les possibilités de réduire d'un mois la période des lâchers.

Les transferts prévus

Déclaration d'invention

Afin d'optimiser notre méthode à l'échelle industrielle, des démarches de transfert de cette méthode de stockage de *Trichogramma chilonis* sont déjà en cours avec un partenaire privé, la biofabrique Biotop. Les démarches officielles concernant la protection de notre savoir-faire et le transfert de matériel vers cette biofabrique sont présentées ci-dessous (Tableau 3). La participation d'une société productrice d'auxiliaires est une garantie de la mise en œuvre ultérieure des résultats de nos recherches.

Tableau 3. Principales étapes pour les démarches de transfert vers Biotop

Année	Type de document	Titre
2009	Dossier préliminaire Invention INRA stockage <i>Trichogramma chilonis</i>	Optimisation du contrôle biologique du foreur de la canne à sucre par la recherche d'un arrêt de développement chez <i>Trichogramma chilonis</i>
	Déclaration d'Invention et de résultats valorisables	Mise en évidence d'un arrêt de développement chez <i>Trichogramma chilonis</i>
	Dossier Technique	Méthode de stockage de <i>Trichogramma chilonis</i> pour 11 semaines
	Accord de Transfert de matériel entre l'INRA et Biotop	Transfert du matériel biologique, constitué par <i>Trichogramma chilonis</i> souche Réunionnaise St Benoît, dans le cadre de la mise au point de la stratégie de Lutte biologique contre le foreur de la canne à sucre à la Réunion
2011	Dossier Technique	Méthode de stockage de <i>Trichogramma chilonis</i> pour 15 semaines
2012 (à venir)	Déclarations d'Invention et de résultats valorisables	1. Mise en évidence d'un arrêt de développement chez <i>Trichogramma chilonis</i> de 11 à 15 semaines 2. Optimisations techniques pour la production de masse des trichogrammes stockés chez <i>Trichogramma chilonis</i>

Conclusion et perspective de lutte biologique à la Réunion et dans sa région

Les travaux menés jusqu'à présents nous ont permis d'acquérir des avancées capitales pour le développement à grande échelle de la lutte biologique contre le foreur ponctué de la canne à sucre.

Les trichogrammes stockés 11 semaines au froid ont montré des performances biologiques et une efficacité au champ comparables aux trichogrammes non stockés. Nous avons estimé à 3 semaines les possibilités de stockage à La Réunion après l'envoi des trichogrammes par la société Biotop SA. En période des lâchers de trichogrammes, nous pourrions programmer des envois toutes les 3 ou 4 semaines (au lieu de toutes les deux semaines) et ainsi réduire les coûts et faciliter la logistique des lâchers.

Le lâcher « multivagues » permet des émergences décalées des trichogrammes sur deux semaines. Nous pouvons ainsi envisager une réduction par deux du nombre de passages au champ, sous réserve d'une validation de l'efficacité au champ de la stratégie avec les lâchers « multivagues ». Par contre, les conditions expérimentales ne nous ont pas permis de conclure sur les possibilités de réduire la période des lâchers.

Les résultats présentés confirment la possibilité de stockage chez *T. chilonis* pendant 11 à 15 semaines en laboratoire. Toutefois, pour passer à une lutte biologique à grande échelle, il sera d'une part nécessaire de continuer la vérification en conditions naturelles sur culture de canne à sucre la performance des trichogrammes stockés 15 semaines et, d'autre part, d'apporter des optimisations dans l'objectif de baisser le coût global de la lutte.

Pour transférer la technique de stockage à une production industrielle, il sera important d'étudier :

- Le regroupement des stades de développement des trichogrammes au cours du stockage afin d'optimiser la qualité de la production. Pour cela la taille d'inoculum et le temps de ponte seront concernés.
- Les risques de superparasitisme dans la mise en place d'une nouvelle méthode de production industrielle qui ne sont pas à écarter.
- Les possibilités de réveil précoce afin de rendre plus souple la gestion des lâchers (pouvoir réveiller les trichogrammes avant les 11 ou 15 semaines prévues initialement en cas de besoins imprévus).

Les lâchers de trichogrammes étant envisagés dans un contexte de climat tropical et d'agrosystème cannier, un conditionnement adapté devra également être étudié, notamment pour éviter les problèmes de prédation déjà cités. Par ailleurs, la validation au champ de la stratégie d'émergences étalée afin de diminuer le nombre des passages au champ, rendra cette lutte biologique plus abordable.

Enfin, l'aménagement des champs (cultures associées, plantes pièges, plantes compagnes) de même que l'utilisation de pratiques culturales adaptées devront être faire partie intégrante d'une stratégie qui favorise le développement de la lutte biologique et le maintien des services de régulation par les parasitoïdes et les prédateurs.

Pour le système cannier à la Réunion, les lâchers de trichogrammes s'effectuant toutes les semaines durant quatre mois, cela nécessite une production régulière des parasitoïdes.

Une fois vérifiés sur le terrain, nos résultats pourront être brevetés pour une commercialisation à grande échelle. Pour son développement, cette technique peut être applicable dans d'autres pays tropicaux et confrontés au problème de foreurs de tige, en particulier Maurice, Madagascar, l'Afrique de l'Est et du Sud, l'Inde et l'Asie du Sud-Est et sur d'autres cultures où *Trichogramma chilonis* est efficace comme auxiliaire.

Références bibliographiques

- Barreault G., Tabone E., Goebel F.R., Berling M., Karimjee H., Caplong P. (2005). Lutte biologique contre le foreur ponctué de la canne à sucre à la Réunion: optimisation de la technique pour une utilisation à grande échelle. In AFPP édition, *Proceeding de la 7^e Conférence internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, France*.
- Bigler F. (1994). Quality control in *Trichogramma* production. In: Wajnberg E. & Hassan S.A. (eds), *Biological Control with Egg Parasitoids*, CAB International, p. 93-111, Oxon, UK.
- Chen S. & Ou-Yang S. (2004). Host preference and cold storage studies of *Trichogramma chilonis* Ishii. *Annual of the National Taiwan Museum* **47** : 13-24.
- Clain C., Do Thi Khanh H., Frandon J., Goebel R., Tabone E. (2011). Impact du stockage au froid à La Réunion sur la qualité biologique de *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera : Trichogrammatidae). In AFPP édition, *Proceeding de la 9^e Conférence internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, France*, p. 510-517.
- Do Thi Khanh H., Colombel E., Goebel R., Roux E. & Tabone E. (2009). Optimisation de la Lutte Biologique contre *Chilo sacchariphagus* Bojer par la mise en place d'une quiescence induite chez *Trichogramma chilonis* Ishii. In AMPP édition, *Proceeding du Colloque International « Gestion des Risques Phytosanitaires », Marrakech, Maroc*, p. 349-357.
- Do Thi Khanh H., Bodendörfer J., Colombel E., Clain C., Goebel R., Tabone E. (2011a.) Développement à grande échelle d'une lutte biologique efficace via le stockage au froid de l'auxiliaire *Trichogramma chilonis*. *Phytoma* **642**: 29-32.
- Do Thi Khanh H., Bonnet A., Bodendörfer J., Colombel E., Marquier M., Goebel R., Tabone E. (2011b). Resistance to cold storage in *Trichogramma chilonis*. *Faunistic Entomology* **63** (3): 183-189.
- Farid A., Tasbeeh U., Amanuel K., Sana U.K. & Sana A. (2001). Effect of Storage at low temperature on Adult Eclosion and Longevity of Adults of *Trichogramma chilonis*. *Pakistan J. Zool.* **33**(3): 205-207.
- Garcia, P.V., Wajnberg E., Pizzol J. & Oliveira M.L.M. (2002). Diapause in the egg parasitoid *Trichogramma cordubensis*: role of temperature. *Journal of Insect Physiology* **48**: 349-355.
- Goebel, R. (1999). *Caractéristique biotiques du foreur de la canne à sucre Chilo sacchariphagus (Bojer, 1856) (Lepidoptera : Pyralidae) à l'île de la Réunion. Facteurs de régulation de ses populations et conséquences pour la lutte contre ce ravageur*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, France.
- Goebel R., Fernandez E., Tibere R. & Alauzet C. (1999). Dégâts et pertes de rendement sur la canne à sucre dus au foreur *Chilo sacchariphagus* (Bojer) à l'île de la Réunion (*Lep.: Pyralidae*). *Annales de la Société entomologique de France*, **35** (suppl.), p. 476-481.
- Goebel R., Tabone E., Karimjee H. & Caplong P. (2005). Mise au point réussie d'une lutte biologique contre le foreur de la canne à sucre *Chilo sacchariphagus* (*Lepidoptera, Crambidae*), à la Réunion. In AFPP édition, *Proceeding de la 7^e Conférence internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, France, 2005*.
- Jalali, S.K. & Singh S.P. (1992). Differential response of four *Trichogramma* species to low temperatures for short term storage, *Entomophaga* **37**, p. 159-165.

- Khosa S. S. & Brar K.S. (2000). Effect of storage on the emergence and parasitization efficiency of laboratory reared and field collected populations of *Trichogramma chilonis* Ishii. *Journal of Biological Control* **14**: 71-74.
- Kumar P., Shenhmar M. & Brar K.S. (2005). Effect of low temperature storage on the efficiency of three species of trichogrammatids. *Journal of Biological Control* **19**: 17-21.
- Laing, J.E. & Corrigan J.E. (1995). Diapause induction and Post-Diapause Emergence in *Trichogramma minutum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae): The Role of Host Species, Temperature, and Photoperiod. *The Canadian Entomologist* **127**, p. 103-110.
- Marquier M., Clain C., Tabone E., Goebel R., Roux E. (2008a). Comparative effectiveness of two release rates of the egg parasitoid *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to control the sugarcane borer in Reunion. *Proceeding XXIII International Congress of Entomology, Durban, Afrique du Sud*, p. 417.
- Marquier M., Roux E., Goebel R., Tabone E. (2008b). Lutte biologique contre le foreur ponctué de la canne à sucre : réduction de la densité et de la fréquence des lâchers du parasitoïde *Trichogramma chilonis* Ishii. In AFPP édition, *Proceedings de la 8^e Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, France*, p. 427-435.
- Marquier M., Do Thi Khanh H., Frandon J., Goebel R., Tabone E. (2011). Contrôle biologique de *Chilo sacchariphagus* Böjer à île de la Réunion : impact d'un stockage au froid sur l'efficacité au champ du parasitoïde *Trichogramma chilonis* Ishii. In AFPP édition, *Proceedings de la 9^e Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, France*, p. 466-474.
- Nadeem S., Ashfaq M., Hamed M. & Ahmed S. (2010). Optimization of Short and Long Term Storage Duration for *Trichogramma chilonis* (Ishii) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) at Low Temperatures. *Pakistan Journal of Zoology* **42** (1): 63-67.
- Pitcher S.A., Hoffmann M.P., Gardner J., Wright M.G. & Kuhar T.P. (2002). Cold storage of *Trichogramma ostrinae* reared on *Sitotroga cerealella* eggs. *Biocontrol* **47**: 525-535.
- Reay-Jones F.P.F., Rochat J., Goebel R. & Tabone E. (2006). Functional response of *Trichogramma chilonis* to *Galleria mellonella* and *Chilo sacchariphagus* eggs. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **118** (3): 229-236.
- Rochat J., Goebel R., Tabone E., Bègue M., Fernandez E., Tibère R., Gauvin J.C. & Vercambre B. (2001). Integrated control of the spotted stalk borer *Chilo sacchariphagus* Bojer (Lepidoptera, Pyralidae) in Reunion Island. In SASTA édition, *Proceeding of South African Sugar Technologists' Association 75, Mount Edgecombe, South Africa*.
- Rossi, M.M. & J. Pizzol (1997). Développement automnal et hivernal de *Trichogramma cacoeciae* et de *T. evanescens* (Hym., Trichogrammatidae), en conditions naturelles dans le midi de la France. *Journal of Applied Entomology* **121**: p. 29-36.
- Rundle B.J., Thomson L.J. & Hoffman A.A. (2004). Effects of Cold Storage on Field and Laboratory Performance of *Trichogramma carverae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and the Response of Three *Trichogramma* ssp. (*T. carverae*, *T. brassicae*, and *T. funiculatum*) to Cold. *Journal of Economic Entomology* **97** (2): 213-221.
- Rundle B.J. & Hoffmann A.A. (2003). Overwintering of *Trichogramma funiculatum* Carver (Hymenoptera: Trichogrammatidae) Under Semi-Natural Conditions. *Environmental Entomology* **32** (2): 290-298.

- Singh M., Singh A. K., Singh D.; Singh R. J. & Singh S.B. (2006). Effect of storage time on the emergence of *Trichogramma chilonis* from parasitized eggs of *Corcyra cephalonica*. *Indian Sugar* **56** (8): 21-24.
- Soula B., Goebel F.R., Caplong P., Karmijee H., Tibere R. & Tabone E. (2003). *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera : Trichogrammatidae) as a Biological Control Agent of *Chilo sacchariphagus* (Lepidoptera : Cramidae) in Reunion Island : Initial field Trials. In SASTA édition, *Proceeding of South African Sugar Technologists' Association 77*, Mount Edgecombe, South Africa.
- Tabone E., Goebel R., Lezcano N. & Fernandez E. (2002). Le foreur de la canne à sucre - Mise en place d'une lutte biologique à l'aide de trichogrammes à la Réunion. *Phytoma* **553** : 32-35.
- Tabone E. & Goebel F.R. (2005). Un nouveau développement de la lutte biologique contre le foreur de la canne a sucre. *INRA Mensuel* **122** : 12-15.
- Tabone E., Do Thi Khanh H., Roux E., Marquier M., Clain C. & Goebel R. (2008a). Mise en place d'un programme de recherche concernant la résistance au froid du parasitoïde *Trichogramma chilonis* Ishii. In AFPP édition, *Proceeding de la 8e Conférence internationale sur les Ravageurs en Agriculture, Montpellier, France*.
- Tabone E., Roux E., Marquier M., Do Thi Khanh H., Clain C. & Goebel R. (2008b). Optimising biological control of sugarcane stem borer in Reunion Island: inducing diapause or quiescence in *Trichogramma chilonis*. In ENDURE edition, *Proceeding of International conference Diversifying crop protection, La Grande Motte, France*.
- Voegelé J., Pizzol J., Raynaud B. & Hawlitzky N. (1986). La diapause chez les Trichogrammes et ses avantages pour la production de masse et la lutte biologique. *Mededelingen Gaculteit Ladbouwwetenschappen Rijksunivesiteit Gent* **51**: 1033-1039.
- Zhu D. F. & Zhang Y. H. (1987). Cold storage tolerance of *Trichogramma* developed from fluctuating temperature. *Natural Enemies of Insects* **9**: 111-114.
- Zorin P.V. 1927. A method of rearing *Trichogramma evanescens* Westwood. *Défense des plantes Leningrad* **4**: 316-319.