

Compte-rendu technique du projet CapTrap Arbo

Résumé

Face aux différentes résistances des papillons ravageurs des cultures et à l'évolution de leurs cycles de développement, et compte tenu des dégâts importants qu'il peuvent engendrer, il est plus que jamais nécessaire d'intensifier leur monitoring. Des solutions de suivi connecté existent sur le marché. Ce projet a réuni un fournisseur de pièges à ravageurs connecté (Cap 2020) et des acteurs de la production arboricole (CEHM, SERFEL, CENTREX, Cofruid'Oc, Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie, Chambre d'agriculture des Pyrénées orientales). Les objectifs étaient de porter les travaux de Cap 2020 sur la noctuelle de la tomate avec son piège à détection de mouvement et analyse sonore, sur les principaux lépidoptères ravageurs des cultures de pêcher, pommier et châtaigner. A terme, le projet devait aller jusqu'à l'amélioration d'un modèle de développement des ravageurs. Un dispositif expérimental a été mis en place sur 3 ans pour le suivi et la validation des captures sur des pièges en vergers et l'identification de la signature sonore des papillons. Des méthodes de prototypage rapide et un process d'amélioration continu a permis de proposer des adaptations de la forme des pièges dans le but d'optimiser les captures. Malgré cela, les très faibles taux de captures en année 2 n'ont pas permis d'arriver jusqu'à la proposition d'un modèle de développement. Le projet s'est orienté en dernière année vers l'optimisation de la capture des ravageurs cibles dans des pièges entonnoirs modifiés. Le projet n'a donc pas permis d'aboutir à un modèle de piège connecté satisfaisant pour le suivi des populations en verger. Cependant, une porte reste ouverte du côté d'un piège qui utiliserait la vision artificielle pour la reconnaissance et le comptage des individus.

Contenu de ce document

A. Rappel de l'expérimentation.....	2
B. Dispositif expérimental - Analyse sonore.....	6
C. Dispositif expérimental - Suivi de populations à la parcelle et résultats.....	22
D. Analyse et ouverture.....	31

A.Rappel de l'expérimentation

Contexte

En production de pommes, et tout particulièrement dans le sud-est de la France, le carpocapse, *Cydia Pomonella*, est le principal bioagresseur auquel doivent faire face les arboriculteurs. Il y a encore 15 ans, le développement de résistance du papillon aux principales familles chimiques avait entraîné des dérives importantes de la lutte chimique. Depuis, des techniques de lutttes alternatives, en particulier la confusion sexuelle et le virus de la granulose, ont permis de revenir à une situation plus satisfaisante. Pourtant la durabilité de ces systèmes repose sur une surveillance importante de l'évolution des dynamiques de population. Les contrôles se font sur les attaques sur fruits, mais aussi à partir de piégeage de papillons. Le suivi de ces dynamiques de vols est particulièrement important pour initialiser et/ou recalibrer les modèles en cours de saison. Ces suivis s'avèrent souvent insuffisants en raison de leur lourdeur. En effet, les relevés devraient être réalisés deux fois par semaine pour un secteur climatiquement homogène. Dans la pratique trop peu de zones sont représentées et les relevés pas toujours réalisés de façon régulière. Ceci entraîne une imprécision dans les sorties des modèles qui peut nuire à la pertinence du conseil technique.

En production de pêches-nectarines voire d'abricots tardifs et de pommes, la tordeuse orientale du pêcher (TOP), *Grapholita molesta*, peut également occasionner des dégâts parfois très importants. Sur pêcher, ce lépidoptère s'attaque le plus souvent d'abord aux jeunes pousses puis, lorsque les fruits se développent, ils occasionnent des piqûres semblables à celles du carpocapse sur la pomme. La confusion sexuelle est également le moyen de lutte privilégié contre ce ravageur et est largement utilisée depuis plus de 20 ans.

Cependant, des compléments chimiques s'avèrent parfois nécessaires et sont plus difficiles à positionner que pour le carpocapse : aucun modèle n'est validé à ce jour, aucun système de piégeage efficace en verger confusé n'est disponible. Seul le suivi de parcelles de référence non confusées permet de connaître la dynamique de vol des papillons, ce qui implique une surveillance lourde et difficile.

En vergers de châtaigniers, le carpocapse du châtaignier, *Cydia splendana* occasionne des dégâts très importants dans les châtaignes à la récolte, jusqu'à 60 voire 80% suivant les années, pour certaines variétés en Languedoc-Roussillon. De plus, avec l'arrivée dans les vergers de la région, du cynips du châtaignier (*Dryocosmus Kuriphilus*) qui limite le nombre de pousses productives, les quelques châtaignes présentes sont d'autant plus attaquées par une population de carpocapse qui est en concurrence pour son alimentation. Quelques vergers de hauteur modeste et facilement mécanisables sont traités chimiquement mais la plupart des producteurs attendent des solutions biotechniques adaptées à leurs vergers constitués principalement de grands arbres situés sur des pentes. Différentes pistes sont en cours de tests : trichogrammes, confusion sexuelle, infra-doses de sucres. Un réseau régional de parcelles de référence fait l'objet d'un suivi hebdomadaire du vol de carpocapse et de l'évolution des attaques dans les fruits depuis plusieurs années. Ces données obtenues grâce à ce lourd suivi, permettent de mieux connaître la biologie du ravageur et de réaliser les bulletins de surveillance des végétaux (BSV) châtaignier permettant de positionner au mieux les traitements suivant les variétés. Certaines sont attaquées dès que les premiers papillons sont capturés, d'autres seulement à partir du pic de vol. Un premier modèle de prévision est en cours d'élaboration (projet Bio castanea piloté par Invenio démarré fin 2015). Dans la phase de validation du modèle, ces observations

régionales permettront d'adapter et paramétrer le modèle pour les conditions climatiques, variétales et de pression du ravageur dans la région.

En synthèse, pour ces trois lépidoptères ravageurs de vergers du Languedoc-Roussillon, un suivi précis des populations est un défi technique important :

- pour le calage des modèles quand ceux-ci existent,
- pour la validation de modèles à créer ou en cours,
- pour un positionnement le plus ciblé possible des interventions chimiques quand elles sont nécessaires en complément de la lutte biologique.

Dans la pratique, la lourdeur des suivis de terrain est un frein important à un suivi optimal. Du fait de l'importance des déplacements nécessaires, le nombre de piège suivis est limité et la fréquence des visites est souvent insuffisante.

Objectifs et étapes de travail

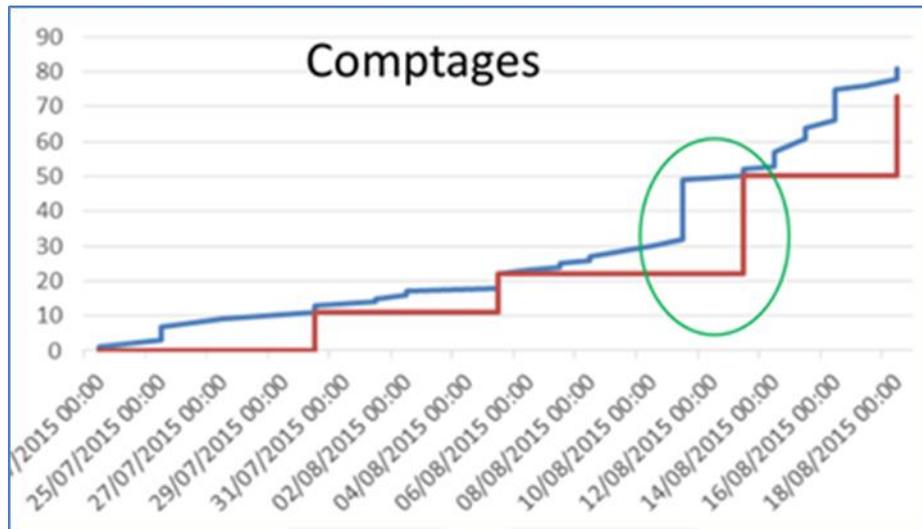
L'objectif est d'aboutir à un piège connecté dédié aux principales tordeuses des arbres fruitiers : le carpocapse de la pomme et la tordeuse orientale du pêcher.

Les travaux des différents organismes en matière de piégeage, de connaissance du ravageur ou de matériel connecté seront mobilisés, et permettront d'améliorer les acquis actuels pour atteindre cet objectif.

Etapes prévues :

1. Caractériser la signature sonore du carpocapse et de la tordeuse orientale du pêcher. Cette étape va consister à capturer les insectes, réaliser les enregistrements de vol et définir la signature spectrale utilisable, développer l'algorithme et l'intégrer dans le micro-ordinateur du capteur.
2. Valider et adapter, le cas échéant, le capteur de mouvement aux espèces étudiées.
3. Tester les pièges Captrap en vergers de production / comparer aux piégeages obtenus avec les pièges delta, référence actuellement utilisée (manuel, sans transmission automatisée des données). L'évaluation va consister à suivre dans le temps la population d'insectes d'intérêt avec deux types de réseau de pièges à phéromone répartis sur un territoire agricole donné :
 - a. un réseau de pièges classiques non automatiques et non connectés,
 - b. un réseau de pièges CapTrap.

La finalité du suivi n'est pas de comparer deux à deux les pièges positionnés côte à côte mais de comparer sur un territoire agricole donné les informations nécessaires à la prise de décision pour la lutte contre les insectes cibles c'est-à-dire les pics de vol comme le montre la figure ci-après :



Courbe rouge : suivi avec opérateur, **courbe bleu** : suivi temps réel des pièges automatiques connectés.

4. Evaluer l'intérêt technique et économique des pièges CapTrap :
 - a. Obtenir une courbe d'évolution de la population en temps réel pour déclencher les avertissements agricoles le plus précisément possible
 - b. Etudier les conséquences économiques du nouveau système

+ **Hors projet proprement dit :**

5. Contribuer au paramétrage d'un modèle « *cydia splendana* » adapté aux réalités régionales (variétés, forte pression, longueur du vol...)

Contribuer au développement d'un modèle TOP : comparaison des sorties de modèles expérimentaux avec les données de piégeage.

Calendrier

Le calendrier fixé au début du projet a été le suivant :

	CEHM	SERFEL	CENTREX	CRA LRMP	CAP 2020	OP pomme	CA 66	Prestataire informatique
année 1	Repérage et choix des parcelles à suivre : pour la TO, choisir des vergers hors confusion. Pour le pommier, il sera possible de travailler avec des kairomones, donc les parcelles peuvent être en confusion sexuelle.			Récupération de larves hivernantes de <i>Cydia splendana</i>	Fourniture des pièges et participation à la pose (tests de communication, etc)	Première année de suivi des 2 types de pièges Rythme: 2 visites par semaine Période: de début avril à fin septembre NB: pour cette première année seule sera fonctionnelle la partie comptage par capteur de mouvement		Développement de l'interface de visualisation (cartographie)
	Pose des pièges Captrap et des pièges de référence (Delta + plaque engluée) Chaque parcelle sera équipée avec les deux pièges. Chaque semaine les emplacements seront inversés pour éviter les effets de zone. Les deux pièges seront équipés avec les mêmes capsules attractives.				Travail sur les fréquences de vol spécifique du carpocapse de la pomme et de la tordeuse orientale du pécher			
	Analyse des résultats, comparaison aux données de modélisation (quand disponibles)				Adaptations des pièges en fonction des résultats obtenus			
année 2	Pose des pièges Captrap et des pièges de référence (Delta + plaque engluée) Chaque parcelle sera équipée avec les deux pièges. Chaque semaine les emplacements seront inversés pour éviter les effets de zone. Les deux pièges seront équipés avec les mêmes capsules attractives.			Repérage et choix des parcelles à suivre Pose du matériel selon le même protocole que sur les autres tordeuses	Travail sur les fréquences de vol spécifique du carpocapse du châtaigner	Seconde année de suivi des 2 types de pièges Rythme: 2 visites par semaine Période: de début avril à fin septembre		
année 3	Analyse des résultats, comparaison aux données de modélisation (quand disponibles) Synthèse générale Communication, diffusion			Première année de suivi des 2 types de pièges Rythme: 2 visites par semaine Période: de mi-juillet à mi-octobre	Publication des résultats sur la signature sonore spécifique des trois tordeuses	Troisième année de suivi des 2 types de pièges Rythme: 2 visites par semaine Période: de début avril à fin septembre		

Ce calendrier a été globalement suivi. Les premiers piégeages ont commencé comme convenu dès l'année 1. En année 2, une nouvelle version des pièges connectés a été fournie. Les résultats de capture décevants en année 2 ont conduit à modifier les plans d'action en fin d'année et pour la 3^{ème} année. Durant cette dernière année, de nombreuses variations de formes du piège entonnoir ont été testées tant dans leur version connectée que non connectée.

Chacune des 3 années a été organisée de la même manière :

- Début de saison (mars) : identification des parcelles d'intérêt, réunion de lancement, rappels des suivis d'expérimentation, proposition des derniers ajustements, puis fourniture du matériel.
- Milieu de saison (avril -> septembre) : suivi actif des pièges, collecte automatisée et manuelle des résultats, améliorations continues et retours à chaud.
- Fin de saison (octobre novembre) : analyse des résultats, proposition d'améliorations et réunion de clôture.

B. Dispositif expérimental mis en place - Analyse sonore

Ce document vise à dresser un premier bilan des expérimentations réalisées dans le cadre du projet CapTrap Arbo. Ce dernier a pour objectif de participer à l'adaptation d'un piège automatique aux principaux ravageurs des arbres fruitiers afin d'améliorer le suivi des populations et les stratégies de luttes.

Table des matières de l'analyse sonore

1.	Contexte et objectif	6
2.	Matériel et méthodes	6
1.	Bibliographie	7
2.	Le dispositif CapTrap : détection des papillons	7
3.	Le banc son : analyse de la fréquence de battements d'ailes	8
4.	Les ravageurs considérés	Erreur ! Signet non défini.
1.1.	Papillon	9
1.1.1.	Méthode de calcul de la fréquence de battement d'ailes	9
1.1.2.	Résultats	10
1.2.	Dispositif	11
1.2.1.	Analyse sonore (2015)	11
1.2.2.	Analyse de la fréquence de battement d'ailes sur des technologies optiques	12
2.	Mise en place : conception d'un « banc son »	12
2.1.	Matériel de mesure	12
2.1.1.	Capteur son (analogique)	13
2.1.1.	Capteur laser (analogique)	14
2.1.2.	Capteur IR 2016 (digital)	15
2.1.3.	Capteur IR 2017 (digital)	15
2.1.4.	Analyse vidéo 240	15
2.2.	Code d'acquisition et limites engendrées par le matériel	15
2.3.	Papillons étudiés	16
2.4.	Protocole de mesure	16
2.5.	Données produites	16
2.6.	Analyse effectuée	17
3.	Résultats	17
3.1.	Fonctionnement du banc son	17
3.1.1.	Perte du signal analogique	17
3.1.2.	Bruits engendrés par manipulations	17
3.1.3.	Capteurs sans signal apparent	17
3.1.4.	Non déplacement du papillon	17
3.2.	Améliorations du banc son	18
3.3.	Fréquences identifiées – traitement du signal	18
3.4.	Analyse vidéo 240	20
3.5.	Bilan	20
3.5.1.	Comptage capteur	20
3.5.2.	Ouverture	21

1. Contexte et objectif

Dans le cadre de ce projet, le travail s'effectue sur trois lépidoptères : carpocapse de la pomme, tordeuse orientale du pêcher et carpocapse du châtaignier. L'objectif est d'identifier la fréquence de battement d'ailes de chacune des espèces afin d'en extraire la « signature sonore ». Différentes techniques d'analyse vont donc être testées pour identifier une technique d'analyse du signal permettant de discriminer un papillon parmi un autre.

Afin d'optimiser les performances de capture et de comptage, deux expérimentations sont menées en parallèle actuellement :

- Etudes en laboratoire sur les différents ravageurs pour l'analyse de la fréquence de battement d'ailes via différentes techniques d'analyse du signal,
- Expérimentation en culture avec l'installation de pièges CapTrap (piège à entonnoir connecté de Cap2020) dans les cultures concernées chez les différents partenaires du projet afin d'étudier la détection des ravageurs. Ici les pièges sont essentiellement réglés en fonction de la taille des papillons.

2. Matériel et méthodes

Bibliographie

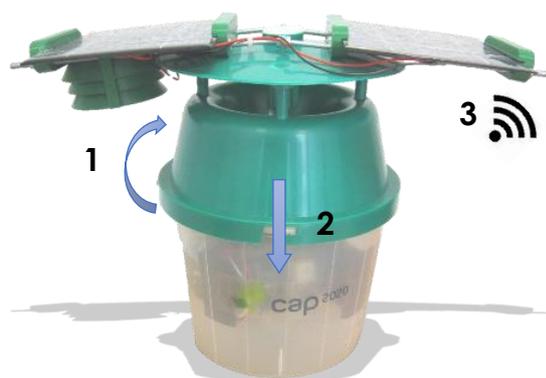
Une étude bibliographique préliminaire a été menée sur deux axes majeurs :

- La recherche d'informations pour chaque ravageur concernant leur comportement et leurs caractéristiques,
- L'identification de différents moyens permettant la détermination de la fréquence de battements d'ailes des papillons.

L'objectif de ces recherches étaient de mieux connaître les ravageurs sur lesquels porte l'étude ainsi que d'identifier des outils et méthodes à mettre en place pour une meilleure analyse.

Le dispositif CapTrap : détection des papillons

CapTrap, piège intelligent et connecté, permet le comptage en temps réel des insectes ravageurs et l'automatisation du suivi. Ce dispositif a été conçu en équipant un piège entonnoir à phéromone avec un capteur électronique afin de compter automatiquement les insectes entrant dans le piège.



- 1- Entrée de l'insecte attiré par la phéromone
- 2- Détection par le capteur intelligent
- 3- Envoi des comptages et des données météo par réseau bas débit

Figure 1 : Fonctionnement du dispositif CapTrap

Grâce à la phéromone et à la discrimination des autres insectes par l'analyse de mouvement, seul l'insecte cible est comptabilisé. Ce dispositif autonome, localisé par GPS et connecté permet ainsi de suivre les captures effectuées dans les pièges à distance sans avoir à effectuer de relevés manuels. Pour un suivi performant, un système d'alerte et une interface web accompagnent l'utilisation des pièges. L'interopérabilité de la solution permet l'intégration des données issues des pièges CapTrap dans un système d'informations ou un OAD (Outil d'Aide à la décision) existant.

CapTrap bénéficie des SMV® (Station Météo Virtuelle) de Cap2020. Les données de comptage d'insectes peuvent ainsi être associées à des données climatiques et des prévisions à la parcelle. Ce couplage permet une anticipation du développement des ravageurs et un conseil adapté aux conditions locales.

CapTrap a été développé dans le cadre d'un projet R&D sur la noctuelle *Helicoverpa armigera* en tomate plein champ. En 2016, Cap2020 a expérimenté le système sur d'autres ravageurs et différentes cultures avec la mise en place d'une cinquantaine de pièges dans diverses conditions chez une quinzaine d'utilisateurs. Aujourd'hui, ce dispositif est utilisé dans le projet CapTrap Arbo pour capturer et compter les trois ravageurs étudiés.

Les ravageurs et leur conservation

Carpocapses de la pomme :

- 15aine de chrysalides livrées
- Séparées en 2 lots pour échelonner les métamorphoses : la moitié a été placée au frigo
- La seconde moitié (du frigo) a pu vivre plus longtemps : elle a servi à faire les acquisitions. 4 papillons au total, et 3 chrysalides mortes.

Les chrysalides (puis papillons) sont placées dans une boîte chauffée et éclairée (période de 12h de jour, puis nuit non chauffée) afin de les maintenir dans des conditions les plus optimales possibles.



Figure 2 : Boite contenant un ventilateur, une sonde de température ainsi qu'un éclairage réglable permettant la conservation des papillons

Le banc son : analyse de la fréquence de battements d'ailes

Au regard de la bibliographie, nous avons décidé d'analyser plus précisément la fréquence de battement d'ailes du papillon au moyen de divers capteurs, pas uniquement sonores.

1.1. Papillon

Référence :

POTAMITIS I, RIGAKIS I. (2014) THE ELECTRONIC MCPHAIL TRAP. PEERJ PREPRINTS 2 : e510v1

- La fréquence de battements d'ailes des insectes se situe pour beaucoup d'entre eux entre 100 et 1000 Hz.
- Généralement la fréquence est inférieure à 300 Hz mais quelques exceptions existent (très rares).

1.1.1. Méthode de calcul de la fréquence de battement d'ailes

La fréquence de battements d'ailes dépend de la surface des ailes et de la masse du papillon, elle peut être calculée.

Référence :

DEAKIN, M. A. B. (2010). FORMULAE FOR INSECT WINGBEAT FREQUENCY. JOURNAL OF INSECT SCIENCE, 10, 96. [HTTP://DOI.ORG/10.1673/031.010.9601](http://doi.org/10.1673/031.010.9601)

Formule utilisée pour le calcul :
$$f = \frac{317 \times \sqrt{M}}{S}$$

Avec : f la fréquence en Hz M la masse en g S la surface des ailes en cm²

Pour calculer la fréquence, la masse des papillons a été mesurée et la surface de leurs ailes calculée :

- Mesure de la masse : utilisation d'une balance précise à 0,0001 g.

- Calcul de la surface des ailes : les ailes des papillons sont assimilées à des triangles pour calculer leur surface. Chaque papillon possède de chaque côté, une « grande » aile et une « petite » aile. Les mesures ont porté sur les ailes d'un seul côté pour calculer la surface puis ces surfaces ont été multipliées par deux pour avoir la surface totale des quatre ailes du papillon. Une règle numérique précise au centième de mm a été utilisée pour mesurer la longueur de chaque côté des ailes. Même si cette règle est précise, un biais opérateur est aussi présent ici. Trois papillons ont été ici utilisées pour effectuer ces mesures et les valeurs obtenues ont été moyennées dans le but d'obtenir une surface d'ailes moyenne d'un carpopapse.

Ainsi, le biais le plus important dans le calcul provient des mesures effectuées sur les ailes des papillons. Cette méthode, un peu approximative, peut tout de même permettre de discriminer des insectes entre eux en calculant leur fréquence de battements d'ailes (par exemple entre papillon et mouche), mais pourrait aussi permettre de discriminer des papillons entre eux s'ils sont assez différents en taille.

1.1.2. Résultats

Trois papillons morts ont été pesés et les masses obtenues sont les suivantes :

0,0052 g - 0,0098 g - 0,0071 g

Un effet de dessèchement est sûrement présent et influe sur la masse du papillon, diminuant son poids par rapport à la réalité. D'autres pesées devront donc être effectuées avec d'autres papillons. Au vu de ces résultats, nous estimerons donc la masse d'un papillon moyen à **0,0075 g** pour le moment.

A partir des mesures effectuées sur les ailes des trois mêmes papillons, la surface moyenne des ailes d'un carpopapse est estimée à environ : **0,33 cm²**.

En prenant ces valeurs, la fréquence de battement d'ailes d'un carpopapse est d'environ :

$$f = 83.9 \text{ Hz } +/- 14.9 \text{ Hz.}$$

L'incertitude autour de cette valeur provient essentiellement de la corrélation existante entre masse du papillon et surface des ailes, mais aussi de la mesure de la surface des ailes selon un logiciel de calcul d'incertitudes (gum_mc) utilisé pour étudier la sensibilité du résultat.

Les incertitudes fournies au logiciel (qui dépendent des mesures effectuées) pour le calcul de sensibilité sont :

- +/- 0.0001 g pour la masse
- +/- 0.05 cm pour les mesures des côtés des ailes

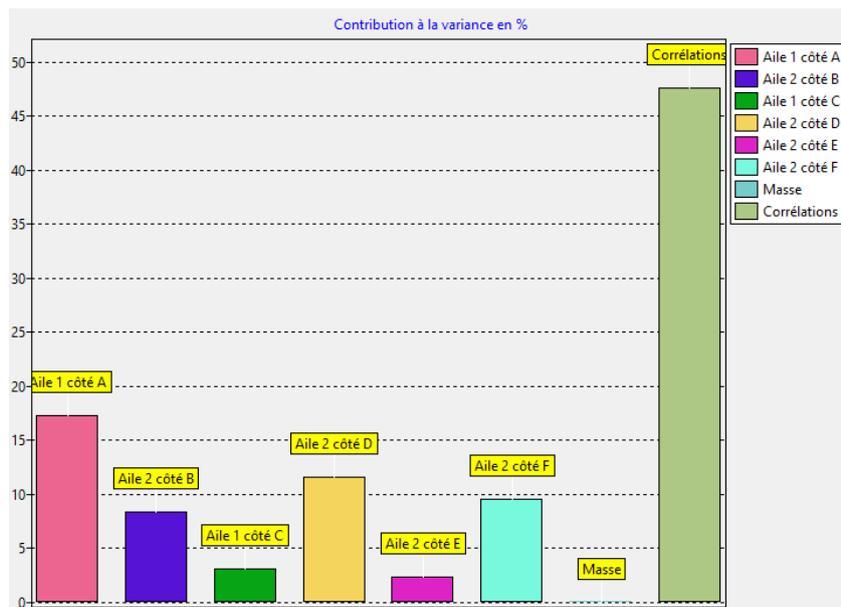
La formule utilisée dans le logiciel est la suivante :

$$F = \frac{317 \times \sqrt{m}}{2 \times \left(\sqrt{\left(\frac{a+b+c}{2} \right) \times \left(\frac{a+b+c}{2} - a \right) \times \left(\frac{a+b+c}{2} - b \right) \times \left(\frac{a+b+c}{2} - c \right)} \right) + 2 \times \left(\sqrt{\left(\frac{d+e+f}{2} \right) \times \left(\frac{d+e+f}{2} - d \right) \times \left(\frac{d+e+f}{2} - e \right) \times \left(\frac{d+e+f}{2} - f \right)} \right)}$$

Avec : F la fréquence en Hz

a, b et c les longueurs des 3 côtés de la grande aile (Aile 1)

d, e et f les longueurs des 3 côtés de la petite aile (Aile 2)



Importance des facteurs sur la variabilité du résultat final selon le logiciel utilisé, l'« Aile 1 » correspondant à la grande aile et l'« Aile 2 » à la petite aile intérieure.

Même si cette méthode de calcul est un peu approximative et que le résultat est influencé par les mesures effectuées, le résultat obtenu pour la fréquence de battements d'ailes du carpocapse est cohérent avec les ordres de grandeur trouvés dans la bibliographie.

La valeur trouvée sert d'indication mais il est possible que la fréquence de battements d'ailes réelle soit en dehors de l'intervalle prédit par l'analyse de sensibilité. Une réserve quant à la valeur trouvée ici est à conserver et l'analyse du papillon dans le banc son permettra de confirmer ou d'infirmer cette valeur.

1.2. Dispositif

1.2.1. Analyse sonore (2015)

Suite du projet MCube :

Référence :

SOUND BASED DETECTION OF MOTHS IN OPEN FIELDS, BOUHLEL, F. ET AL. 2013

Le projet de recherche MCube a identifié la signature sonore du papillon en 2013. Fréquence sonore identifiée pour noctuelle tomate = fondamentales située entre 40 et 100Hz.

La noctuelle est discriminée parmi 17 autres espèces en utilisant la fondamentale et deux harmoniques.

Dispositif mis en place en 2015 :

Lors d'un passage, un microphone est activé. Le microcontrôleur effectue des transformées de Fourier sur des séquences sonore courtes et calcule les fréquences fondamentales et deux harmoniques. Si les fréquences coïncident avec des plages de fréquences correspondant à la noctuelle de la tomate, le papillon est dit « reconnu ». Le dispositif reconnaissant bien les différentes fréquences connues envoyées via un casque audio, et validait les bandes son de la noctuelle de la tomate enregistrées en 2013. Il excluait d'autres sons parasites (cigales, tracteur,...), par contre, il était assez sensible au son du vent.

Ce dispositif n'a pas été déployé sur le terrain opérationnellement. Il a toutefois donné lieu à une poursuite du travail dans l'équipement des pièges classiques en pièges connectés.

1.2.2. Analyse de la fréquence de battement d'ailes sur des technologies optiques

Parti du constat que le son du papillon est essentiellement produit par la fréquence de battement d'ailes de l'insecte, on estime qu'il est possible de voir cette fréquence au moyen de capteurs optiques.

FLYING INSECT CLASSIFICATION WITH INEXPENSIVE SENSORS, YANPING C. ET AL. 2014

Une matrice de photorécepteurs opposée à un faisceau lumineux permet de capturer du signal lors du vol des insectes. L'objectif est d'utiliser des technologies à bas coût pour caractériser différents individus à partir de leur fréquence de battement d'ailes. L'utilisation d'une matrice de photorécepteur permet d'obtenir du signal durant une période de vol assez longue (d'abord du signal sur les premiers récepteurs, puis sur les suivants jusqu'à ce que le papillon sorte du champ).

2. Mise en place : conception d'un « banc son »

2.1. Matériel de mesure

L'idée est de mesurer la fréquence de battement d'ailes et d'analyser le passage du papillon dans le tube au moyen de différents capteurs :

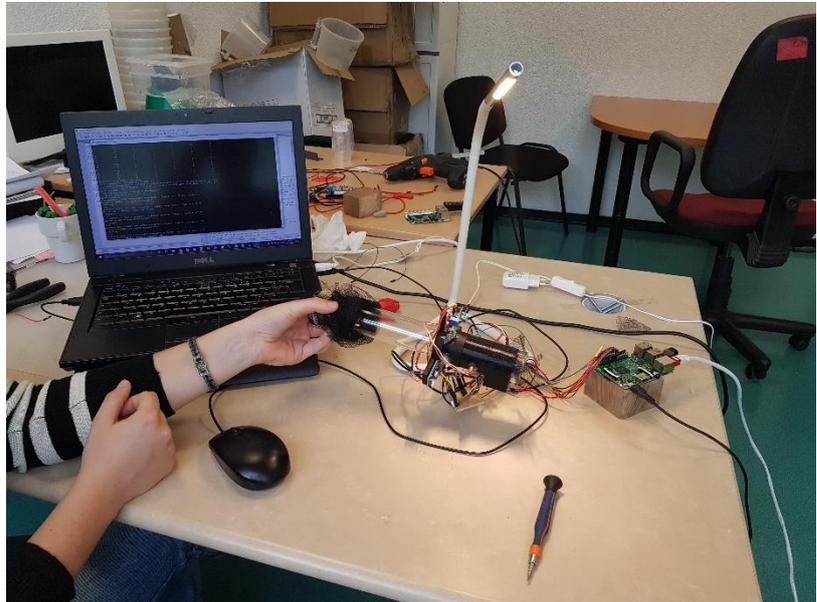
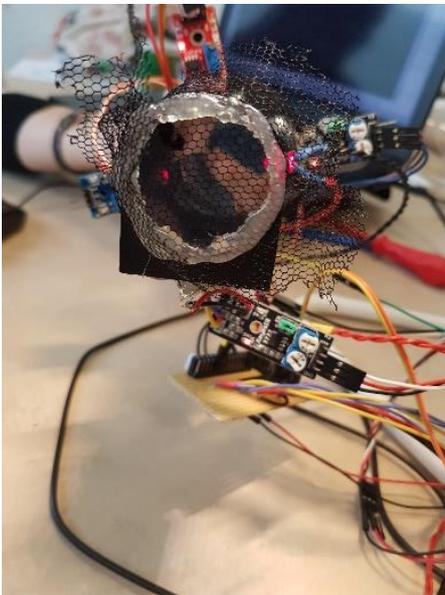
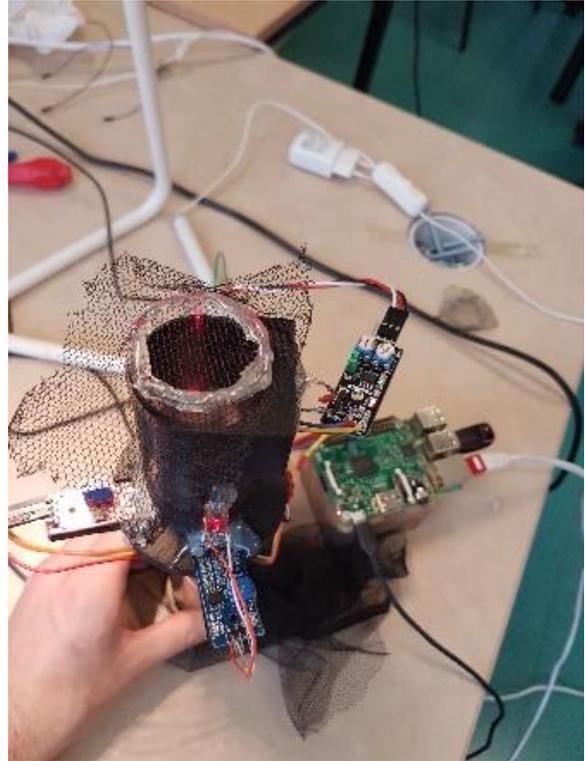
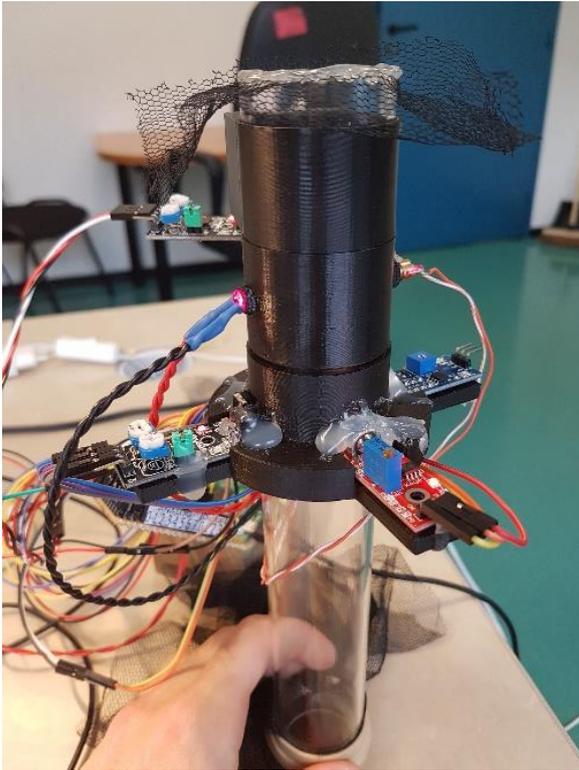
- Sonore
- Visuels (caméra 240 images/seconde)
- Analyse d'un signal réfléchi (sur le papillon) : signal infrarouge dérivé de ce qui est actuellement utilisé pour CapTrap
- Analyse d'un signal transmis : signal laser

Les capteurs digitaux permettent d'obtenir un signal carré. Les capteurs analogiques sont beaucoup plus riches en informations, mais aussi beaucoup plus sensibles au bruit.

Le papillon chute dans un tube qui contient tous ces capteurs côtes à côtes. L'acquisition de données se fait lors du passage du papillon.

L'unité d'acquisition est un Raspberry Pi 3 modèle B. N'étant équipé que de capteurs digitaux (GPIO), un CAN (MCP3008) a été ajouté au dispositif. Il permet via le bus PI d'acquérir un signal analogique et de renvoyer numériquement l'information.

L'ensemble des capteurs sont placés autour d'un tube en PMMA clair (92% de transmission dans le visible et le PIR d'après sa datasheet). Le tube a été percé pour les microphones et le laser.



2.1.1. Capteur son (analogique)

Deux types de microphones sont utilisés :



Le « micro rouge » qui est un module dit « haute sensibilité » pour Arduino. Il est composé d'un microphone électret d'un amplificateur dont le gain est ajustable via un potentiomètre 25 tours (plus précis).



Le « micro bleu » qui est un module de moins bonne qualité pour Arduino. Il est composé d'un microphone électret d'un amplificateur dont le gain est ajustable via un potentiomètre.

➔ Ce microphone n'a pas encore été testé.

2.1.1. Capteur laser (analogique)

Ce capteur est une conception originale. Il consiste à analyser un faisceau lumineux transmis sur une voie analogique. Le signal d'une diode laser rouge 5mW (émetteur), est envoyé sur une diode rouge 5mm qui, classiquement utilisée pour émettre de la lumière si elle reçoit une tension, peut générer une tension faible si elle reçoit de la lumière. La tension générée est alors mesurée sur la voie analogique. L'avantage que cela présente est le suivant :

- Si un objet « translucide » (taux de transmission de lumière $<100\%$ et $>0\%$) occulte le faisceau, le signal sera fonction de l'opacité
- Si on objet opaque (taux de transmission de lumière = 0%), coupe le faisceau, le signal sera fonction du pourcentage de faisceau coupé et nul si le récepteur est occulté.

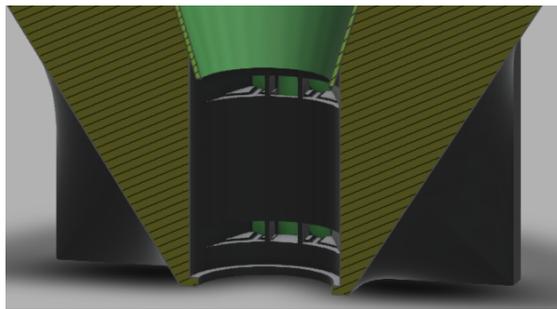
Remarque : la diode rouge 5mm classique a été choisie car elle présente une vitesse de décharge, lorsque le faisceau est coupé, plus rapide que les autres récepteurs testés (du type : photorésistance, LED IR 1W,... qui présentaient l'avantage d'avoir des niveaux de réponse plus élevés, plus de tension produite, mais qui se déchargeaient moins vite).

2.1.2. Capteur IR 2016 (digital)



Capteur du commerce installé sur les CapTrap 2016. Il envoie un signal IR à une fréquence de 38kHz, le signal est reçu par le récepteur uniquement si un objet se trouve suffisamment proche. Il est possible de régler cette distance grâce à l'un des deux potentiomètres.

2.1.3. Capteur IR 2017 (digital)



Pour pallier aux faibles performances sur certains papillons du capteur 2016, le capteur a été entièrement conçu pour 2017. Il permet de mieux détecter les petits papillons (notamment en doublant les LED émettrices et en cloisonnant mieux les éléments). Ce capteur est appelé IR2017. Il reste réglable pour les besoins du banc son.

2.1.4. Analyse vidéo 240

L'objet de cette étude est l'observation de la fréquence de battement d'ailes du papillon. Une vidéo a donc été prise à 240 images par secondes pour essayer d'estimer cette fréquence. Selon le théorème de Shannon, on pourra estimer une fréquence de battement d'ailes à moins de 120Hz.

Cette analyse est complémentaire au banc son. Le logiciel utilisé est avimeca.

2.2. Code d'acquisition et limites engendrées par le matériel

Le code développé permet d'acquérir simultanément jusqu'à 3 voies analogiques et 3 voies digitales. Les valeurs sont acquises sans délai, le plus rapidement possible. L'échantillonnage est limité par deux phénomènes :

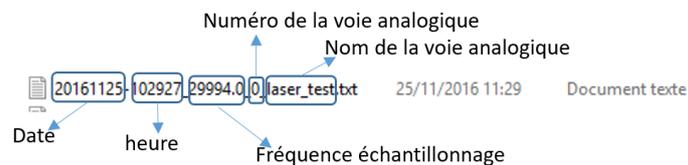
- Le temps d'interrogation des voies digitales (temps de mesure des GPIO)

- Le temps d'interrogation de la puce MCP3008 est beaucoup plus long car toutes les voies analogiques passent par un seul bus SPI. La puce a été alimentée en 5V pour diminuer au maximum la vitesse d'interrogation sans trop dégrader la qualité de la mesure analogique. Il est possible de modifier ce réglage.

La fréquence d'acquisition dépend donc quasi-uniquement du délai nécessaire à l'interrogation des voies analogiques. Le nombre de capteurs analogiques a donc été diminué à 2 ou 1 simultanément(s) selon les besoins. Il est toujours possible d'obtenir des signaux d'une voie après l'autre, l'acquisition est juste plus longue.

La fréquence d'échantillonnage est comprise entre 8kHz et 29kHz. Selon le théorème de Shannon, elle permet dans le pire des cas de traiter des signaux compris en dessous de 4000Hz (ce qui est déjà bien supérieur à la fréquence de battement d'ailes des papillons).

Le programme acquiert des séquences de taille connue (200 000 valeurs) « le plus vite possible », le délai de ces séquences est variable. Par conséquent la fréquence d'échantillonnage est indiquée dans le titre du fichier.



2.3. Papillons étudiés

2.4. Protocole de mesure

Le papillon est placé dans le tube, puis le tube refermé. Soit on déclenche l'acquisition puis on bascule le tube pour faire tomber le papillon devant les capteurs, soit le tube est déjà basculé puis on secoue le tube ou on pousse le papillon pour qu'il tombe devant les capteurs.

Cette méthode n'est pas idéale car elle génère beaucoup de bruits pour les capteurs microphones et laser.

Le papillon a aussi tendance à se réfugier dans les zones du capteur qui sont les plus sombres et ne plus bouger.

2.5. Données produites

Sur ce premier papillon, environ 400 fichiers de données ont été produits. Ils font entre 140ko et 1Mo.

Environ 1/3 des fichiers ne présente pas de signal exploitable car le papillon n'a pas bougé durant la période d'acquisition. Dans les fichiers qui sont exploitables, une grande majorité du signal ne voit pas passer le papillon (sauf s'il reste accroché devant un capteur en particulier).

Des fichiers « blanc » (sans papillons) ont été acquis en guise de témoin négatif. Ils permettent d'affirmer que ce que l'on interprète comme signal n'est pas dû aux mouvements et manipulations du tube durant l'analyse.

2.6. Analyse effectuée

Il s'agit pour l'instant plus d'un nettoyage des données que d'une analyse

1. Observation des données globales
2. Identification des types de problèmes qui peuvent survenir
 - a. Coupure du signal analogique
 - b. Bruit généré lorsqu'on secoue le tube
3. Identification de fréquences propres aux capteurs utilisés
4. Isolement des séquences d'intérêt (signal utile car passage du papillon)
5. Analyse de signal sur ces séquences d'intérêt
 - a. fft

3. Résultats

3.1. Fonctionnement du banc son

Liste de problèmes :

3.1.1. Perte du signal analogique

Un problème non identifié crée parfois des décrochages de la puce MCP3008 lors des acquisitions. L'ensemble de signaux passent alors à 0 pour les capteurs son et laser.

3.1.2. Bruits engendrés par manipulations

Bruit important sur certains capteurs :

- Capteur LASER : bruit non identifié provoqué par un mauvais retour à la masse. Le capteur initialement assez performant s'est dégradé et n'a pas permis l'acquisition en fin de session
- Capteurs microphones : chaque manipulation crée du bruit. Le signal étant déjà assez faible, il sera sans doute très difficile d'entendre voler le papillon. Les traitements son n'ont pas encore été terminés sur cette partie car un peu plus complexes à mettre en œuvre que le signal IR.

3.1.3. Capteurs sans signal apparent

Les capteurs sons ne semblent pas présenter de signal intéressant. Les manipulations effectuées sur le tube pour faire circuler le papillon devant les capteurs peuvent aussi provoquer des signaux sonores dissimulant le signal intéressant.

3.1.4. Non déplacement du papillon

Des « zones de confort » pour les papillons ont été créées de façon non voulue dans le tube servant aux acquisitions. Les capteurs ont été placés de tel sorte que les papillons allaient tous se loger au même endroit et qu'il était par la suite difficile de les faire voler. Cela engendre aussi le fait qu'il est

difficile de faire passer le papillon devant tous les capteurs car il reste préférentiellement dans une zone. Un espacement des capteurs sur le banc son a donc été testé et il semblerait que le papillon ait été plus mobile durant les acquisitions.

3.2. Améliorations du banc son

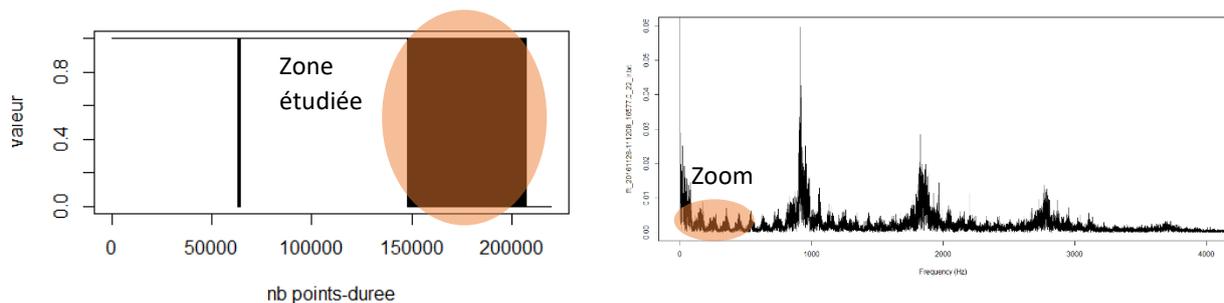
L'ensemble de ces points seront à corriger avant une autre acquisition du signal afin qu'on puisse tirer le maximum des capteurs présents.

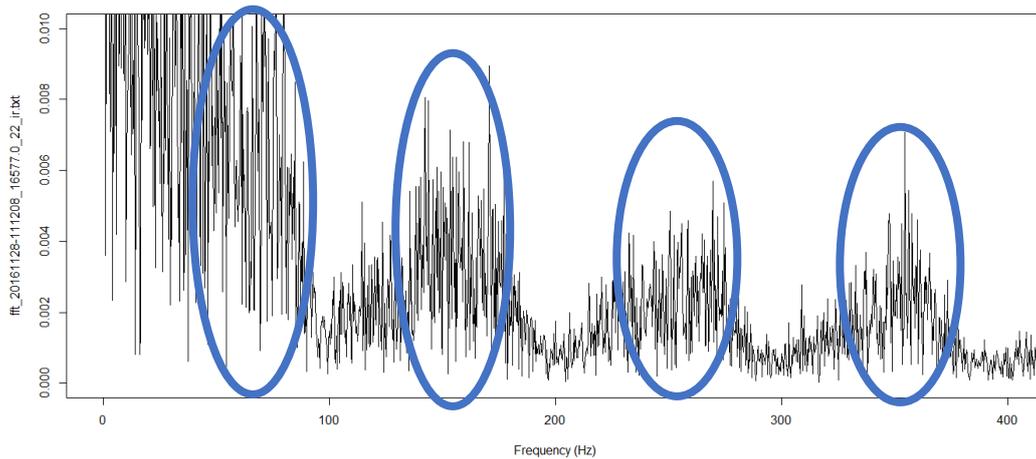
- Filtrage électronique des hautes fréquences (condensateur qui vont créer un filtre passe-bas)
- Amélioration de la stabilité électrique
- Identification du problème de masse
- Identification de l'origine des coupures du signal analogique
- Mise en place d'une méthode pour limiter l'agitation du banc son lors des acquisitions
- Meilleure répartition des capteurs sur le banc son pour ne pas générer d'endroits que le papillon ne voudrait pas quitter

3.3. Fréquences identifiées – traitement du signal

Sur l'ensemble des capteurs, c'est le capteur IR2016 qui semble donner le plus de signal utile pour traiter la fréquence de battement d'ailes du papillon. Le LASER est aussi très prometteur, mais son niveau de bruit n'a pas permis d'interpréter le signal. Par ailleurs, des fréquences autour de 100 Hz et 300 Hz semblent être spécifiques au laser, ceci gêne également la lecture et l'analyse des signaux.

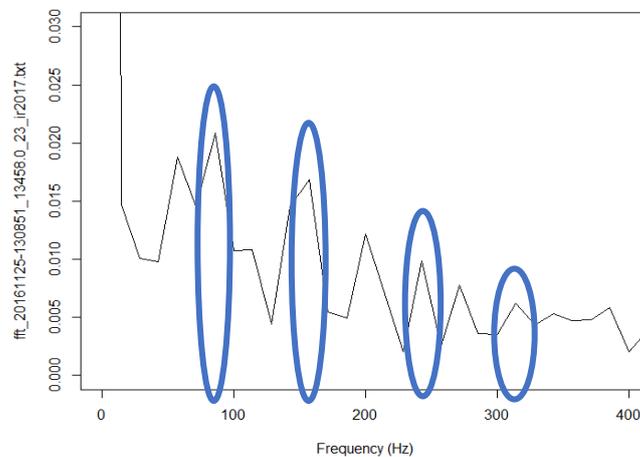
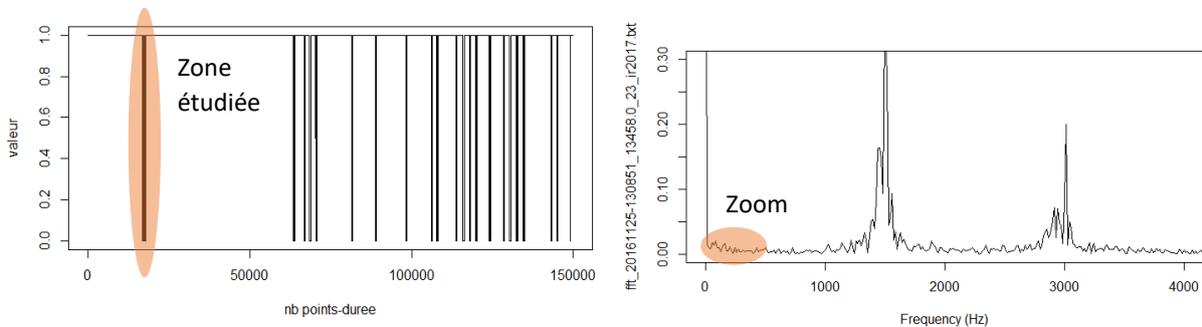
Résultats obtenus lors d'une acquisition avec l'IR2016 :





- Fréquences très importantes autour de 900, 1800 et 2700 Hz → Fréquence fondamentale autour de 900 Hz mais fréquence trop élevée pour être le papillon. Par ailleurs un des pics de fréquence autour de 1000, 2000 et parfois 3000 Hz apparaissent sur la quasi-totalité des signaux IR (2016 et 2017). Ces fréquences n'apparaissent pas avec les autres capteurs, nous avons supposé qu'elles étaient spécifiques à l'IR. La valeur étant cependant bien au-dessus d'une fréquence de battement d'ailes possibles, elles n'entravent pas l'analyse des résultats.
- Apparition de pics de fréquence autour de : 90, 180, 270, 360 Hz → Surement une fréquence fondamentale autour de 90 Hz qui est suivie par ses harmoniques.
- 90 Hz = fréquence de battement d'ailes du papillon ?

Résultats obtenus avec un IR2017 :



- Grands pics de fréquence toujours autour de 1500 et 3000 Hz → sûrement dû à l'IR
- Quelques pics autour de 80, 160, 240 et 320 Hz semblent pouvoir être discernés ici aussi → fréquence de battements d'ailes vers 80 Hz ?

3.4. Analyse vidéo 240

Des vidéos ont été prises d'un papillon dans la boîte dans laquelle nous les conservons. Nous connaissons la fréquence à laquelle les images sont acquises et en faisant défiler les images une par une nous pouvons compter le nombre de battements d'ailes (périodes) sur un nombre d'images.

A partir des vidéos étudiées, une fréquence entre 45 et 55 Hz a été mesurée sur plusieurs échantillons d'images concernant le battement d'ailes des papillons.

Ceci est en dessous des valeurs identifiées précédemment, que ce soit le calcul théorique ou l'analyse des signaux IR. Il est cependant possible que l'on voit l'aile passer deux fois devant le faisceau et que les fréquences identifiées avec les IR soient le double de la réalité.

Des études complémentaires vont donc devoir être menées pour déterminer précisément la fréquence de battements d'ailes du carpocapse.

3.5. Bilan

3.5.1. Comptage capteur

Un dispositif CapTrap équipé du nouveau capteur infrarouge a été utilisé pour tester la détection du carpocapse lors de son passage dans le piège à entonnoir. Deux séries d'acquisitions ont été menées avec des papillons vivants et morts. Lors de leur chute dans le piège, les papillons battent légèrement des ailes ralentissant légèrement leur chute. Les papillons morts tombent quant à eux beaucoup plus rapidement et de façon totalement linéaire (sauf rebond sur une paroi). Pour chaque papillon, 10 passages devant le capteur ont été réalisés.

Résultats :

- 1^{ère} série d'acquisitions : 1 papillon vivant et 2 papillons morts

Le papillon vivant est tombé 10 fois dans l'entonnoir en voletant et il a été détecté lors de tous ses passages. Il est néanmoins tombé une fois en chute libre et n'a pas été détecté.

Les autres papillons étaient petit et clair, et gros et foncé. 10 passages devant le capteur ont été initiés et dans les deux cas 7 passages sur 10 ont été détectés.

- 2^{ème} série d'acquisitions : 1 papillon vivant et 1 papillon mort

(Lors de cette expérimentation, le papillon toujours vivant était faible et a moins battu des ailes lors de sa chute dans le piège à entonnoir).

10 passages pour chaque papillon ont aussi été réalisés ici, le papillon vivant a été détecté 7 fois sur 10 et l'autre papillon 8 fois sur 10.

Il est important de noter que les carpocapses possèdent une couleur légèrement foncée pouvant entrainé un frein à la détection par infrarouge, or ici, que le papillon soit clair ou foncé il est détecté de la même façon, il n’y aura pas donc à priori pas de problème à ce niveau-là.

D’après les résultats énoncés ci-dessus la détection du papillon par le dispositif CapTrap a été assurée, mais une influence de l’état du papillon est à noter. En effet, une meilleure détection est constatée lors de battements d’ailes durant la chute du papillon.

D’autres séries d’acquisitions devront donc être menées pour confirmer ces résultats, affiner la détection mais aussi pour étudier le vol du papillon lors de son passage dans le piège, par exemple en filmant ses déplacements.

3.5.2. Ouverture

Différentes fréquences ont été identifiées concernant la fréquence de battements d’ailes du papillon dont une est environ le double de l’autre :

- Entre 45 et 55 Hz sur les vidéos
- Autour de 80 – 90 Hz par le calcul et l’acquisition de données à partir des IR

D’autres expérimentations sur d’autres papillons vont donc devoir être effectuées afin de déterminer précisément cette fréquence de battements d’ailes. Des tests sont aussi actuellement effectués avec des IR pour mesurer la fréquence d’un objet connu pour voir si l’on mesure bien la fréquence de l’objet.

Il est également important de noter que le papillon ne passe pas toujours devant le capteur en battant des ailes, ou ne passe pas à un endroit du capteur permettant de détecter son battement d’ailes. Il va de plus être nécessaire de déterminer la façon dont le papillon tombe dans le piège, en effet s’il vole vraiment comme pour un déplacement ou s’il ne bat que légèrement des ailes comme pour amortir la chute, les fréquences ne seront pas forcément tout à fait les mêmes.

L’utilisation d’un insecticide qui affaiblit le papillon permet d’augmenter la chute des papillons dans le piège, cependant cela pourrait également affecter le vol du papillon.

C.Dispositif expérimental et résultats - Suivi de populations à la parcelle

Un plan d'expérimentation a été mis en place sur les 3 ans. La première année a permis de mettre en place des dispositifs connectés et non connectés, et des dispositifs d'analyse vidéo et sonore afin de confirmer ou non les comptages visuellement. En seconde année, tous les pièges ont été livrés et disposés par les différents organismes chargés du suivi.

Les pièges ont été installés en réseau mixte pièges classiques et connectés.

Nombre de pièges installés :

- 2016 : 4 pièges connectés installés, doublé par des dispositifs d'acquisition vidéo
- 2017 : 28 pièges installés sur les 30 prévus, parc mis à jour en cours de saison avec des pièges nouvelle génération
- 2018 : 30 pièges installés tous en nouvelle génération.

Protocole de relevé de pièges connectés suivi dans la saison

Un réseau maillé connecté/classique.

Des relevés hebdomadaires sur l'ensemble du réseau.

Les données du réseau connectés sont comparées aux données relevées sur ces mêmes piège sur l'interface en ligne.

Les pièges n'intègrent pas la signature sonore en attendant de l'identifier.

Les spécifiées de chacune des années ainsi que leurs résultats sont présentés ci-après.

Année 1

Lieux des pièges

Position
Renseignez les paramètres de latitude et longitude, ou utilisez la carte à droite

Carte interactive
Clic droit sur la carte pour poser un marqueur



Carcopapse du pommier
CEHM
43° 37.979'N
4° 9.742'E

Position
Renseignez les paramètres de latitude et longitude, ou utilisez la carte à droite

Carte interactive
Clic droit sur la carte pour poser un marqueur



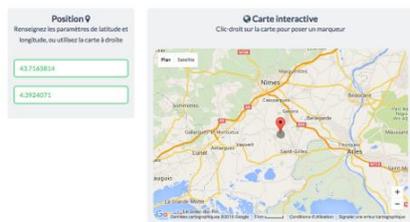
Carcopapse du Châtaigner :
CRA LRMP
Lieu-dit "les Ars" commune de Combes, à la sortie de [Lamalou les bains](#) (34)
43°36'54.16" N
3°04'16.37" E



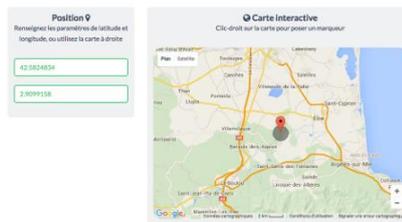
Réseau SIGFOX
La couverture du réseau est de 100%



Réseau SIGFOX
La couverture du réseau est de 54%



Tordeuse orientale
du pêcheur
SERFEL
43.716571
4.4077173



Tordeuse orientale du pêcheur
CA 66
Commune de Palau Del Vidre
42°34'23.6"N
2°56'06.6"E

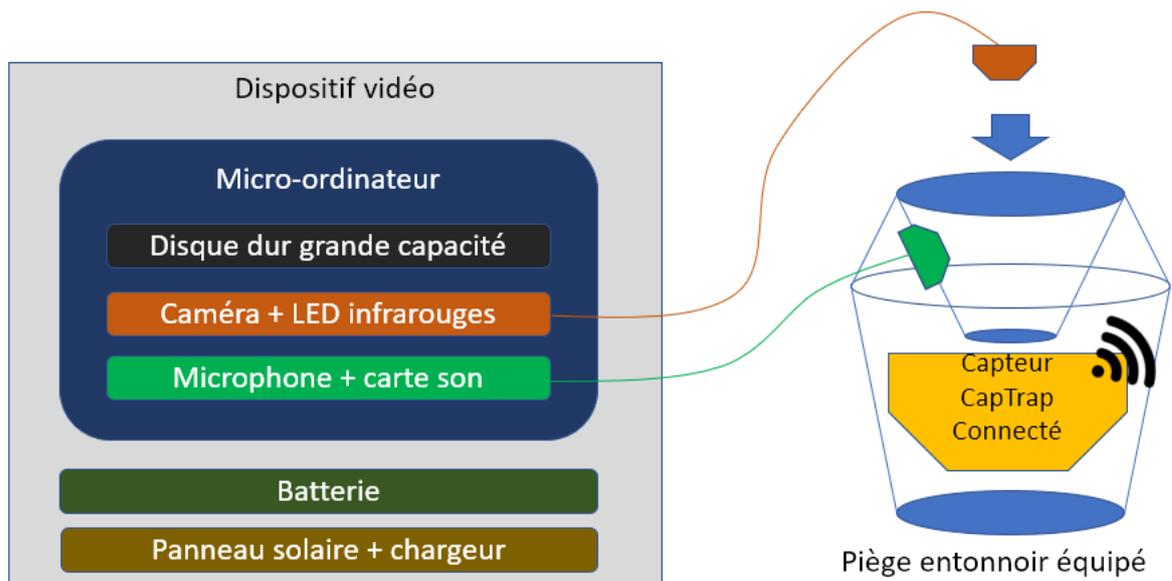


Dispositif vidéo

Des dispositifs de suivi vidéo ont été ajoutés en première année avec plusieurs objectifs :

- valider que les comptages automatiques correspondent bien à des papillons cibles,
- acquérir des données comportementales sur les papillons et comprendre les écarts par rapport au comptage automatique
- acquérir des données sonores dans l'optique d'amorcer les travaux sur l'analyse de fréquence sonore.

Un dispositif vidéo se compose des éléments suivants :



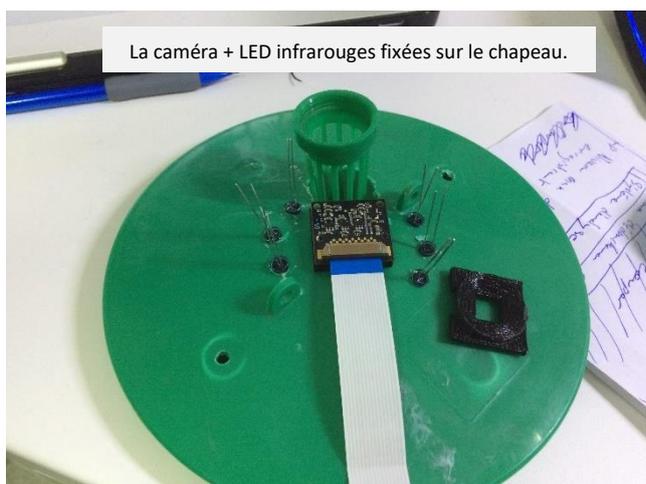
Quelques images des dispositifs :



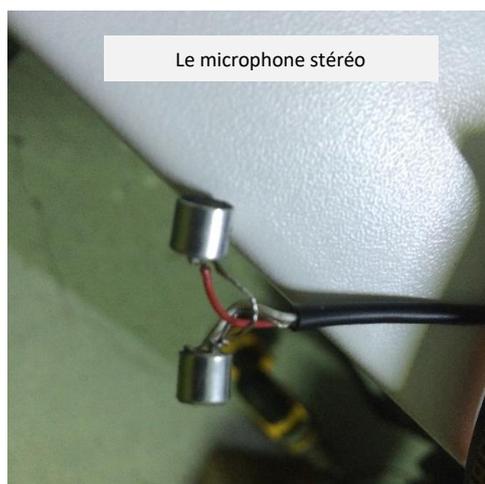
Les 4 dispositifs allumés



De gauche à droite : l'ordinateur, alimentation et carte son, puis disque dur.



La caméra + LED infrarouges fixées sur le chapeau.



Le microphone stéréo

Résultats de l'analyse vidéo

Les très faibles captures n'ont permis d'identifier les ravageurs correspondants. En effet, il n'est pas arrivé qu'un papillon ait été mis en adéquation avec une capture dans le piège. On note ainsi la présence de nombreux faux-comptages sur les pièges dans leur version 2016. Ce comportement est corrigé avec la carte électronique dans sa version industrielle.

Les dispositifs vidéo n'ont pas été réinstallés en année 2, la priorité ayant été mise sur la maximisation des captures dans les pièges entonnoirs.

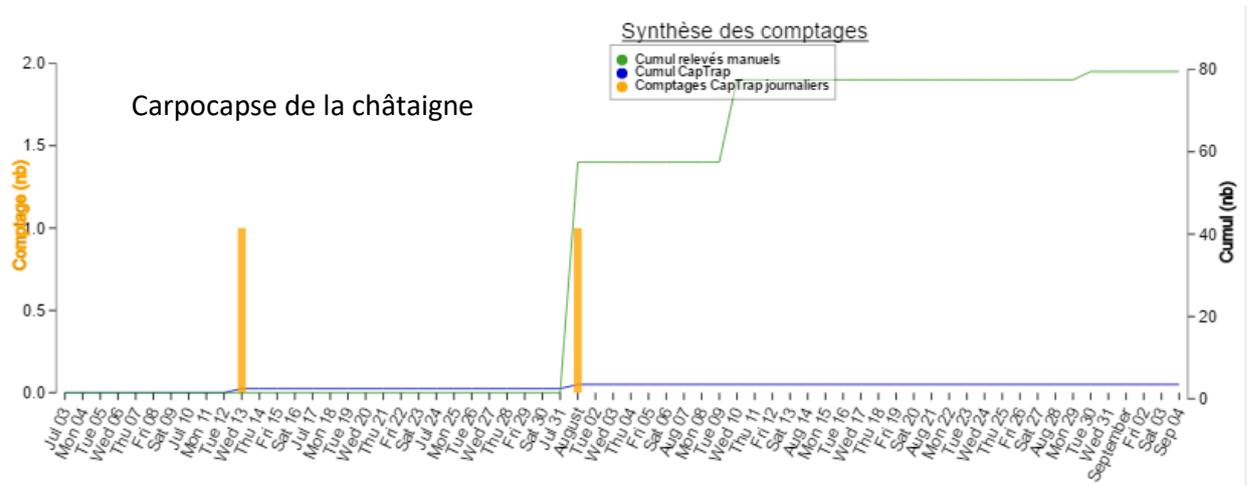
Résultats des comptages automatisés

A l'issue de la première saison de piégeage, une différence fondamentale apparaît entre l'expérimentation CapTrap Arbo, et les résultats obtenus sur le réseau CapTrap classique. Les détecteurs de 2016 présentent deux défauts majeurs :

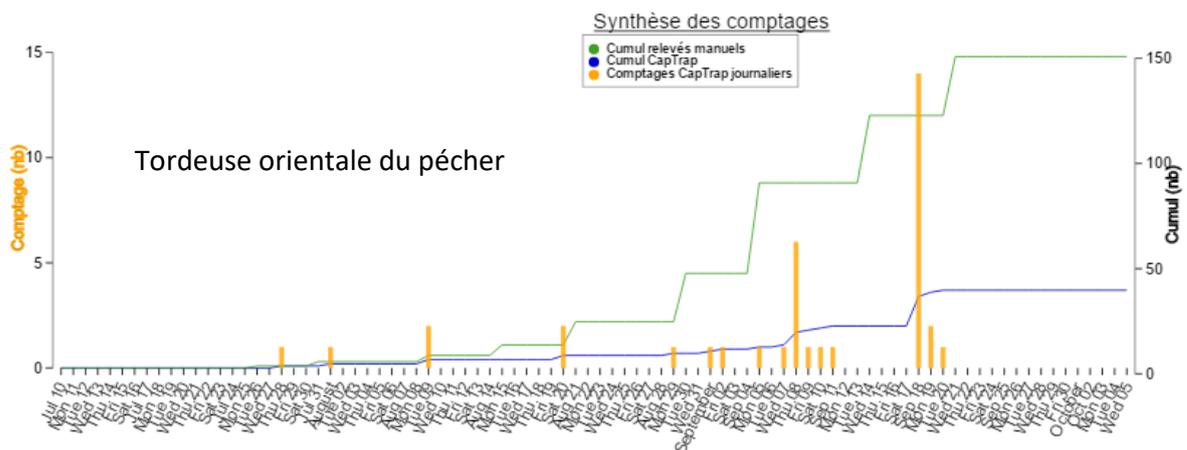
- ils peuvent entrer en faux comptages
- ils manquent de sensibilité pour les petits individus.

Ce manque de sensibilité implique une non détection des petits ravageurs.

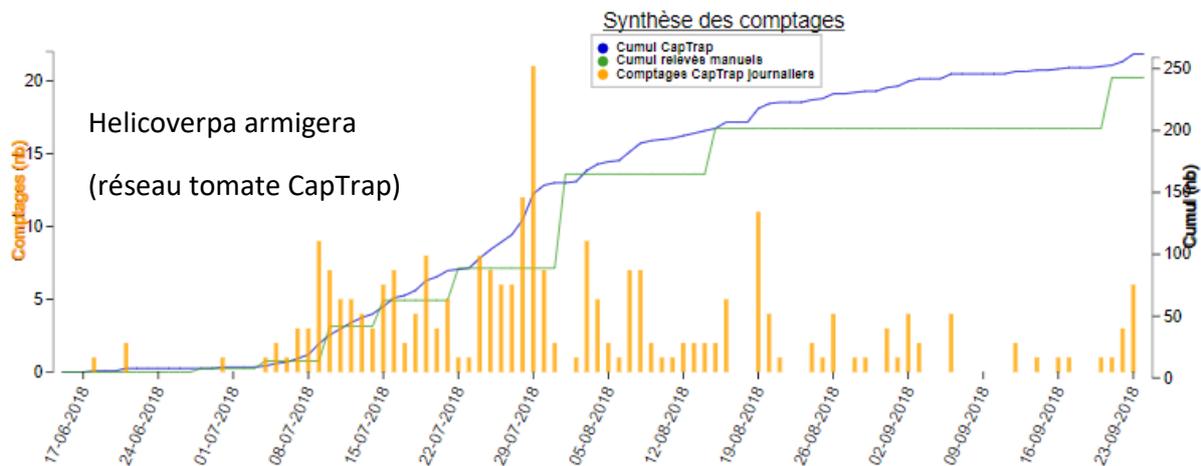
On voit sur la courbe ci-dessous que le pic de vol des carpocapses de la châtaigne a été entièrement loupé.



Sur la courbe de capture de la tordeuse orientale, on loupe également les principaux pics de vols pour un cumul en fin de saison de 40 papillons comptés en automatique, contre plus de 150 captures dans le piège.



Par comparaison, les courbes que l'on peut obtenir avec la noctuelle de la tomate ne montrent pas ces défauts ; ce qui peut s'expliquer à la fois par le comportement du papillon dans le capteur et sa taille.



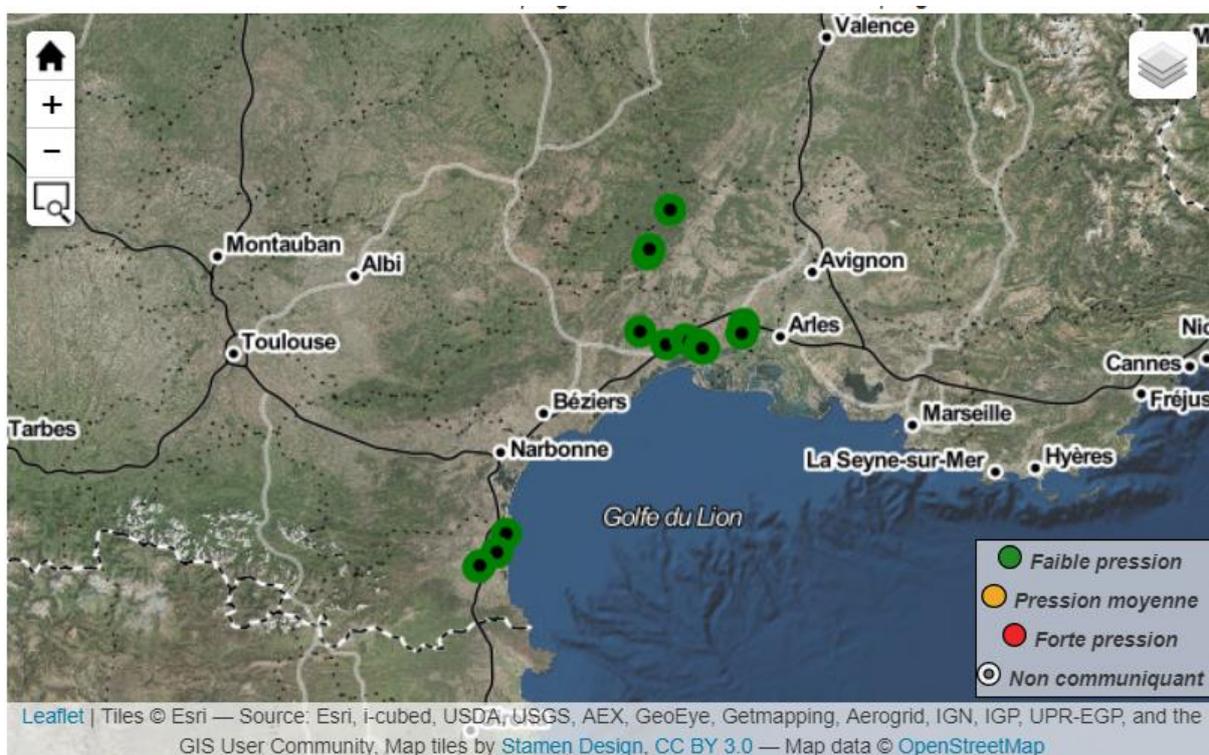
Année 2

En année 2, la quasi-totalité des pièges (27) sont mis en place dans les différents organismes. Certains possèdent la nouvelle génération de détecteurs.

Les pièges delta sont placés en double de pièges entonnoirs afin de comparer la performance des deux pièges.

Lieux

Carte d'installation en mai 2017 :

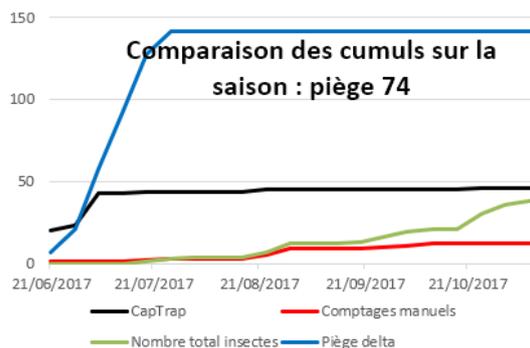
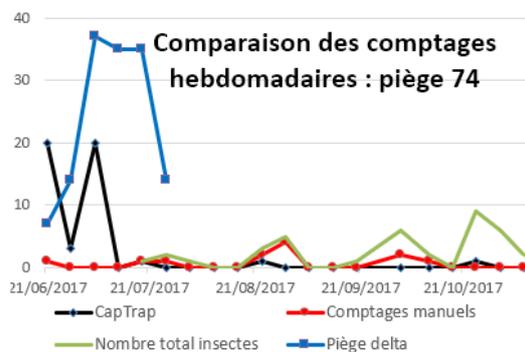
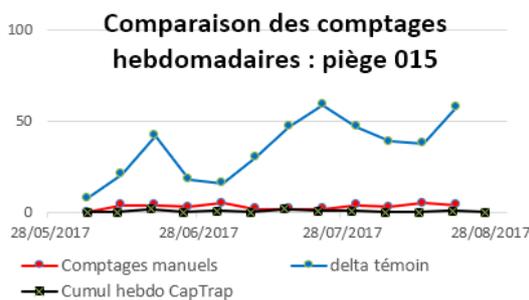


Résultats de pigeages 2017

Suivi du carpocapse de la pomme et de la tordeuse orientale du pêcher

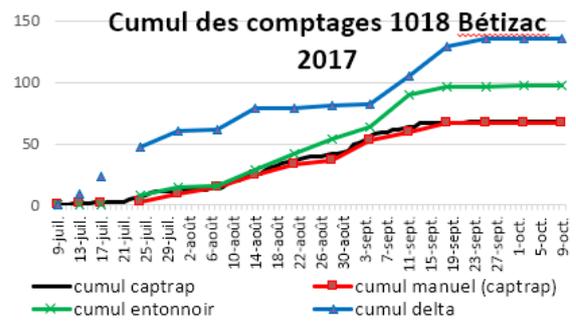
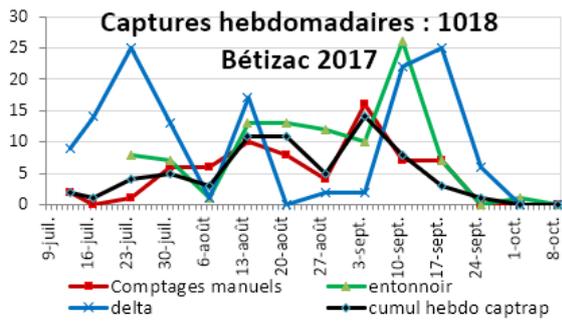
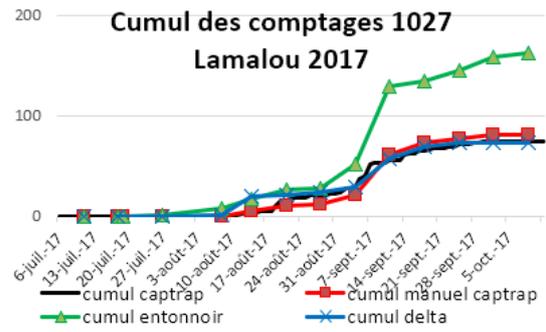
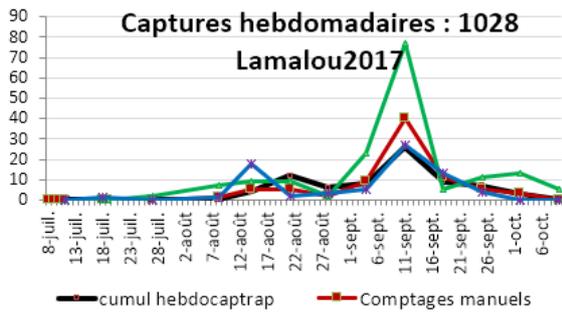
Les principales observations sont :

- Très peu à absence de captures dans les pièges entonnoir VS pièges delta.
- Quelques captures mais la 1^{ère} génération de CapTrap ne détectait pas assez finement, ce qui donne lieu à des sous-comptages.
- L'envoi des nouvelles versions du pièges s'est fait après la vague de piégeage.



Suivi du carpocapse de la châtaigne

- La différence de piégeage n'est pas significative entre le piège entonnoir et le piège delta, mais elle a tout de même été jugée forte par les utilisateurs.
- Tendance à plus de comptage en entonnoir non connecté par rapport à CapTrap mais pas dans tous les cas.
- Quantification correcte de CapTrap dans l'ensemble.



Problèmes techniques

En outre, on note aussi des problèmes techniques liés à l'utilisation de pièges connectés en vergers. Les pièges ayant été conçus pour être rechargés en journée par des panneaux solaires, il est arrivé que les pièges consomment plus de batterie qu'ils ne rechargent, et tombent donc en panne.



Installation CERFEL

Bilan 2017

Les pièges connectés ne semblent donc pas être compatibles avec les ravageurs en arboriculture.

Année 3

En dernière année, un protocole différent a été adapté pour pallier au manque de capture dans les pièges. L'objectif, est d'utiliser le piège avec une forme entonnoir pour espérer pouvoir l'équiper un jour d'un capteur. Certaines modalités ont donc été testées sans être connectées.

Modalités testées

2 modalités normalement utilisées pour d'autres ravageurs et d'autres cultures ont été testées afin de maximiser les captures. Les adaptations ont été faites en début de saison pour être identiques dans les organismes qui effectuent le suivi.

Le piège nasse

Réorientation expérimentation

■ Piège Nasse



- Utilisé pour les pyrales du maïs
- Très bon niveaux de capture
- Possibilité de réutiliser CapTrap :
 - Système de filet à bricoler
 - Fourniture de quelques pièces d'adaptation



■ Possibilité de faire l'adaptation du filet pour 2018

Le piège à entrées latérales

Réorientation expérimentation

■ Piège à entrée latérale



- Utilisé pour les processionnaires du pin
- Bons niveaux de capture
- Au stade prototype
 - Utilise l'électronique de CapTrap 2016
 - Limité en fonctionnalités
- Limité en quantité
- Lourd en travail : entièrement fabriqué et étalonné à la main

■ Possibilité d'en déployer en non-connectés (sachant qu'on a la possibilité d'en connecter quelques-uns)

[RESULTATS MANUELS A COMPLETER]

D.Analyse et ouverture

L'expérimentation a été grevée par la forme du piège qui s'est retrouvée inadaptée à piéger ces ravageurs. Les signatures sonores, bien qu'acquises n'ont donc pas été adaptées dans les pièges entonnoirs. Une tentative de changement de conformation du piège en dernière année n'a pas semblé apporter plus de succès à la capture. Le seul ravageur qui pourrait sembler compatible est le carpocapse de la châtaigne, même si le piégeur semble sceptique sur le fonctionnement du piège pour ce ravageur.

Au vu de la faible performance de capture des pièges entonnoirs pour les ravageurs en arboriculture, et compte tenu de nombreuses autres demandes pour des ravageurs piégés uniquement en plaque engluée, Cap 2020 a développé un dispositif à reconnaissance d'images qui pourrait fonctionner pour ces ravageurs. Ce dispositif est encore à l'étude, et n'est commercialisé que pour la tordeuse de la vigne car il nécessite une base de données d'images d'apprentissage.

Ci-dessous, une image de capture de carpocapse de la pomme dans la région lyonnaise sur un prototype en verger.

[Image à visualiser](#)

Photo Vision 30 2019-05-18

Télécharger l'image affichée

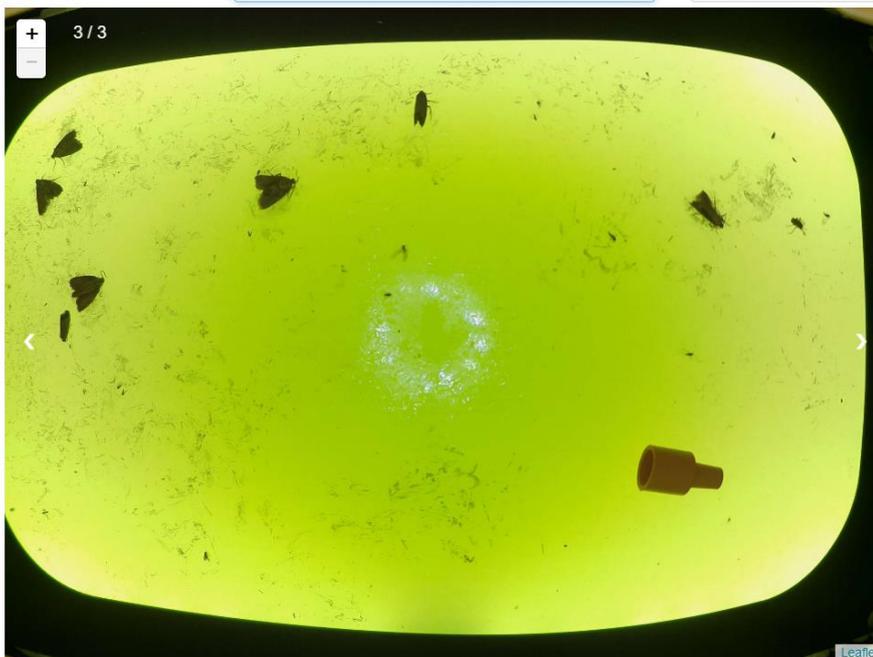


Photo Vision 30 2019-05-18

Image à visualiser

Photo Vision 30 2019-05-22

Télécharger l'image affichée

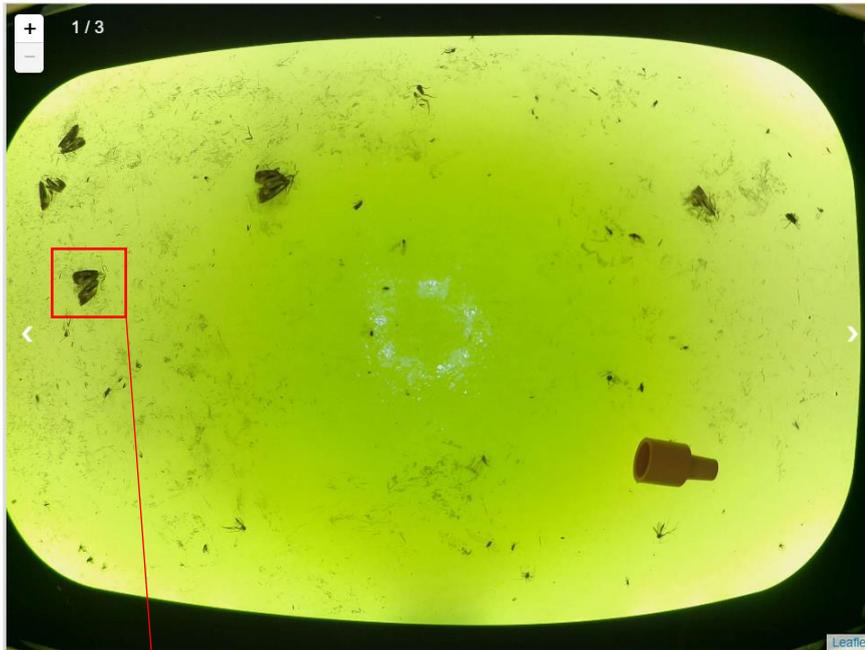


Photo Vision 30 2019-05-22

