

## Compte rendu technique du projet « Accélération du Biocontrôle et des Agroéquipements pour la Protection Intégrée des Cultures (ABA PIC) »

Utilisation de pièges connectés pour le suivi des insectes ravageurs en productions horticoles

ITA concerné : ASTREDHOR, Astredhor Sud-Ouest

Auteurs : Emilie MAUGIN



### Objectif du projet concerné

Développer un savoir-faire de positionnement du biocontrôle sur la base du diagnostic, du monitoring et de la prévision des dynamiques des bioagresseurs et auxiliaires des cultures

### OBJECTIF(S) :

L'objectif est de disposer d'outils permettant d'améliorer le suivi épidémiologique des bioagresseurs afin de diagnostiquer de façon dynamique les équilibres biologiques dans les agrosystèmes. Les travaux sont centrés sur les pièges à connectés pour dépister les lépidoptères (approche multi-espèces) et les très petits ravageurs (thrips, pucerons, cicadelles) pour améliorer le positionnement des produits de biocontrôle.

### MATERIEL & METHODE

- **CADRE THEORIQUE & CONCEPTION**

L'objectif de cette phase du projet vient en complément d'essais réalisés dans le cadre du programme régional d'expérimentation « Outils connectés et biocontrôle » financé par la Région Nouvelle Aquitaine et du projet Casdar S@MOSA (UMT Fiorimed) sur l'utilisation de l'IA en agriculture spécialisée. Ils visent à évaluer et valider en conditions réelles des capteurs robustes pour suivre les ravageurs problématiques pour les cultures horticoles, souvent peu étudiés par les entreprises du domaine.

Si le suivi en temps réel des lépidoptères est une technologie qui émerge depuis plusieurs années, les algorithmes de reconnaissance sont encore fragiles et il est nécessaire d'éprouver les outils pour mesurer leur niveau de maturité avant une utilisation par les entreprises de production. Par ailleurs, si ces de pièges connectés couplés à des phéromones sélectives sont fiables pour piéger les mâles de papillons, de nombreux travaux restent à mener pour détecter des insectes plus petits comme les pucerons ou les cicadelles.

Après avoir développé antérieurement à ce projet un algorithme de détection fiable pour la pyrale *Duponchelia fovealis* à partir du piège CAPTRAP Vision en partenariat avec la société CAP2020, l'idée est de développer une approche multi-espèce pour ce même piège. En parallèle, nous souhaitons travailler sur la détection des très petits ravageurs sur panneaux englués jaunes, outils très utilisés par les producteurs pour estimer les ravageurs présents. Néanmoins, le comptage de ces panneaux est chronophage et nécessite un personnel formé à sa réalisation.

- **MATERIEL ET POPULATION A L'ETUDE**

Plusieurs pièges ont été testés pour suivre différents ravageurs :

. 5 Pièges CapTRap Vision (Cap2020) : suivi de la pyrale *Duponchelia fovealis* (4 pièges), de la tordeuse *Cacoecimorpha pronubana* (3 pièges), de la noctuelle *Chrysodeixis chalcites* (2 pièges). Suivi mono-

espèce ou pluri-espèces avec plusieurs phéromones dans le même piège en extérieur sur 2 sites. Détection par image basée sur la taille et la forme des insectes.

. 2 pièges CapTrap Entonnoir (Cap2020) : suivi de la tordeuse *Cacoecimorpha pronubana* (1 piège), et de la noctuelle *Chrysodeixis chalcites* (1 piège) mono-espèce avec phéromone sélective en extérieur sur 1 site. Détection par capteur basée sur l'entrée des insectes dans le piège.

. 1 piège Iscout Phéromone (Pessl Instruments) : suivi de la pyrale *Duponchelia fovealis* et de la noctuelle *Chrysodeixis chalcites*, détection pluri-espèce avec phéromone sélective en serre sur 1 site. Détection par image basée sur la taille et la forme des insectes.

. 1 système PATS-C (PATS Indoor) : suivi multi-espèces de lépidoptères (*Duponchelia fovealis*, *Chrysodeixis chalcites*, *Autographa gamma*) basé sur de l'acquisition vidéo en InfraRouge (pas de piégeage) (1 module). Les espèces sont déterminées par la taille et le comportement de vol. La destruction des espèces détectées peut se faire en complément par le système PATS-X (mini drone).

. 1 piège Iscout ColorTrap (Pessl Instruments) : suivi multi-espèces de très petits ravageurs sur piège englué (détection à la famille). Le capteur est positionné en fixe sur un chariot mobile (C@SPER Light) qui se déplace au-dessus des cultures 10 fois/jour (1 module). Détection par image basée sur la taille et la forme des insectes

. 1 piège Trap-Eye (PATS Indoor/ Biobest) : Suivi multi-espèces de très petits ravageurs sur piège englué (5 unités). Le capteur utilise une caméra positionnée en focal fixe par rapport à un panneau englué. Détection par image basée sur la taille et la forme des insectes (5 modules). Le système PATS-C sert de centrale d'acquisition des données pour transmettre l'information vers l'interface de visualisation des données.

. Des évaluations rapides ont également été réalisées avec les API proposés Natutec Scout (Koppert) et Iscout mobile (Pessl instruments) pour réaliser du comptages d'insectes sur panneaux englués directement à partir d'un smartphone.

. Enfin un travail de labélisation d'images a été réalisé avec l'interface hasty.ai pour construire des algorithmes de détection pour petits ravageurs (thrips, pucerons, cicadelles).



Figure 1 : Pièges connectés CapTrap Vision, CapTRap Entonnoir, Iscout phero et Iscout Color TRap



Figure 2 : API Natutec Scout, Système autonome de détection PATS-C et pièges connectés TRap-Eye



Figure 3 : Populations à l'étude *D. fovealis*, *C. pronubana*, *C. chalcites* et *A. segetum* et très petits ravageurs (thrips, cicadelles, pucerons)

• COLLECTE DE DONNEES & ANALYSE

Pour les lépidoptères, les données collectées sont le nombre d'individus collectés journalièrement pour les espèces mentionnées avec représentation des dynamiques de population. Ces données sont comparées aux données collectées visuellement sur l'image. Dans la mesure du possible, les problèmes de comptages observés sont analysés puis l'algorithme est corrigé quand cela est possible.



Figure 4 : Dispositif expérimental des pièges mis en place

Pour les panneaux englués, le travail a essentiellement constitué à capturer des insectes, acquérir des images en basse et Haute définition, transférer ces images pour les labéliser afin d'entraîner par Deep Learning un algorithme de prédiction. A ce jour, l'algorithme n'a pas encore été embarqué dans un outil pour évaluation.

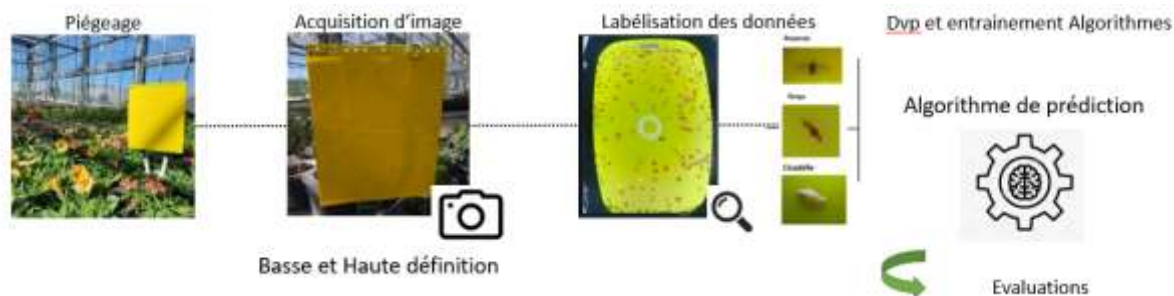


Figure 5 : Processus de collecte des données pour le développement du comptage de très petits ravageurs sur panneaux englués

## LES RESULTATS

### Utilisation des pièges connectés CapTrap Vision pour le piégeage de *Duponchelia* et *Cacoecimorpha*

A la question « Est-ce que le piégeage multi-espèces (différentes phéromones) sur un même piège est possible ? » la réponse est oui pour les 2 espèces précédemment citées. Les caractéristiques morphologiques des papillons sont différentes et les phéromones suffisamment spécifiques pour que l'imagerie permette de séparer le comptage de ces deux espèces dans un même piège. Les algorithmes de détection ont été améliorés notamment pour l'espèce *Cacoecimorpha pronubana*.

piège	N°	Site	<i>Duponchelia fovealis</i>		<i>Cacoecimorpha pronubana</i>	
			Manuel	CapTrap	Manuel	CapTrap
Vision Simple	34	PRO 2	185	163		25
Vision Multiple	121=> 361	PRO 2	20	16		263
Vision Simple	41	station	43	43		29
Vision Simple	42	station		10	745	869
Vision Multiple	43	station	28	33	497	434
Entonnoir	1233	station				
Entonnoir	1243	station				342

Figure 6 : Comparaison des effectifs cumulés par espèces selon que le comptage soit effectué manuellement ou automatiquement avec le piège

Néanmoins, l'espèce *Cacoecimorpha* sature trop rapidement la plaque engluée support de piégeage durant les phases de pics de vols. Donc le piège sentinelle mis en place s'est transformé en un pool de piège sentinelle et l'espèce a par la suite été piégée sur un piège CapTrap entonnoir pour conserver le gain économique lié à l'absence de relevé hebdomadaire des pièges.

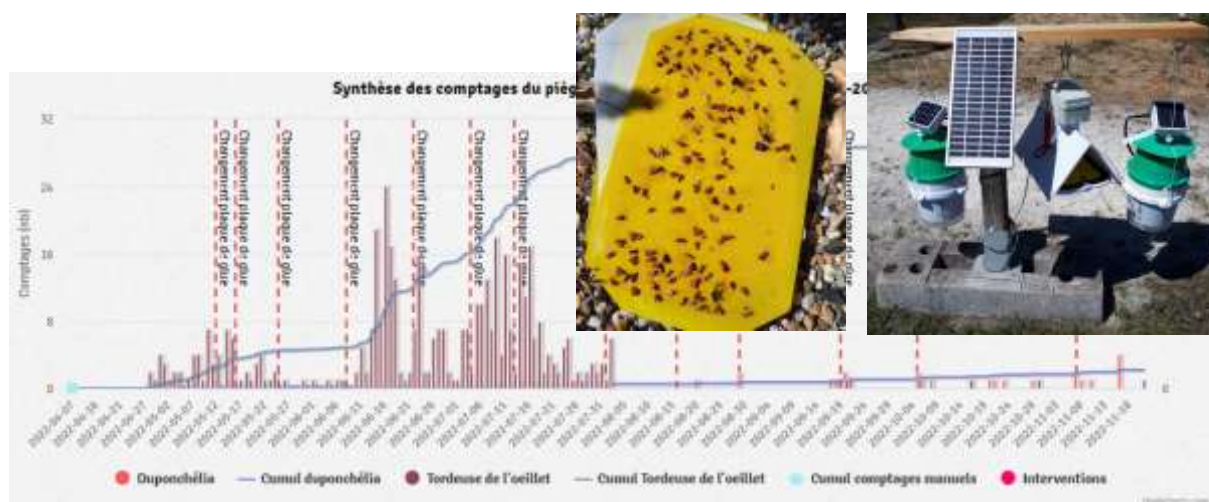


Figure 5 : Courbe d'évolution du piège Delta TRap Vision 43

- Utilisation du piège connecté Iscout phéro pour le piégeage de *Chrysodeixis chalcites*

Pour des espèces génétiquement plus proches, comme les noctuelles, les morphologies ainsi que les phéromones utilisées sont moins discriminatoires. Ainsi, dans le piège de la serre Iscout utilisé pour suivre la noctuelle *Chrysodeixis chalcites* on retrouve facilement d'autres types de papillons qui sont piégés comme *Agrotis segetum* et *Agrotis ipsilon*. Cependant, la particularité de l'algorithme de détection est ici qu'il identifie tous les insectes capturés à la famille. En fonction du niveau de précision souhaité pour positionner des interventions de biocontrôle cela peut néanmoins suffire car les produits utilisés (*Bacillus thuringiensis*, nématodes) sont plutôt ciblés au genre « Lépidoptères » (excepté les baculovirus).

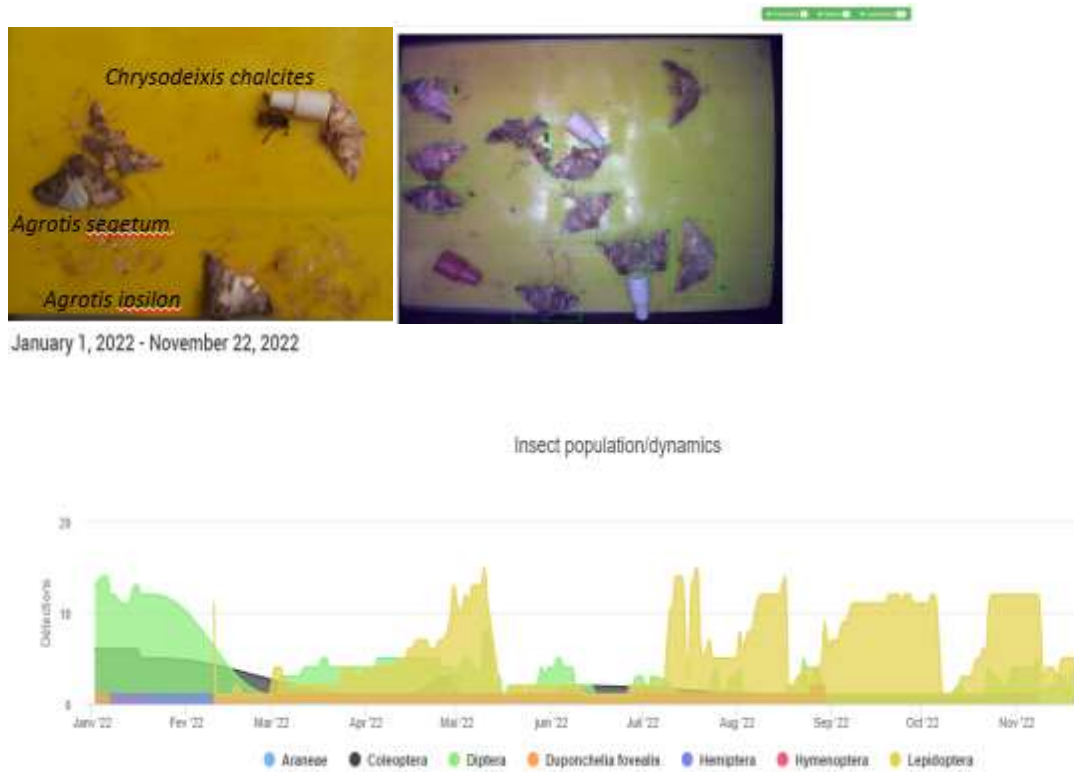


Figure 6 : Courbe d'évolution du piège Iscout Pheromone

- Est-ce que la détection multi-espèces de petits ravageurs sur panneaux englués est fiable à partir d'une API ?

Deux API en cours de développement ont été testées avec peu de succès. Si ces applications sont séduisantes par leur facilité d'utilisation (il suffit de prendre en photo de la plaque engluée sur laquelle on veut dénombrer les ravageurs piégés) dans les faits les résultats sont encore trop variables pour une utilisation en routine. L'absence de focale fixe, les nombreux modèles de smartphone ne permettent pas une prise de photo optimale pour faire travailler l'algorithme de reconnaissance. Les fournisseurs envisagent notamment de développer des panneaux englués spécifiques avec repères pour fiabiliser la prise de vue. Par ailleurs, on a peu de visibilité sur le fonctionnement et l'apprentissage des IA ce qui est souvent le cas pour les outils de ce type.

Nous avons travaillé plus spécifiquement sur le sujet avec notre partenaire CAP2020 en labélisant un grand nombre d'image afin de construire des algorithmes de prédiction pour les petits ravageurs

- Est-ce que la détection multi-espèces de petits ravageurs sur panneaux englués est fiable à partir d'un piège à focale fixe ?

- Montage du piège Iscout Color Trap sur chariot C@SPER Light (stimulation + piégeage)
- La focale de la caméra est trop éloignée du panneau englué pour avoir un comptage correct des très petits ravageurs piégés. Ce paramètre devra être réglé avec la société Pessi Instruments qui est très difficile à contacter !
- Prise de photo journalière et comptage automatisé visualisable sur Interface FieldClimate similaire à la Figure 6. A priori, l'utilisateur pourrait intégrer un nouveau ravageur et faire apprendre progressivement à l'IA pour sa détection. A revoir avec l'équipe développement.
- Faisabilité de la caractérisation multi espèces de très petits ravageurs à partir du piège CapTrap Vision

Collecte de données pour construire des algorithmes de détection pour les ravageurs pucerons, thrips, cicadelles. Intégrer cet aspect de construction des algorithmes avec CAP2020 nous a permis de mieux comprendre ce qui faisait la force d'un algorithme, sur quelle base il était construit. Trois jeux de données ont été acquis : CapTrap Vision 5Mp, Smartphone 12 Mpx et Cap Trap Vision modifié 5Mp. Au total 22 classes ont été réalisées : 8 ravageurs, 8 auxiliaires, 6 autres mais seulement 5 ont été travaillées.

Par rapport aux essais réalisés en 2021, l'augmentation du nombre de pixel de la caméra améliore les résultats du modèle de prédiction. Certaines classes d'insectes labélisées sont trop hétérogènes pour permettre une bonne précision. Par exemple, la classe parasitoïde regroupe des insectes de taille et de morphologie très variable (Ichneumon environ 1cm, taille Aphidius environ 0.5 cm). En fonction des travaux ultérieures, de nouvelles labélisations devront être réalisées.

	Effectifs 06/2021 (CapTrap Vision 5Mp)	Effectifs 11/2021 (Smartphone 12Mp)	Effectifs 05/2022 (Vision modifié 5Mp)	Précision modèle
Puceron ailé	166	65	914	92.9
Guêpe parasitoïde	63	99	210	78.1
Cicadelle	67	101	99	87.6
Thrips	318	133	228	92.1
AUTRES	165 ou 145	948 ou 902	247 ou 219	89.6

Figure 7 : Jeux de données collectés pour l'entraînement du modèle et précision des modèles obtenus

## DISCUSSION & PERSPECTIVES

- DISCUSSION METHODOLOGIQUE

Plusieurs outils sont mis en place sur la station ASTREDHOR sud-Ouest dans le cadre de l'amélioration de l'épidémiosurveillance des cultures. Ces observations servent ensuite à alimenter le BSV et à prendre des décisions dans le cadre de la gestion des ravageurs dans plusieurs de nos programmes d'expérimentations. Aujourd'hui, si plusieurs acteurs sont sur le marché du "piège connecté", il est assez complexe de connaître le niveau de maturité d'un produit vis-à-vis d'un ravageur donné. Ainsi, pour évaluer un matériel il serait bon d'évaluer 3 parties : le hardware, le software et le SAV/maintenance. Dans ce cadre, nous avons échangé avec l'équipe d'Arvalis autour de la dynamique DIGIFERME et nous questionnons pour intégrer ce type de dispositif. Le tableau suivant synthétise des remarques sur le matériel utilisé.

Outils	Description	Avantages	Limites	Retours d'expériences
CapTRap Vision	Piège delta connecté, détection image	Robuste et fiable sur plusieurs lépidoptères	Pas adapté aux noctuelles et aux fortes pression (saturation trop rapide des plaques)	SAV réactif, adaptations aux demandes utilisateurs Piégeage multi-espèces dans un même piège possible
CapTRap Entonnoir	Piège entonnoir connecté, détection entrée par double capteur	Adapté aux noctuelles et fortes pressions	Pas d'image	Bon complément du piège Vision Piégeage en pool sentinelle possible
Iscout Phéro	Piège delta connecté, détection image	Interface possède un module de calcul de degrés jours	Plus cher que concurrent	
Iscout color Trap	Caméra connectée pour comptage TPR sur panneau Détection image	Reconnaissance famille Interface ludique	Focal trop éloigné pour petits ravageurs SAV peu réactif	Montage sur chariot d'arrosage ; focal à adapter
PATS-C	Caméra IR pour détection vol lépido	Détection plus précoce que delta classique	Prix Nouveau	Mis en place fin 2022, peu de retour - A voir 2023
TrapEye	Caméra connectée pour comptage petits ravageurs sur panneau englué	Piège légers et faciles à déplacer	Surface de capture réduite Nécessite PATS-C comme centrale acquisition (30 m)	Mis en place fin 2022, peu de retour - A voir 2023 Ne détecte que les aleurodes Encore en beta test

A noter que si ces outils permettent un gain de temps et de précision important dans la collecte des données e gain économique suite à leur intégration des itinéraires de cultures doit être plus finement évalué. Ils sont à ce jour efficace dans une approche "piège sentinelle" mais seront trop couteux pour une approche piégeage de masse (environ 500 €/piège + abonnement annuel).

Dans cet optique de réduction des coûts une approche multi-espèces par piège à vocation à se développer. Cet essai a montré la faisabilité (plusieurs phéromones et donc espèces détectées par

piège) mais aussi les limites (saturation rapide des plaques, interaction entre phéromones d'espèces proches) d'un piégeage multi-espèces. Une amélioration de la connaissance des substances contenues dans les attractifs phéromonaux seraient souhaitable.

Concernant la détection d'insectes plus petits, les travaux sont plus récents et la fiabilité de détection des modèles algorithmiques embarqués dans les pièges est moins fiable. Des solutions opérationnelles sont en cours de commercialisation dont la fiabilité reste à éprouver en fonction de l'insecte visé. Deux approches sont constatées : les API, plus faciles d'utilisation et les pièges "sentinelles" des cultures en focal fixe. Aujourd'hui, les indicateurs restent à construire pour une utilisation en production (nombre de ravageur/séquence de temps en fonction du contexte culturale, faune auxiliaire associée). Par ailleurs, ses solutions intègrent ou vont intégrer des "plateformes" plus complètes ou d'autres informations pourront être renseignées (notations sur plantes, apports d'auxiliaires, traitements)

## **PERSPECTIVES**

Les applications de surveillance (repérage insectes, maladies, adventices, estimation de rendement) des parcelles agricoles toutes filières végétales confondues sont l'axe le plus développé en agriculture numérique avec l'objectif d'embarquer des outils dans des systèmes autonomes. Aujourd'hui, la taille des insectes détectés diminue et le nombre de familles détectés s'agrandit au gré des projets des développements des entreprises Agro-Tech.

Des améliorations des outils existant consistent essentiellement sur la partie fiabilité des algorithmes de détection et pour cela il faut acquérir de grande quantité d'image pour les insectes à suivre. Des bibliothèques d'images pour ce type d'outils pourraient être créées. D'autres part, si la détection des ravageurs est encore le sujet principal, les insectes auxiliaires pourraient également être détecté pour vérifier leur implantation dans une culture suite à la mise en place d'une bande fleurie ou suivre des ratios ravageurs/biorégulateurs associés dans une serre.

Deux appels à projets européens ont été récemment déposés : des consortiums sont-ils en train de se monter autour de cette thématique avec l'ACTA et les autres ITA ?

HORIZON-CL6-2023-GOVERNANCE-01-16: Digital technologies supporting plant health early detection, territory surveillance and phytosanitary measures

HORIZON-CL6-2024-BIODIV-01-2: Digital for nature