

2017-2018

Mention Biologie Végétale



# Monitoring de *Cydia pomonella* en vergers de noyers

Comparaison de l'efficacité de différentes modalités de piégeage

PASQUIER Chloé

Sous la direction de Mme  
Verhaeghe Agnès

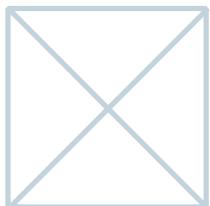
Membres du jury

Montrichard Françoise | Responsable pédagogique M1 BV (Présidente)

Boureau Tristan | Enseignant – chercheur (Auditeur)

Le Paven Marie-Christine | Enseignant – chercheur (Tuteur)

Soutenu publiquement le 05/07/2018



# ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e) Chloé PASQUIER déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le

**L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :**



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

**Consulter la licence creative commons complète en français :**  
<http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/>

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



# REMERCIEMENTS

Je tenais tout d'abord à remercier Agnès Verhaeghe, ma maître de stage pour sa bienveillance et son expertise. Merci de m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein de votre structure et de m'avoir fait confiance.

Je tenais également à remercier M2i Development pour le financement de mon stage, merci à Kévin De Cozar pour tes renseignements.

Merci à Anaïs de m'avoir accueillie chaleureusement et de m'avoir aidé à découvrir les locaux de la SENuRA ainsi que les différentes parcelles. Merci pour l'aide lors de la pose des pièges et surtout merci pour ta bonne humeur.

Merci à Fred pour l'aide précieuse lors de la pose des pièges et pour tes conseils pour découvrir la région.

Merci à Claire et Raphaël, mes chers colocataires de la SENuRA sans qui je n'aurai pas découvert cette si belle région de la même façon. Merci pour votre curiosité sans faille, et merci de m'avoir fait découvrir le pesto à l'ail des ours ! Merci à Claire d'avoir partagé tous ses weekends avec moi, de grands événements nous attendent cet été (sans oublier nos fameuses séances de sport, toujours dans la convivialité) !

Merci également à Mathilde pour ta gentillesse, la randonnée du grand Veymont nous attend ! Merci à Judith pour ta bonne humeur et ton partage, j'ai hâte de découvrir les adventices de la région avec toi et de grimper les falaises du Vercors à tes côtés !

Merci à Daniel Delaigue, de nous avoir permis d'utiliser ton trophée pour casser nos noix, merci pour ton expertise, ta bienveillance et ta bonne humeur !

Enfin, merci à toute l'équipe de la SENuRA : Cyrielle, Michel, Muriel, Delphine, Marine, Marianne, Stéphane et Florence pour votre accueil et votre convivialité.

# Table des matières

## TABLE DES FIGURES

## TABLE DES TABLEAUX

## TABLE DES ANNEXES

## GLOSSAIRE

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>1.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1.	Importance de la nuciculture – Contexte économique.....	1
1.2.	Présentation de la structure de stage : la SENuRA .....	1
1.3.	Le carpocapse .....	2
1.3.1.	Contexte économique.....	2
1.3.2.	Caractéristiques du ravageur .....	2
a)	Origine .....	2
b)	Biologie .....	2
c)	Phénologie .....	3
1.3.3.	Méthodes de lutte alternatives .....	4
a)	Le virus de la granulose.....	4
b)	Les parasitoïdes.....	4
c)	Utilisation de phéromones.....	5
1.4.	Objectif du stage .....	6
<b>2.</b>	<b>Matériels et Méthodes .....</b>	<b>7</b>
2.1.	Matériel expérimental .....	7
2.1.1.	Matériel végétal.....	7
2.1.2.	Equipements .....	7
a)	Capsules de phéromone .....	7
b)	Pièges delta.....	7
2.2.	Méthodes .....	8
2.2.1.	Mise en place de l'essai .....	8
2.2.2.	Suivi des vols .....	8
2.2.3.	Conduite des parcelles .....	8
2.2.4.	Modèle INOKI.....	9
2.2.5.	Analyses statistiques.....	9
<b>3.</b>	<b>Résultats.....</b>	<b>10</b>
3.1.	Efficacité des différentes capsules .....	10
3.2.	Etude de la pression en carpocapse sur chaque parcelle .....	10
3.3.	Dynamique de vol du carpocapse .....	11
3.4.	Modèle INOKI.....	11
<b>4.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>12</b>
4.1.	Efficacité des différentes capsules .....	12
4.2.	Etude de la pression en carpocapse sur chaque parcelle .....	12
4.3.	Dynamique de vol du carpocapse et comparaison au modèle INOKI.....	13
<b>5.</b>	<b>Conclusions et perspectives .....</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>16</b>
6.1.	Ouvrages (articles et livres) .....	16
6.2.	Sitographie .....	18

# Table des figures

**Figure 1.** Photographie d'un noyer commun *Juglans regia* L. (variété Franquette) au sein d'une parcelle située à Izeron (38). Photographie personnelle.

**Figure 2.** Photographie d'un carpocapse adulte piégé sur une plaque engluée. Photothèque SENuRA (2017).

**Figure 3.** Localisation des 10 parcelles de producteurs (P1 à P10), le point bleu indique la localisation de la SENuRA à Chatte. Echelle : 1 cm sur la carte représente 2 km.

**Figure 4.** Capsule de phéromone posée sur une plaque engluée. Photographie personnelle.

**Figure 5.** Piège delta rouge contenant une plaque engluée et une capsule de phéromone. Photographie personnelle.

**Figure 6.** Plan général de pose des pièges (densité de plantation 10 x 10 mètres). Le carré noir représente l'arbre où a été posé le piège ; la croix colorée représente le rayon minimal à respecter (25 mètres) pour disposer les différentes capsules de phéromone afin de limiter leurs interactions.

**Figure 7.** Piège delta rouge installé dans un noyer commun à l'aide d'une ficelle agricole représentée en bleue, situé sur une parcelle à Izeron (38). Le piège est situé en bas de l'arbre sur la photographie, il est remonté après chaque relevé dans le tiers supérieur de l'arbre, à l'aide de la ficelle bleue. Photographie personnelle.

**Figure 8.** Rubalise positionnée autour du tronc d'un noyer commun, sur une parcelle à Izeron (38). Photographie personnelle.

**Figure 9.** Représentation du sens de rotation des pièges au sein d'un bloc dans une parcelle.

**Figure 10.** Nombre moyen de carpocapses piégés du 07/05/2018 au 28/05/2018 en fonction du type de capsule de phéromone, toutes parcelles confondues. Des lettres différentes au-dessus des barres d'écart-types indiquent des différences significatives de piégeage entre les différentes capsules ( $P < 0,05$ ).

**Figure 11.** Nombre moyen de carpocapses piégés du 30/05/2018 au 11/06/2018 en fonction du type de capsule de phéromone, toutes parcelles confondues. Des lettres différentes au-dessus des barres d'écart-types indiquent des différences significatives de piégeage entre les différentes capsules ( $P < 0,05$ ).

**Figure 12.** Nombre total de carpocapses piégés du 07/05/2018 au 11/06/2018 en fonction des différentes parcelles (P1 à P10), toutes capsules confondues.

**Figure 13.** Nombre de carpocapses piégés du 07/05/2018 au 28/05/2018 en fonction des différentes parcelles et des différentes capsules de phéromone utilisées.

**Figure 14.** Nombre de carpocapses piégés du 30/05/2018 au 11/06/2018 en fonction des différentes parcelles et des différentes capsules de phéromone utilisées.

**Figure 15.** Nombre de carpocapses piégés avec la capsule GR1, par parcelle (P1 à P10) et par bloc (bloc 1 noté B1 ; bloc 2 noté B2) du 07/05/2018 au 11/06/2018.

**Figure 16.** Nombre moyen de carpocapses piégés par la capsule GR1 au sein des 2 blocs des 10 parcelles de l'essai du 07/05/2018 au 11/06/2018. Des lettres différentes au-dessus des barres d'écart-types indiquent des différences significatives de piégeage entre les différentes parcelles ( $P < 0,05$ ).

**Figure 17.** Nombre moyen de carpocapses piégés par relevé (tous les 2 à 3 jours) au sein de la parcelle 9, en fonction des arbres où ont été positionnés les pièges, du 07/05/2018 au 11/06/2018.

**Figure 18.** Dynamique de vol du carpocapse pour chaque capsule étudiée, toutes parcelles confondues. La capsule GR1 (courbe orange) est celle qui a servi de référence pour déterminer le seuil d'intervention. Le seuil G1 (pointillés rouges) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs).

**Figure 19.** Dynamique de vol du carpocapse pour chaque capsule étudiée, au sein de la parcelle P1. La capsule GR1 (courbe orange) est celle qui a servi de référence pour déterminer le seuil d'intervention. Le seuil G1 (pointillés rouges) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs).

**Figure 20.** Dynamique de vol du carpocapse pour chaque capsule étudiée, au sein de la parcelle P9. La capsule GR1 (courbe orange) est celle qui a servi de référence pour déterminer le seuil d'intervention. Le seuil G1 (pointillés rouges) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs).

## Table des tableaux

**Tableau I.** Récapitulatif des différentes modalités et de leurs spécificités (type de capsule, grammage, durée d'utilisation, nom de la firme fabriquant la capsule et nom de la firme distribuant la capsule) .....

**Tableau II.** Calendrier récapitulant les principales étapes nécessaires à la mise en place de l'essai .....

**Tableau III.** Données fournies par le modèle INOKI le 21/06/2018 pour un biofix placé au 09/05/2018. ....

## Table des Annexes

**Annexe I.** Comparaison de la dynamique de vol du carpocapse pour la capsule GR1 du 14/05 au 11/06, sur les années 2017 et 2018. Le seuil G1 représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs).

**Annexe II.** Données issues de la station météo de Chatte (38) représentant les températures minimales, maximales et moyennes (en °C) ainsi que la pluviométrie (en mm) sur la période du 14/05/2018 au 11/06/2018.

# Glossaire

- **Brou** : enveloppe charnue et verte, d'environ 4 mm d'épaisseur et qui a pour origine la paroi externe de l'ovaire. Lorsqu'il atteint la maturité, il se fend et s'ouvre afin de libérer la noix qui tombe alors au sol (Germain et al., 1999).
- **Capsule de phéromone** : dispositif permettant une libération progressive des phéromones.
- **Codléomite** : phéromone sexuelle de *Cydia pomonella* ((E,E)-8,10-Dodecadien-1-ol).
- **Ectoparasitoïde** : parasitoïde qui se développe à l'extérieur de son hôte (Dictionnaire des sciences animales, 2018).
- **Kairomone** : signal chimique induisant une réponse comportementale d'un organisme receveur. Ce signal est bénéfique pour le receveur et défavorable pour l'organisme émetteur (Witzgall et al., 2008).
- **Monitoring** : méthode permettant le suivi d'une population (en fonction du temps) et de détecter ses périodes de vol.
- **Nuciculture** : culture du noyer, dans un verger appelé noyeraie.
- **Nymphose** : transformation du dernier stade larvaire d'un insecte en nymphe.
- **Phénologie** : science qui étudie l'influence des variations climatiques sur certains phénomènes périodiques de la vie des plantes (germination, floraison) et des animaux (migration, hibernation) (CNRTL, Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales).
- **Phéromone** : signal chimique produit et libéré par un organisme, induisant une réponse comportementale lorsqu'il est perçu par un membre de la même espèce (Witzgall et al., 2008).
- **Seuil d'intervention** : seuil d'indication de déclenchement des traitements, correspondant à un nombre d'individus capturés sur une durée de 6 jours consécutifs.
- **Seuil de nuisibilité économique** : il est atteint lorsque le coût des dégâts engendrés par le ravageur ou la maladie est supérieur au coût d'intervention ou égal au coût de remplacement (FREDON Lorraine, 2013)
- **Stratégie K** : stratégie caractéristique des espèces qui ont une régénération faible, mais pour lesquelles chaque individu a de fortes chances de survie. Elles occupent souvent des niches écologiques particulières et se substituent aux espèces de stratégie "R" qu'elles éliminent par compétition (Bellefontaine et al., 1997).
- **Substance sémiochimique** : molécule chimique (odeur) émise pour communiquer par un végétal ou un animal. C'est une phéromone (même espèce) ou une substance allélochimique (autre espèce) (Dictionnaire des sciences animales, 2018).
- **Verger confusé** : verger dans lequel la méthode de confusion sexuelle est pratiquée pour lutter contre un ravageur.
- **Voltinisme** : nombre de générations réalisées par une espèce d'insecte en une année.

## Liste des abréviations

- **AOP** : Appellation d'Origine Protégée
- **CING** : Comité Interprofessionnel de la Noix de Grenoble
- **Ctifl** : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
- **DEPHY EXPE** : réseau de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en PHYtosanitaires
- **DGAL** : Direction Générale de l'ALimentation
- **INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique
- **OAD** : Outil d'Aide à la Décision
- **SENuRA** : Station d'Expérimentation Nucicole Rhône-Alpes



**Figure 1.** Photographie d'un noyer commun *Juglans regia* L. (variété Franquette) au sein d'une parcelle située à Izeron (38). Photographie personnelle.

# **Monitoring de *Cydia pomonella* en vergers de noyers - Comparaison de l'efficacité de différentes modalités de piégeage**

## **1. Introduction**

### **1.1. Importance de la nuciculture – Contexte économique**

La France représente le premier pays européen producteur de noix et le deuxième exportateur mondial (CING, 2017). La production de noix en France est d'environ 39 400 tonnes (France AgriMer, 2017), dont 18 300 tonnes dans le Sud-Ouest et 18 800 tonnes en Rhône-Alpes parmi lesquelles 12 000 sont commercialisées sous appellation Noix de Grenoble (France AgriMer, 2017 ; CING, 2017). Les vergers de noyers (Figure 1) représentent une exception dans l'arboriculture française. En effet, alors que les autres cultures fruitières sont en déclin, le nombre d'hectare augmente en noyeraies, devenant en 2008 le second verger français en terme de superficie (Agreste, 2008).

Deux grands bassins de production de noix existent : le Sud-Ouest comprenant les départements de la Corrèze, du Lot et de la Dordogne ; le Sud-Est comprenant les départements de l'Isère, la Drôme et la Savoie. Dans ces bassins, deux AOP se distinguent : « La noix de Grenoble » qui regroupe les variétés Franquette, Mayette et Parisienne ; « La noix du Périgord » qui regroupe les variétés Corne, Grandjean, Marbot et Franquette (Noix du Périgord, 2018). La Noix de Grenoble est cultivée sur 261 communes, au niveau de trois départements dont 184 communes en Isère, 48 dans la Drôme et 29 en Savoie, majoritairement le long de la vallée de l'Isère, représentant 7 000 ha de vergers (avec une centaine d'arbres par ha) (CING, 2017). Toute la production de noix du Sud-Est n'est cependant pas exclusivement en AOP, il existe d'autres variétés cultivées en zone non AOP.

Ainsi, la nuciculture représente un atout économique considérable dans la vallée de l'Isère (CING, 2013). En revanche, même si l'AOP permet un prix plus rémunérateur, elle implique de nombreux contrôles et exigences (ex : respect du cahier des charges qui est un gage de qualité) pour les nuciculteurs qui doivent être compétitifs sur le marché en étant à la fois productifs et rigoureux.

### **1.2. Présentation de la structure de stage : la SENuRA**

Pour répondre à ces enjeux, la SENuRA (Station d'Expérimentation Nucicole Rhône-Alpes), située à Chatte dans le département de l'Isère, est un acteur clé de la filière noix. Cette association de recherche et développement, à but non lucratif (loi 1901) a été créée par et pour les nuciculteurs dans le but d'améliorer les techniques agricoles en noyeraie et de protéger les cultures. Pour cela, elle travaille en collaboration avec le Ctifl, l'INRA, des laboratoires et des producteurs.

La SENuRA se répartit en trois pôles : administratif, exploitation et expérimentation (comprenant une ingénierie Ctifl, des personnes chargées d'expérimentation et des techniciennes d'expérimentation) et est gérée par un conseil d'administration qui regroupe les principaux acteurs de la filière noix (Organisations de Producteurs



**Figure 2.** Photographie d'un carpocapse adulte piégé sur une plaque engluée. Photothèque SENuRA (2017).

du Sud-Est, CING, Chambres d'Agricultures, Ctifl etc). Enfin, 7 membres du conseil d'administration composent le bureau de l'association.

Au cours des années, de par des changements climatiques, un accroissement du commerce et des échanges internationaux ainsi qu'une intensification des plantations de noyers, de nouveaux ravageurs et maladies sont apparus. Ainsi, le pôle expérimentation doit mener différents essais pour lutter contre ces nouveaux fléaux (ex : *Colletotrichum* et mouche du brou) et continuer à trouver des méthodes de luttes innovantes contre les maladies et ravageurs déjà installés (ex : bactériose, anthracnose et carpocapse).

Enfin, de par sa recherche appliquée et son innovation, la SENuRA souhaite améliorer la performance des exploitations nucicoles, en développant des méthodes et techniques applicables directement par les nuculteurs, afin de faire progresser la filière noix au niveau de la région Auvergne Rhône-Alpes mais aussi de façon plus élargie (France et Europe). Pour cela, elle étudie les différents aspects de la nuciculture, notamment la gestion des besoins en irrigation, l'entretien du sol, la sélection de variétés hybrides, la lutte contre les bioagresseurs et la diminution des intrants. Elle a d'ailleurs été sélectionnée pour participer au DEPHY-EXPE dans le cadre du plan Ecophyto dans le but de diminuer les intrants en vergers de noyer.

## 1.3. Le carpocapse

### 1.3.1. Contexte économique

Le carpocapse, *Cydia pomonella* (Figure 1), est un ravageur important des arbres fruitiers tels que les noyers (*Juglans regia*), pommiers (*Malus domestica*) et poiriers (*Pyrus communis*) (Casado *et al.*, 2008 ; Rozsypal *et al.*, 2013). En effet, la larve de *C. pomonella* se nourrit des fruits au début de leur phase de croissance, provoquant leurs chutes lorsque les noix sont attaquées tôt en saison (Verhaeghe et Verpont, 2014). Le cerneau des noix étant atteint, celles-ci ne sont pas commercialisables, provoquant des pertes importantes de rendement (Bureau de Roincé *et al.*, 2012). Lorsque cet insecte n'est pas contrôlé via des traitements, il peut endommager environ 40% de la production de noix (SENuRA, 2018), et peut provoquer jusqu'à 100% de dégâts en vergers de pommiers (Stoeckli *et al.*, 2012).

### 1.3.2. Caractéristiques du ravageur

#### a) Origine

*C. pomonella* est originaire d'Asie centrale (zone d'origine du pommier domestique) (Matar, 2013). Il s'est ensuite dispersé à travers le monde via les vergers de pommiers, puis s'est étendu aux autres productions fruitières (notamment les noix).

#### b) Biologie

*C. pomonella* appartient à l'ordre des lépidoptères et à la famille des Tortricidae (Schumacher *et al.*, 1997). Le carpocapse est un papillon nocturne (Casado *et al.*, 2008), qui est favorisé par des températures supérieures à 15°C (Verhaeghe et Verpont, 2014). Il possède une envergure comprise entre 15 et 22 mm et se caractérise par des ailes antérieures gris-cendré avec une tâche ovale brune à leur extrémité (Matar, 2013) (Figure 2).



Dans le Sud-Est de la France, le cycle de vol de *C. pomonella* se caractérise par deux générations par an : la première de mai à juillet (Génération 1, notée G1) et la seconde d'août à début septembre (Génération 2, notée G2). Les chenilles issues de la G1 et/ou G2 entrent en diapause pour passer l'hiver. Pour cela, elles se mettent à l'abri dans un cocon lâche, soit sous l'écorce de l'arbre, soit près de la base de l'arbre au niveau de la couche de litière (Matar, 2013 ; Rozsypal et al., 2013). Puis, au début du printemps, les chenilles vont effectuer leur nymphose pour se transformer en chrysalide (Agora Noix, 2002). En effet, en mai, lorsque les températures deviennent supérieures à 15°C, le papillon commence à émerger. Après l'accouplement, une femelle peut pondre environ 50 œufs (Unruh et Lacey, 2000), cette ponte étant favorisée par des températures aux alentours de 25°C (Verhaeghe et Verpong, 2014). Les œufs sont pondus sur des feuilles et rameaux proches des fruits ainsi que sur les fruits. L'incubation des œufs peut durer de 1 à 3 semaines, en fonction de la température (Matar, 2013). Après éclosion, les chenilles ont un stade baladeur de 2 à 4 jours (Matar, 2013), leur permettant de pénétrer dans les fruits et d'y effectuer leur développement qui passera par 5 stades larvaires consécutifs. Elles resteront dans le fruit pour s'y nourrir, jusqu'à atteindre leur dernier stade de développement larvaire (5<sup>ème</sup> stade larvaire) (Unruh et Lacey, 2000). Ce dernier stade est atteint au bout de 20 à 30 jours de développement dans le fruit (Sæthre et Hofsvang, 2002), à l'issue duquel des chenilles mesurant environ 2 cm sortent du fruit et descendent du tronc pour, soit entrer en diapause jusqu'au printemps suivant (Matar, 2013 ; Unruh et Lacey, 2000), soit se nymphoser en seconde génération d'adultes (Sæthre et Hofsvang, 2002). Ce second vol est similaire au premier, avec toutefois un temps d'incubation et un stade baladeur plus courts (Agora Noix, 2002).

Le carpocapse utilise les fruits comme source de nourriture lors de son développement larvaire. Il est alors dépendant de la production fruitière de l'arbre, elle-même soumise aux fluctuations annuelles (notamment dues à des gelées tardives et des ravageurs), pouvant impacter l'habitat du carpocapse (Keil et al., 2001). Néanmoins, son habitat est globalement considéré comme stable (Schumacher et al., 1997). Cet insecte est qualifié de sédentaire, la stratégie la plus efficace étant de rester dans l'habitat (stratégie K) (Schumacher et al., 1997), favorisant les individus volant sur de faibles distances (environ 60 mètres) (Keil et al., 2001). Cependant, des vols sur plusieurs kilomètres peuvent être réalisés par certains individus. En effet, certains carpocapses ont une capacité de vol pouvant atteindre 11 km. Ces individus qui peuvent voler sur de plus longues distances sont en minorité mais sont indispensables afin d'éviter l'extinction de l'espèce dans le cas d'une destruction potentielle de l'habitat (mort du noyer), ou d'une absence de fruits sur certaines années, sous condition de coloniser un nouvel habitat (Keil et al., 2001 ; Schumacher et al., 1997).

### c) Phénologie

Le nombre de générations de *C. pomonella* est dépendant du climat, de la longueur des saisons (Stoeckli et al., 2012), de l'année et parfois de la plante hôte (Keil et al., 2001). Du fait de sa flexibilité d'adaptation aux longueurs des saisons et aux températures, le carpocapse est un modèle idéal pour étudier la réponse de la phénologie de l'insecte au réchauffement climatique (Stoeckli et al., 2012).

Dans les années à venir, l'augmentation des températures va se traduire par un accroissement de l'émergence de carpocapses et un allongement de leur période de développement. Par exemple, en Suisse, le risque de voir se développer une troisième génération de vol (G3), augmenterait de 0-2% (pourcentage actuel)



à 100% en vergers de pommiers à partir de l'année 2045 (Stoeckli *et al.*, 2012). D'autres études ont montré un effet similaire du réchauffement climatique sur le voltinisme (c'est-à-dire le nombre de générations réalisées en une année) de *C. pomonella* en vergers de noyers (Stoeckli *et al.*, 2012).

La stratégie majeure de survie de *C. pomonella* à l'hiver est basée sur un refroidissement intensif (via notamment une déshydratation partielle évitant une gelée mortelle de leurs fluides corporels) ou un évitement du gel (Rozsypal *et al.*, 2013). Les larves hivernantes acquièrent également une capacité de survie à des températures inférieures à -15°C. Le taux de survie des larves durant l'hiver est de plus de 83% (Rozsypal *et al.*, 2013). Ainsi, le froid hivernal ne constitue pas une menace majeure pour les populations de carpocapse.

### 1.3.3. Méthodes de lutte alternatives

*C. pomonella* est un insecte difficile à contrôler puisque la larve de ce ravageur passe la majeure partie de sa vie à l'intérieur du fruit (Losel *et al.*, 2000 ; Morisset, 2010). En fonction du stade de développement du carpocapse, différents types de lutte existent : adulticide, larvicide et ovicide. Pendant de nombreuses années, les insecticides (notamment les organophosphorés) ont été utilisés en tant que méthode de lutte exclusive pour lutter contre *C. pomonella*, entraînant de nombreuses résistances au sein des populations de carpocapses vis-à-vis de ces composés chimiques (Bureau de Roincé *et al.*, 2012 ; Casado *et al.*, 2008 ; Reyes *et al.*, 2007). De plus, ces insecticides sont à large spectre d'hôtes, éliminant des prédateurs et parasitoïdes qui permettaient de contrôler naturellement les ravageurs (Morisset, 2010). Du fait de ces résistances et par soucis de préservation de l'environnement, d'autres méthodes de lutte ont été développées pour contrôler le carpocapse (Bureau de Roincé *et al.*, 2012 ; Casado *et al.*, 2008).

#### a) Le virus de la granulose

Le virus de la granulose du carpocapse (CpGV), agent pathogène naturel de la larve de *C. pomonella*, a permis la création par l'INRA dans les années 1980 de la carpovirusine® en France (INRA, 2014), et par la firme Andermatt, de Madex® Pro en Suisse. Ces produits contiennent le CpGV, et peuvent ainsi être qualifiés d'insecticide biologique. Lorsque le carpocapse ingère ce virus, ce dernier va se multiplier dans son organisme entraînant la mort de la larve en 5 à 10 jours (Jehle *et al.*, 2006). Cette méthode de lutte biologique s'avère efficace contre le carpocapse. Cependant, des cas de résistance ont été signalés en 2005 pour le carpocapse des pommes, aboutissant à de nouvelles recherches et à la production d'une carpovirusine® de deuxième génération (appelée « EVO2 »), mise sur le marché en 2012 en France et qui serait pour le moment efficace contre les carpocapses résistants à la carpovirusine® précédemment commercialisée (INRA, 2014).

#### b) Les parasitoïdes

Une alternative au virus de la granulose pourrait être l'utilisation de parasitoïdes. En effet, les parasitoïdes sont des organismes qui se nourrissent de leur hôte, aboutissant à la mort de ce dernier. Divers parasitoïdes existent pour lutter contre le carpocapse. Parmi eux, *Mastrus ridibundus* (Gravenhorst) qui est un ectoparasitoïde appartenant à l'ordre des hyménoptères et à la famille des Ichneumonidae (Bezemer et Mills, 2001 ; Devotto *et al.*, 2010). *M. ridibundus* s'attaque au cocon de *C. pomonella* mais il n'a pas les capacités d'attaquer un nombre important de carpocapses par jour (Bezemer et Mills, 2001). En effet, pour *M. ridibundus*, paralyser son hôte et



pondre des œufs est long et coûteux en énergie. Par ailleurs, d'après Devotto *et al.*, (2010), cette méthode implique l'élaboration de méthodes d'élevages puisque les parasitoïdes nécessiteraient d'être libérés massivement pour un contrôle efficace. L'utilisation de parasitoïdes est toutefois contraignant : coût important de l'élevage de masse, fragilité des parasitoïdes, délai d'action entre l'effet recherché sur l'hôte et le lâcher de parasitoïdes (Cloutier et Cloutier, 1992).

### c) Utilisation de phéromones

Les phéromones sont utilisées fréquemment en tant qu'appât pour attirer les insectes nuisibles adultes (Casado *et al.*, 2008). Le composant majeur de la phéromone sexuelle du carpocapse est la codlémone. Identifiée par Roelofs *et al.*, (1971), elle est utilisée pour contrôler les populations de *C. pomonella* (Casado *et al.*, 2008 ; Losel *et al.*, 2000). En effet, la femelle émet cette phéromone sexuelle dans l'atmosphère, permettant au mâle de trouver sa partenaire et de se reproduire. Ainsi, la codlémone permet de perturber la reproduction du carpocapse. Elle est aussi utilisée en monitoring afin de suivre la population du ravageur pour indiquer à partir de quel moment il est souhaitable de traiter.

#### Le piégeage massif

Le piégeage massif consiste à disposer dans un verger un nombre important de pièges contenant des capsules de codlémone ( phéromone sexuelle femelle) pour capturer les mâles, diminuant le taux de reproduction des carpocapses (Matar, 2013). Ces capsules diffusent la phéromone de façon localisée et doivent être en nombre suffisant afin de capturer assez de carpocapses pour réduire les dommages économiques (El-Sayed *et al.*, 2006). Ce type de piégeage permet de libérer dans l'environnement une très faible quantité de substance sémiochimique et n'a pas d'impact négatif sur les autres insectes (El-Sayed *et al.*, 2006). En revanche, cette méthode nécessite une faible densité de population en carpocapses pour être efficace (El-Sayed *et al.*, 2006).

#### « Attract and kill »

Dans cette stratégie, la formulation de base est une pâte visqueuse à laquelle est ajoutée de la codlémone ainsi qu'un insecticide. Le produit ainsi formé est appliqué sous forme de petites gouttelettes dans le verger et permet d'attirer les carpocapses mâles (grâce à la codlémone) et de les tuer (grâce à un insecticide) (Charmillot *et al.*, 2000). Il s'agit d'une alternative intéressante aux traitements insecticides à large spectre d'hôte, puisque cette méthode permet d'attirer exclusivement les carpocapses, n'impactant pas d'autres organismes (Losel *et al.*, 2000). De plus, cette méthode permet de diminuer les résidus d'insecticide dans l'environnement et constitue un outil intéressant pour limiter le développement de résistances (Losel *et al.*, 2000).

#### La confusion sexuelle

Cette méthode consiste à disposer dans un verger des diffuseurs qui contiennent un analogue synthétique de la phéromone sexuelle du carpocapse. Ces diffuseurs permettent de saturer l'atmosphère en phéromones, ce qui désoriente les mâles et les empêche de trouver les femelles, diminuant leur taux de reproduction (Matar, 2013). Selon Casado *et al.*, (2008), la confusion sexuelle représente l'alternative la plus efficace aux produits chimiques. De plus, il peut être installé un monitoring dans ces vergers afin de suivre les populations de carpocapse et de détecter leur période de vol. Pour cela, des pièges contenant des capsules de phéromone

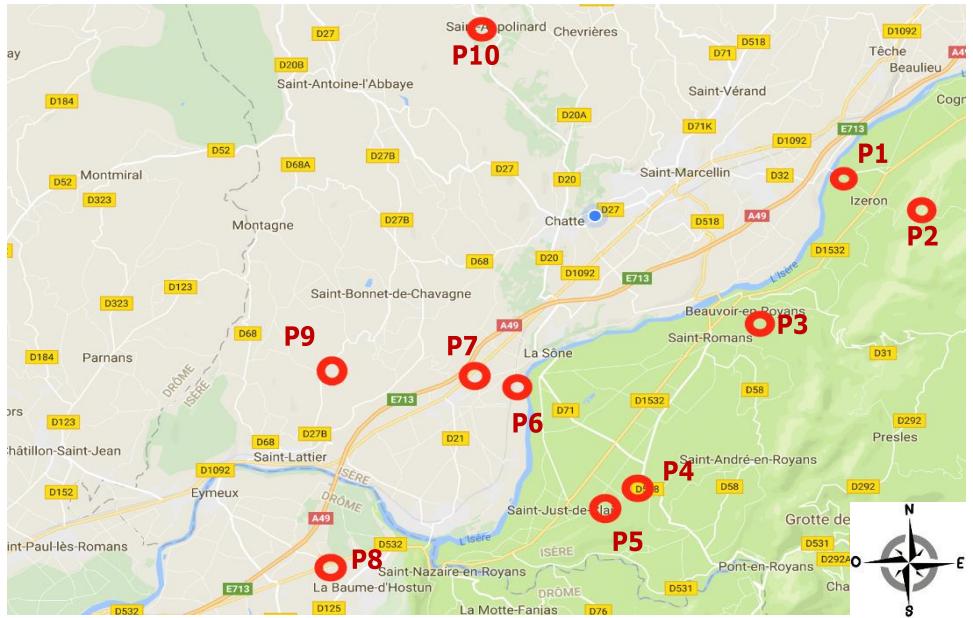


(codlémone surdosée (E,E)-8,10-dodecadien-1-ol) ; 10 mg) peuvent être mis en place, permettant de piéger des carpocapses mâles. De plus, des pièges composés à la fois d'ester de poire (éthyl (2E, 4Z)-2,4-decadienoate ; kairomone) et de codlémone permettent de piéger à la fois les mâles et les femelles (Light *et al.*, 2001).

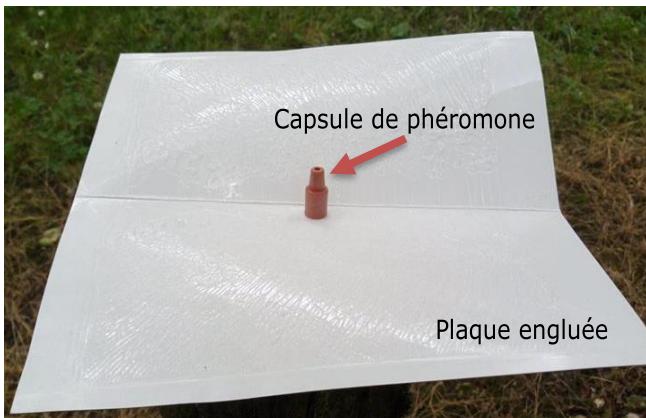
## 1.4. Objectif du stage

Depuis 3 saisons, les producteurs se sont interrogés sur les résultats de piégeage du carpocapse en verger de noyer. En effet, certains producteurs qui effectuaient un monitoring sur leurs parcelles ont constaté des dégâts à la récolte, alors que les pièges installés sur leurs parcelles n'ont pas capturé suffisamment de carpocapses au cours de la saison pour dépasser le seuil d'intervention. En effet, lorsque ce seuil d'intervention est dépassé, des traitements peuvent être réalisés afin de diminuer la population de ce ravageur et ainsi limiter les dégâts. Après avoir interrogé les producteurs pour savoir s'ils avaient positionné les pièges à une hauteur adaptée au piégeage du carpocapse, s'ils avaient conservé les capsules au frais et changé les capsules régulièrement, la SENuRA s'est rendue compte que différentes capsules existaient sur le marché alors qu'une seule capsule était jusque-là connue et utilisée. Le but de cet essai est de comparer l'efficacité de différentes modalités de piégeages c'est-à-dire de 4 capsules différentes actuellement présentes sur le marché. Chaque capsule possède ses propres caractéristiques (un grammage spécifique en codlémone, une durée d'utilisation distincte...) et permet d'attirer des carpocapses mâles. Cet essai permettra de vérifier l'efficacité de la capsule utilisée comme référence dans la région Auvergne Rhône-Alpes (GR1), de comparer la dynamique de vol du carpocapse avec le modèle hypothétique mais également de comparer l'efficacité des différentes capsules sur le marché et de voir si le seuil d'intervention est atteint pour chacune d'entre elles.

Pour cela, 10 parcelles réparties dans la Drôme et l'Isère ont été choisies pour cet essai, avec 2 répétitions par parcelle et seront suivies 3 jours par semaine (comprenant une rotation des pièges une fois par semaine). Chaque semaine, un mail sera envoyé aux producteurs récapitulant le nombre de carpocapses piégés par les pièges contenant la capsule de référence (GR1), capsule qui a été utilisée pour déterminer les seuils de nuisibilité économique. En plus de permettre un suivi de la population en carpocapses (en fonction de son cycle de vol) au sein d'une parcelle, ces pièges constituent un Outil d'Aide à la Décision (OAD) pour les producteurs qui pourront, s'ils le souhaitent, effectuer un traitement sur leurs parcelles lorsque le seuil d'intervention sera dépassé.



**Figure 3.** Localisation des 10 parcelles de producteurs (P1 à P10), le point bleu indique la localisation de la SENuRA à Chatte. Echelle : 1 cm sur la carte représente 2 km.



**Figure 4.** Capsule de phéromone posée sur une plaque engluée. Photographie personnelle.



**Figure 5.** Piège delta rouge contenant une plaque engluée et une capsule de phéromone. Photographie personnelle.

## 2. Matériels et Méthodes

### 2.1. Matériel expérimental

#### 2.1.1. Matériel végétal

Cet essai a été mis en place en vergers de noyer commun *Juglans regia* L. (genre *Juglans*, famille Juglandacées), variété Franquette. Les noyers appartenant au genre *Juglans* L. possèdent des rameaux à moelle lamellée, des feuilles composées et des fruits à coque lignifiés qui sont contenus dans une enveloppe charnue nommée le brou (Germain *et al.*, 1999). La variété Franquette, originaire du département de l'Isère, est assez vigoureuse et présente un port semi-érigé (Germain *et al.*, 1999). Sa fructification terminale permet une mise à fruit assez rapide et une production régulière avec un niveau de production relativement élevé (Germain *et al.*, 1999).

Lors de l'émergence du carpocapse au début du mois de mai, le noyer se situe pour les fleurs femelles entre les stades phénologiques Ef et Ff, définis par Germain *et al.*, (1999) comme étant Ef « Apparition de l'inflorescence » et Ff « Emergence des stigmates » (stades phénologiques relevés sur la station de Chatte : Ef le 30/04/2018 ; Ff le 04/05/2018).

Un total de 10 parcelles de vergers de noyers ont été choisies pour cet essai chez 10 producteurs de façon à recouvrir au mieux les départements de la Drôme (26) et de l'Isère (38) (Figure 3). Ils ont également été choisis pour leur superficie (> 3ha) afin de limiter l'interaction entre les différentes modalités testées.

#### 2.1.2. Equipements

##### a) Capsules de phéromone

Dans cet essai, 5 modalités seront suivies, comprenant 4 capsules différentes (conservées au frigo à 5°C) :

- GR1 (modalité 1, notée M1) : capsule classique (de référence) qui délivre 1 mg de codlémon (E,E)-8,10-Dodecadien-1-ol) pendant 3 semaines, fabriquée et distribuée par la firme Bioprox. Cette capsule a été utilisée pour la mise en place des seuils G1 et G2 depuis le début des suivis de carpocapses
- LL (M2) : capsule Long-Life™ qui délivre 3,5 mg de codlémon pendant 12 semaines, fabriquée et distribuée par la firme américaine Trécé. Cette capsule est classiquement utilisée aux USA pour le suivi des carpocapses
- BS (M3) : capsule Biosystème, de grammage non divulgué par la firme, durée d'utilisation de 3 semaines, fabriquée par Trécé et distribuée par Biosystème
- T (M4) : cette modalité représente le témoin négatif, il s'agit d'une plaque engluée vierge, sans capsule. Elle doit être renouvelée toutes les 3 semaines environ, en fonction de son état d'adhérence
- BT (M5) : capsule Biotop, de grammage non divulgué par la firme, durée d'utilisation de 4 semaines, fabriquée et distribuée par la firme Biotop

##### b) Pièges delta

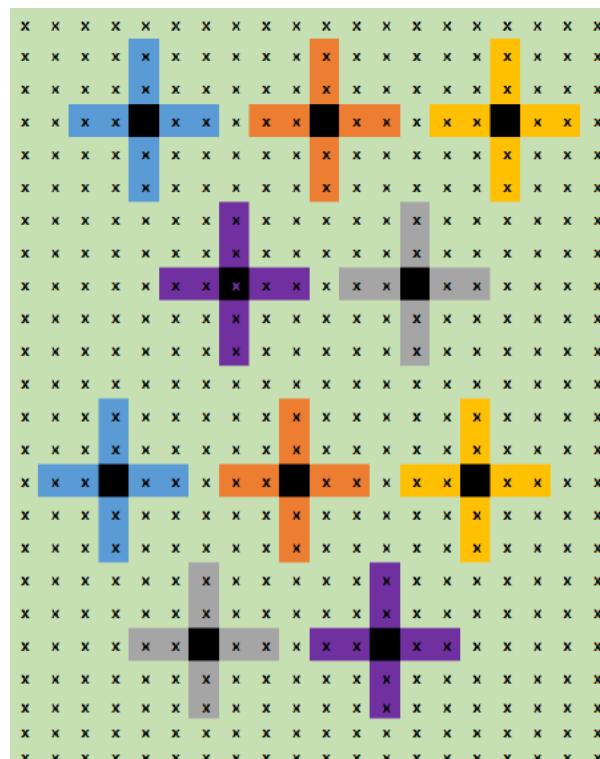
Les capsules de phéromone sont posées sur des plaques engluées (les mêmes plaques qui servent pour la modalité 4), elles-mêmes disposées dans des pièges delta (Figures 4 et 5) de couleur rouge. Il est important que les pièges soient tous uniformes (couleur rouge) pour piéger les carpocapses indépendamment de la couleur du

**Tableau I.** Récapitulatif des différentes modalités et de leurs spécificités (type de capsule, grammage, durée d'utilisation, nom de la firme fabriquant la capsule et nom de la firme distribuant la capsule)

Modalités	Type de capsule	Grammage	Durée d'utilisation	Fabricant	Distributeur
<b>M1</b>	GR 1	1 mg de codlémone	3 semaines	Bioprox	Bioprox
<b>M2</b>	LL (Long-Life)	3,5 mg de codlémone	12 semaines	Trécé	Trécé
<b>M3</b>	BS (Biosystème)		3 semaines	Trécé	Biosystème
<b>M4</b>	T (Témoin – plaque engluée vierge)	/	3 semaines	/	/
<b>M5</b>	BT (Biotox)		4 semaines	Biotox	Biotox

**Tableau II.** Calendrier récapitulant les principales étapes nécessaires à la mise en place de l'essai

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
Contacter les producteurs	x				
Elaboration du protocole	x	x			
Estimation des besoins, commande des produits	x				
Conventions producteurs	x				
Elaboration du cahier de notation	x				
Pose des pièges		x			
Relevé des pièges		x	x	x	x



**Figure 6.** Plan général de pose des pièges (densité de plantation 10 x 10 mètres). Le carré noir représente l'arbre où a été posé le piège ; la croix colorée représente le rayon minimal à respecter (25 mètres) pour disposer les différentes capsules de phéromone afin de limiter leurs interactions.

piège. En effet, selon Knight et Fisher., (2006), la couleur rouge réfléchit moins la lumière, permettant d'attirer plus facilement les carpocapses, ce qui semble le plus approprié pour piéger cet insecte nocturne.

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Mise en place de l'essai

Pour que l'essai se déroule au mieux, il a fallu calculer le nombre de pièges, plaques engluées et capsules nécessaires pour chaque modalité (en fonction de leur durée d'utilisation respective ; Tableau I) afin d'en avoir suffisamment pour toute la durée de l'essai (de début mai à mi-septembre). Les pièges, quant à eux, ne seront pas changés en cours de saison, ils sont suffisamment résistants pour durer toute la saison. Le Tableau II récapitule les différentes étapes préalables à la mise en place de l'essai et à sa réalisation.

La période de l'essai permet d'inclure les différentes étapes du cycle de vie du carpocapse (émergence du carpocapse, G1, G2, diapause).

L'essai a été mis en place avant le début de vol de la première génération de carpocapses. Les pièges ont été posés le 2 mai sur l'ensemble des 10 parcelles, correspondant à la semaine notée S2.

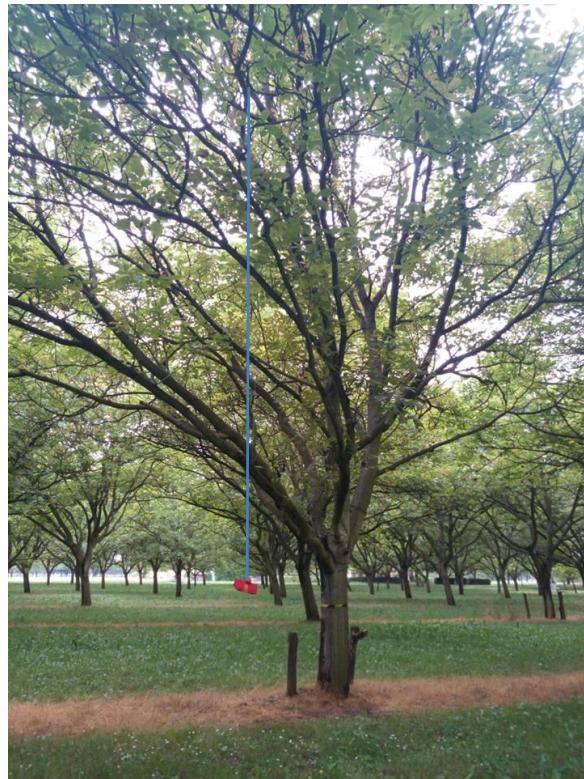
### 2.2.2. Suivi des vols

Les pièges rouges sont en forme de delta, ils contiennent une plaque engluée (pour toutes les modalités) sur laquelle est placée une capsule de phéromone (pour les modalités M1, M2, M3 et M5). La capsule permet d'attirer le carpocapse et la plaque engluée permet de piéger le carpocapse qui se retrouve collé et ne peut plus s'envoler. Afin de suivre les vols du carpocapse, les pièges ont été disposés sur 10 parcelles chez 10 producteurs. Sur chaque parcelle, 2 blocs ont été créés, correspondant à 2 répétitions des 5 modalités, soit la disposition de 10 pièges par parcelle. Ainsi, 100 pièges ont été mis en place, avec 20 pièges par modalité. Chaque piège est espacé d'au moins 25 mètres, ils sont disposés comme sur la Figure 6 afin de limiter l'interaction entre les différentes modalités. Ces pièges ont été installés le plus haut possible, dans la canopée de l'arbre (1/3 supérieur), à l'aide d'un outil lourd qui a été lancé dans l'arbre. Pour cela, ils ont été lestés avec des pierres et un système de poulie a été mis en place (à l'aide de ficelle agricole) pour les faire descendre (Figure 7). Une rubalise a également été placée autour de l'arbre pour retrouver les pièges plus facilement sur la parcelle (Figure 8). La maintenance des plaques et des capsules est effectuée en même temps que les relevés. Les pièges sont relevés 3 fois par semaine (les lundis, mercredis et vendredis) et une rotation des pièges est effectuée une fois par semaine (le mercredi). Cette rotation de tous les pièges se fait dans le même sens chaque semaine (Figure 9), chaque piège prenant la place du suivant. Cela permet de limiter un effet arbre foyer et d'éviter un effet microclimat qui pourraient impacter l'analyse de l'efficacité des différentes capsules si aucune rotation n'était effectuée. Ainsi, les différentes capsules pourront être dans les mêmes conditions tout au long de la saison.

### 2.2.3. Conduite des parcelles

Lorsque le nombre de carpocapses piégés dépasse le seuil d'intervention, les producteurs peuvent, s'ils le souhaitent, mettre en place des traitements contre le carpocapse sur leurs parcelles. Ce seuil se situe avant le seuil de nuisibilité économique, permettant de limiter les dégâts en-dessous de 5%.

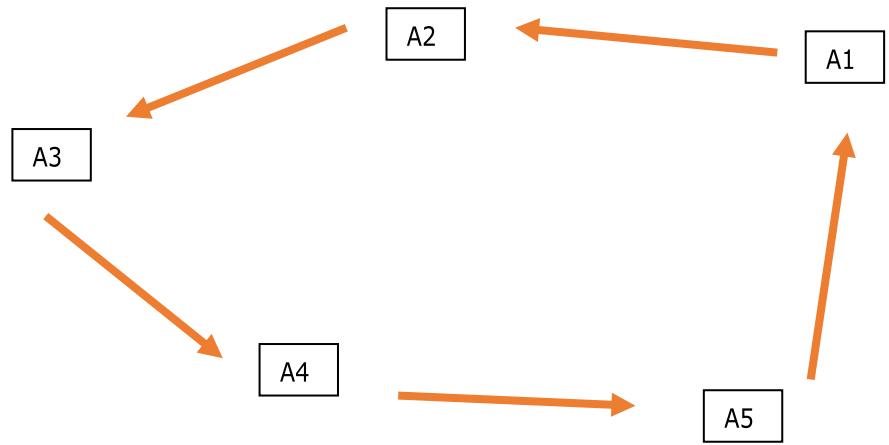
En première génération de vol (G1), deux stratégies peuvent être appliquées : la première est une stratégie ovicide et correspond à un premier traitement le jour de dépassement du seuil, c'est-à-dire 10 captures



**Figure 7.** Piège delta rouge installé dans un noyer commun à l'aide d'une ficelle agricole représentée en bleue, situé sur une parcelle à Izeron (38). Le piège est situé en bas de l'arbre sur la photographie, il est remonté après chaque relevé dans le tiers supérieur de l'arbre, à l'aide de la ficelle bleue. Photographie personnelle.



**Figure 8.** Rubalise positionnée autour du tronc d'un noyer commun, sur une parcelle à Izeron (38). Photographie personnelle.



**Figure 9.** Représentation du sens de rotation des pièges au sein d'un bloc dans une parcelle.

cumulées en 6 jours ; la seconde est une stratégie larvicide et correspond à un premier traitement 10 jours après le dépassement du seuil.

En seconde génération de vol (G2), un traitement ovicide peut être réalisé dès le dépassement du seuil, correspondant cette fois à 6 captures cumulées en 6 jours.

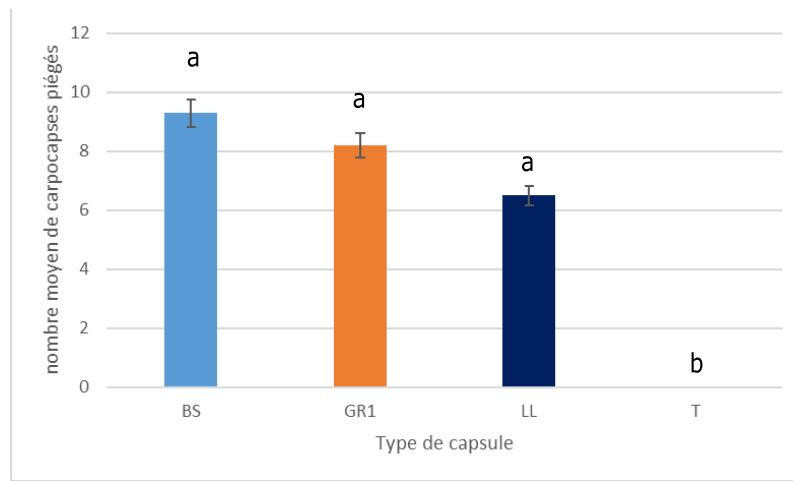
Si le producteur projette de réaliser un traitement, il s'engage à en informer la SENuRA, ainsi que les délais de ré-entrée sur la parcelle. Cela permet une meilleure analyse des relevés de piégeage (pas de relevé les jours de traitements) et évite de s'exposer aux produits phytosanitaires.

#### **2.2.4. Modèle INOKI**

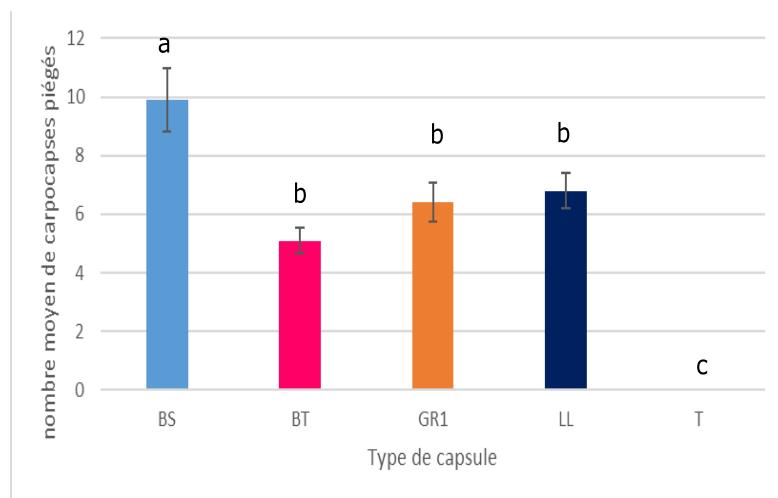
Le modèle carpocapse, disponible sur la plateforme INOKI, développé par l'INRA, le Ctifl et la DGAL, permet d'estimer la dynamique de vol du carpocapse via des outils de simulation « ravageurs » en fonction d'une base de données climatiques regroupant diverses stations météorologiques (Ctifl, 2017). Pour faire fonctionner ce modèle (qui a été développé pour *C. pomonella* sur pommier), il est nécessaire d'enregistrer la date du Biofix (qui correspond au piégeage du premier carpocapse sur la moitié des pièges installés d'un réseau de piégeage) (Ctifl, 2017).

#### **2.2.5. Analyses statistiques**

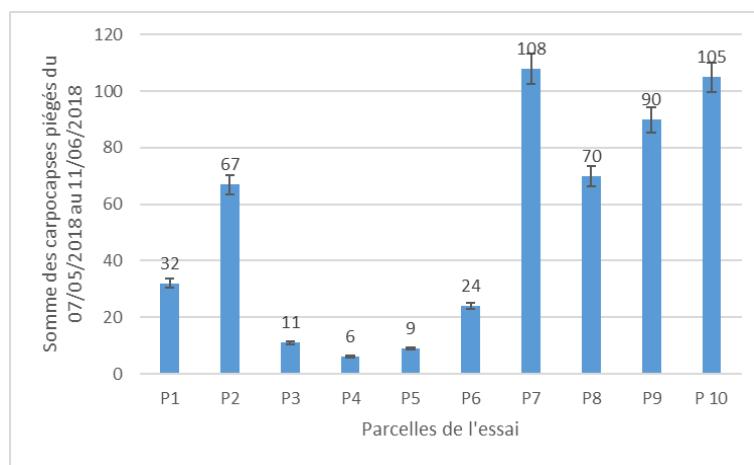
Suite aux différents relevés de piégeage, un jeu de données est construit, permettant d'analyser statistiquement les résultats grâce à une analyse de variance (ANOVA) à un facteur. Au préalable, les conditions d'utilisation de ce test seront vérifiées (égalité des variances via le test de Levene et normalité de la distribution via un test de Shapiro-Wilk). L'ANOVA va permettre de déterminer s'il existe une différence significative de piégeage entre les capsules, à un risque  $\alpha$  de 0,05. Si cette différence est significative, ce test sera suivi par un test de Newman keuls, permettant de distinguer des groupes hétérogènes à un risque  $\alpha$  de 0,05.



**Figure 10.** Nombre moyen de carpocapses piégés du 07/05/2018 au 28/05/2018 en fonction du type de capsule de phéromone, toutes parcelles confondues. Des lettres différentes au-dessus des barres d'écart-types indiquent des différences significatives de piégeage entre les différentes capsules ( $P < 0,05$ ).



**Figure 11.** Nombre moyen de carpocapses piégés du 30/05/2018 au 11/06/2018 en fonction du type de capsule de phéromone, toutes parcelles confondues. Des lettres différentes au-dessus des barres d'écart-types indiquent des différences significatives de piégeage entre les différentes capsules ( $P < 0,05$ ).



**Figure 12.** Nombre total de carpocapses piégés du 07/05/2018 au 11/06/2018 en fonction des différentes parcelles (P1 à P10), toutes capsules confondues.

### 3. Résultats

#### 3.1. Efficacité des différentes capsules

La capsule Biotope (BT) ayant été mise en place à partir du 30 mai 2018, deux périodes distinctes seront étudiées pour comparer l'efficacité des différentes capsules : du 07 mai au 28 mai (capsules BS, GR1, LL et Témoin) ; du 30 mai au 11 juin (toutes les modalités). Du 07 mai au 28 mai, la capsule BS est celle qui a piégé le plus de carpocapses avec en moyenne 9,3 carpocapses au sein des 10 parcelles, contre 8,2 ; 6,5 et 0 pour les modalités GR1, LL et T respectivement (Figure 10). D'après l'analyse statistique (ANOVA :  $ddl = 3$  ;  $Fobs = 4,546$  ;  $P=0,008$ ), les différences de piégeages sont significatives entre au moins 2 modalités ( $P<0,05$ ). En revanche, d'après le test de Newman-keuls, seulement le nombre moyen de carpocapses piégés par le témoin (sans capsule de phéromone) diffère significativement des piégeages réalisés par les 3 autres capsules.

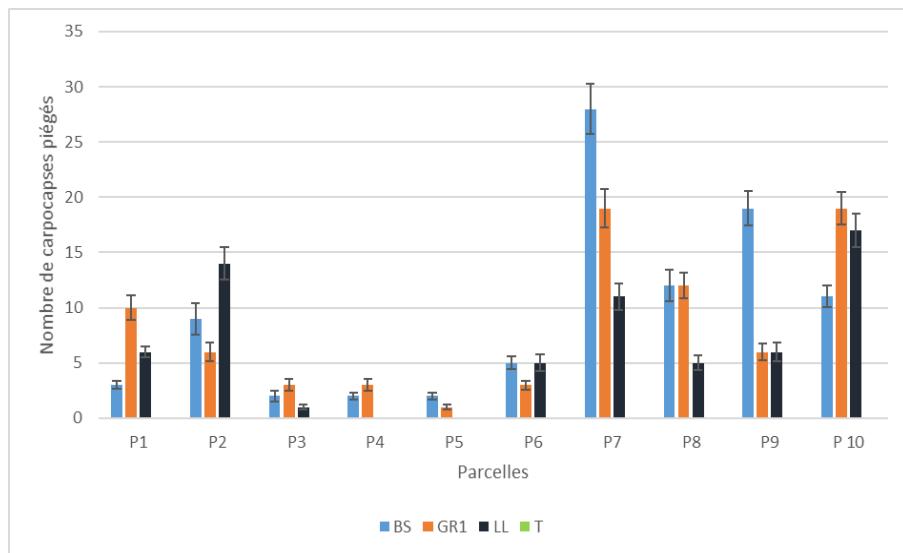
De même, du 30 mai au 11 juin, la capsule ayant attiré le plus de carpocapses est BS avec en moyenne 9,9 carpocapses piégés au sein des 10 parcelles, contre 6,8 ; 6,4 ; 5,1 et 0 pour les modalités LL, GR1, BT et T respectivement (Figure 11). D'après l'analyse statistique (ANOVA  $ddl = 4$  ;  $Fobs = 2,607$  ;  $P = 0,048$ ), la différence observée entre les moyennes est significative. D'après le test de Newman-keuls, le nombre moyen de carpocapses piégés par la capsule BS diffère significativement de ceux de BT, GR1, LL et T. En revanche, les différences de piégeages ne sont pas significatives entre BT, GR1 et LL.

#### 3.2. Etude de la pression en carpocapse sur chaque parcelle

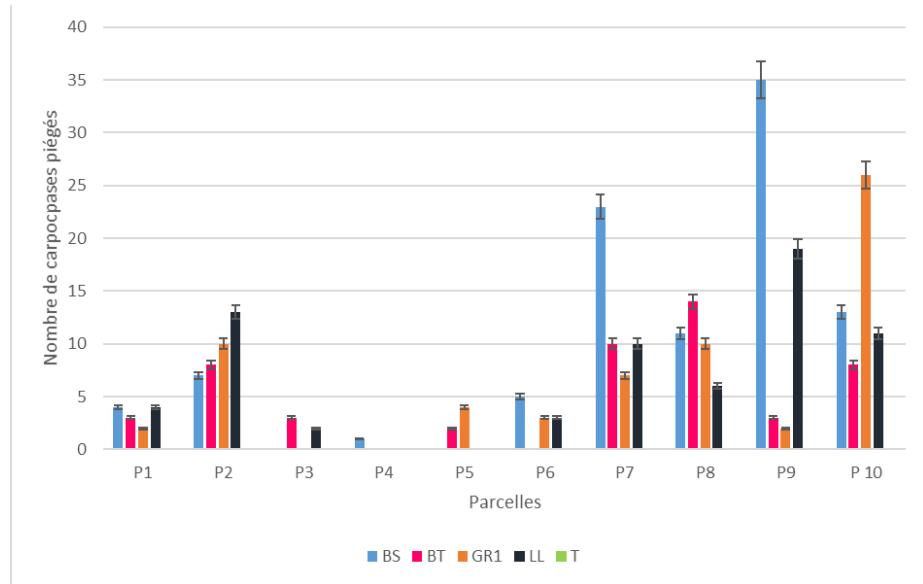
Indépendamment des parcelles, il a été piégé 522 carpocapses du 07/05/2018 au 11/06/2018. La Figure 12 renseigne sur le nombre total de carpocapses piégés durant cette même période, pour chaque parcelle. Les parcelles P4, P5, P3, P6 et P1 sont celles qui ont piégé le moins de carpocapses avec respectivement 6, 9, 11, 24 et 32 carpocapses. Les parcelles P2, P8, P9, P10 et P7 ont, quant à elles, piégé un nombre plus conséquent de carpocapses avec respectivement 67, 70, 90, 105 et 108 carpocapses.

Au sein de ces parcelles, les différentes modalités testées ont capturé plus ou moins de carpocapses. Les données sont représentées sous forme d'histogrammes (Figure 13 pour la période du 07/05/2018 au 28/05/2018 ; Figure 14 pour la période du 30/05/2018 au 11/06/2018). Par exemple, au sein de la parcelle P1, il a été piégé 3, 10, 6 et 0 carpocapses pour les modalités BS, GR1, LL et T respectivement alors qu'au sein de la parcelle P7, il a été piégé 28, 19, 11 et 0 carpocapses pour les modalités BS, GR1, LL et T respectivement (Figure 13). Du 30/05 au 11/06, au sein de la parcelle P1, il a été capturé 4, 3, 2, 4 et 0 carpocapses pour les modalités BS, BT, GR1, LL et T respectivement alors qu'au sein de la parcelle P7, il a été capturé 23, 10, 7, 10, 0 carpocapses pour les modalités BS, BT, GR1, LL et T respectivement (Figure 14).

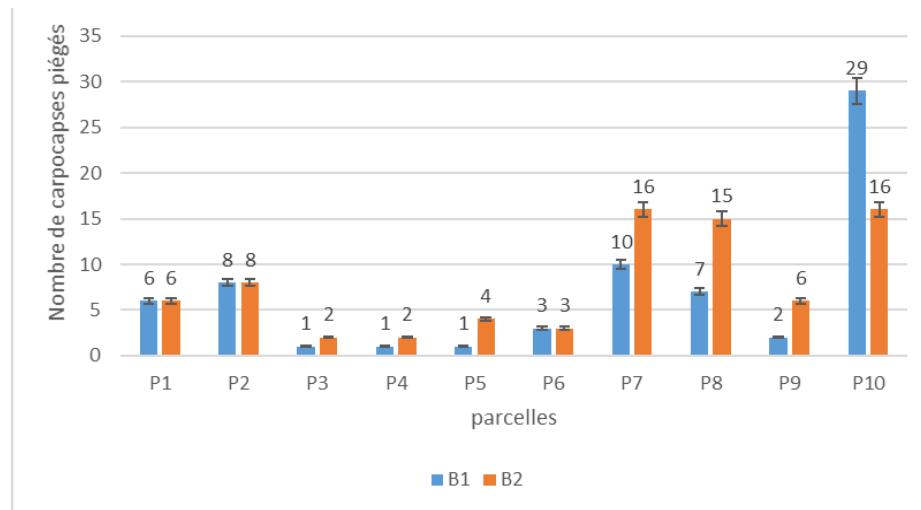
La Figure 15 récapitule les différences de piégeages au sein d'une parcelle pour la capsule GR1 (2 blocs distincts représentant 2 répétitions), du 07/05/2018 au 11/06/2018. Par exemple, pour la parcelle P3, 1 carpocapse a été piégé dans le bloc 1 et 2 carpocapses ont été piégés dans le bloc 2. En revanche, l'écart est plus important pour la parcelle P10 où 29 carpocapses ont été piégés dans le bloc 1 alors que 16 carpocapses ont été piégés dans le bloc 2.



**Figure 13.** Nombre de carpocapses piégés du 07/05/2018 au 28/05/2018 en fonction des différentes parcelles et des différentes capsules de phéromone utilisées.



**Figure 14.** Nombre de carpocapses piégés du 30/05/2018 au 11/06/2018 en fonction des différentes parcelles et des différentes capsules de phéromone utilisées.



**Figure 15.** Nombre de carpocapses piégés avec la capsule GR1, par parcelle (P1 à P10) et par bloc (bloc 1 noté B1 ; bloc 2 noté B2) du 07/05/2018 au 11/06/2018.

La Figure 16 permet de comparer le nombre moyen de carpocapses capturés par la capsule GR1 au sein des deux blocs des 10 parcelles. Suite à l'analyse statistique via ANOVA (ddl = 9 ; Fobs = 5,582 ; P=0,009), les moyennes de carpocapses capturés diffèrent significativement entre au moins 2 parcelles pour la capsule GR1. Le test de Newman-keuls montre que le nombre moyen de carpocapses capturés sur la parcelle P10 (22,5 carpocapses) est significativement différent de celui de toutes les autres parcelles. En revanche, les nombres moyens de carpocapses capturés au sein des parcelles P3, P4, P5 et P6 (respectivement 1,5 ; 1,5 ; 2,5 et 3) ne sont pas significativement différents entre eux. De même, aucune différence significative n'est observée entre les nombres moyens de carpocapses capturés au sein des parcelles P1, P2, P7, P8 et P9 (respectivement 6 ; 8 ; 13 ; 11 ; 4).

La parcelle 9 a été choisie pour illustrer la Figure 17. Le nombre moyen de carpocapses piégés par relevé (c'est-à-dire tous les deux à trois jours) est différent en fonction des arbres où ont été positionnés les pièges. En effet, l'arbre A1 n'a jamais piégé de carpocapses alors que l'arbre A5 en a piégé en moyenne 0,83 et l'arbre A7 3,58.

### 3.3. Dynamique de vol du carpocapse

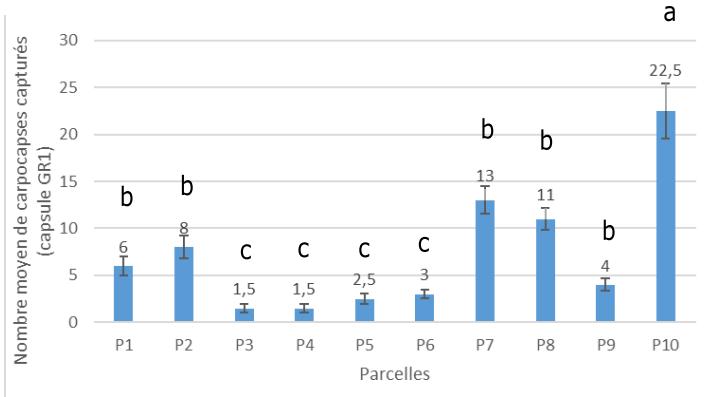
La Figure 18 permet de visualiser le suivi de vol du carpocapse en fonction du temps et des différentes capsules, toutes parcelles confondues. Le seuil G1 (représenté en pointillés rouges, correspondant à une moyenne de 10 carpocapses capturés sur une durée de 10 jours consécutifs) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée pour éviter de dépasser le seuil de nuisibilité économique. Ce seuil a été calculé sur une période de captures de 6 jours consécutifs. Sur ce graphique, aucune tendance ne se dégage, aucune capsule ne dépasse le seuil G1. Cette représentation étant globale (toutes parcelles confondues), il est nécessaire de regarder de plus près ce qu'il se passe au sein des parcelles.

Les Figures 19 et 20 montrent des dynamiques de vol du carpocapse distinctes au sein des parcelles P1 et P9 respectivement. Au sein de la parcelle P1 (Figure 19), la courbe GR1 se distingue des autres, avec un pic de carpocapses capturés autour du 23 mai 2018. C'est également cette capsule qui capture le plus de carpocapses sur la période du 16 mai au 30 mai 2018. En revanche, au sein de la parcelle P9 (Figure 20), c'est la capsule BS qui se distingue des autres, avec une moyenne de carpocapses capturés sur 6 jours consécutifs globalement supérieure à toutes les autres sur la période étudiée, avec un dépassement du seuil G1 du 04 juin au 08 juin.

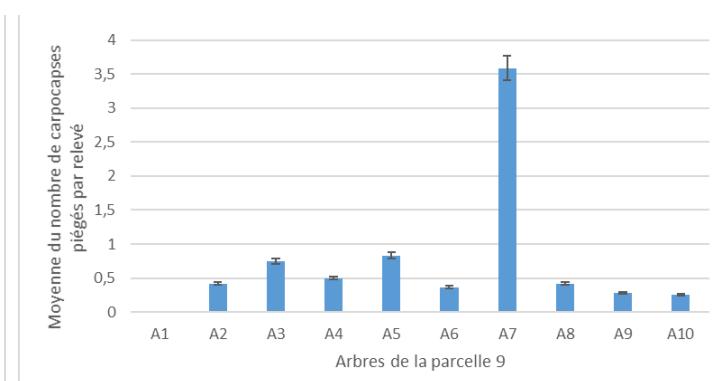
L'annexe I permet de comparer la dynamique de vol du carpocapse de l'année 2017 avec celle de l'année 2018 (sur une période du 14/05 au 11/06, toutes parcelles confondues) pour la capsule GR1. En 2017, la pression en carpocapses était conséquente, avec un dépassement du seuil du 19/05 au 02/06 alors qu'en 2018, la pression en carpocapses est restée faible, ne dépassant pas le seuil d'intervention fixé pour la G1.

### 3.4. Modèle INOKI

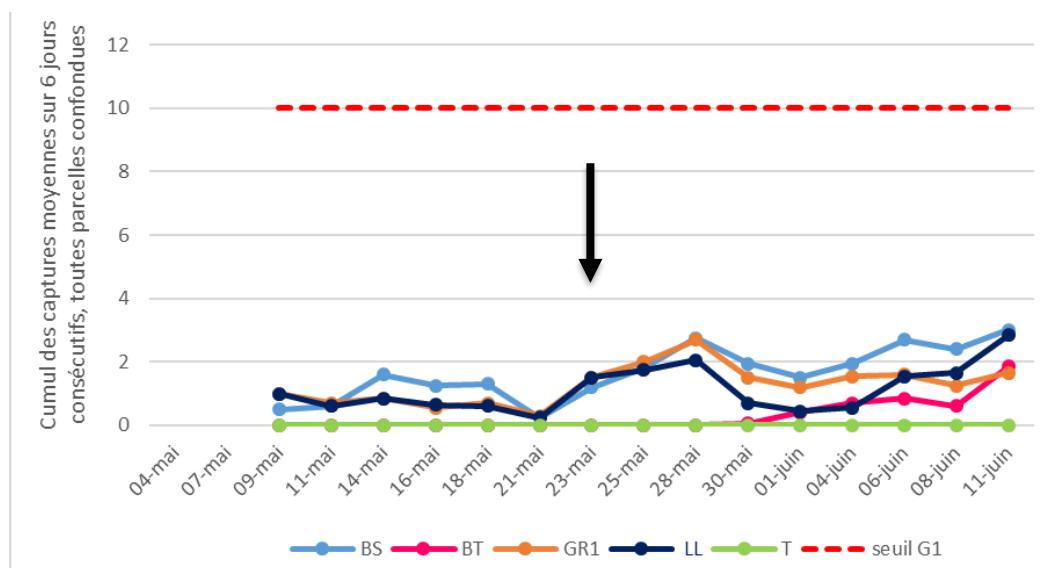
En Isère, selon le modèle carpocapse INOKI, au 21/06/2018, 86% des adultes de la première génération (G1) ont émergé, 71% des œufs ont été pondus et 51% des larves ont émergé (Tableau III) pour un biofix placé au 09/05/2018. Le modèle permet, à partir des estimations de température et pluviométrie de la station météo de Chatte (38), d'effectuer une prévision des informations. D'après le modèle, le début de la G2 est ainsi situé le 15/07/2018 avec 1% d'adultes émergeant.



**Figure 16.** Nombre moyen de carpocapses piégés par la capsule GR1 au sein des 2 blocs des 10 parcelles de l'essai du 07/05/2018 au 11/06/2018. Des lettres différentes au-dessus des barres d'écart-types indiquent des différences significatives de piégeage entre les différentes parcelles ( $P < 0,05$ ).



**Figure 17.** Nombre moyen de carpocapses piégés par relevé (tous les 2 à 3 jours) au sein de la parcelle 9, en fonction des arbres où ont été positionnés les pièges, du 07/05/2018 au 11/06/2018.



**Figure 18.** Dynamique de vol du carpocapse pour chaque capsule étudiée, toutes parcelles confondues. La capsule GR1 (courbe orange) est celle qui a servi de référence pour déterminer le seuil d'intervention. Le seuil G1 (pointillés rouges) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés  $> 10$  sur 6 jours consécutifs). La flèche indique un changement des capsules BS et GR1.

## 4. Discussion

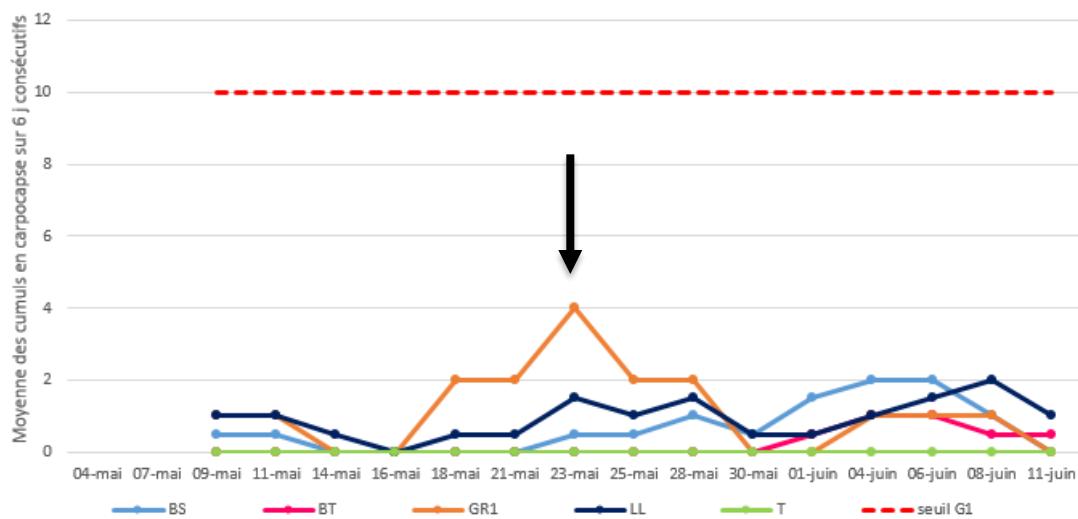
### 4.1. Efficacité des différentes capsules

La partie 3.1. a montré, sur la seconde période d'étude (du 30/05 au 11/06), une différence significative d'efficacité de la capsule BS comparé aux autres capsules. Celle-ci semblerait être celle qui piège le plus de carpocapses en vergers de noyers. Cependant, cette analyse étant basée sur toutes les parcelles confondues, il est nécessaire d'étudier la différence d'efficacité des capsules au sein de chaque parcelle avant d'affirmer que cette capsule est la plus efficace. En effet, les différentes capsules ont des efficacités variables au sein de chaque parcelle : la capsule BS est celle qui piège le plus de carpocapses sur les parcelles 7 et 9 alors que les capsules GR1 et/ou LL semblent être plus efficaces sur les parcelles 2 et 10. La capsule BT, quant à elle, semblerait plus efficace sur la parcelle P8. L'attractivité de la capsule GR1, utilisée comme référence, varie en fonction des parcelles : ce piégeage est plus conséquent sur les parcelles où la pression en carpocapses est plus élevée. Au vu des résultats qui varient fortement en fonction des parcelles, il ne peut pas être avancé, à ce stade de l'essai, si la capsule BS est effectivement la plus attractive.

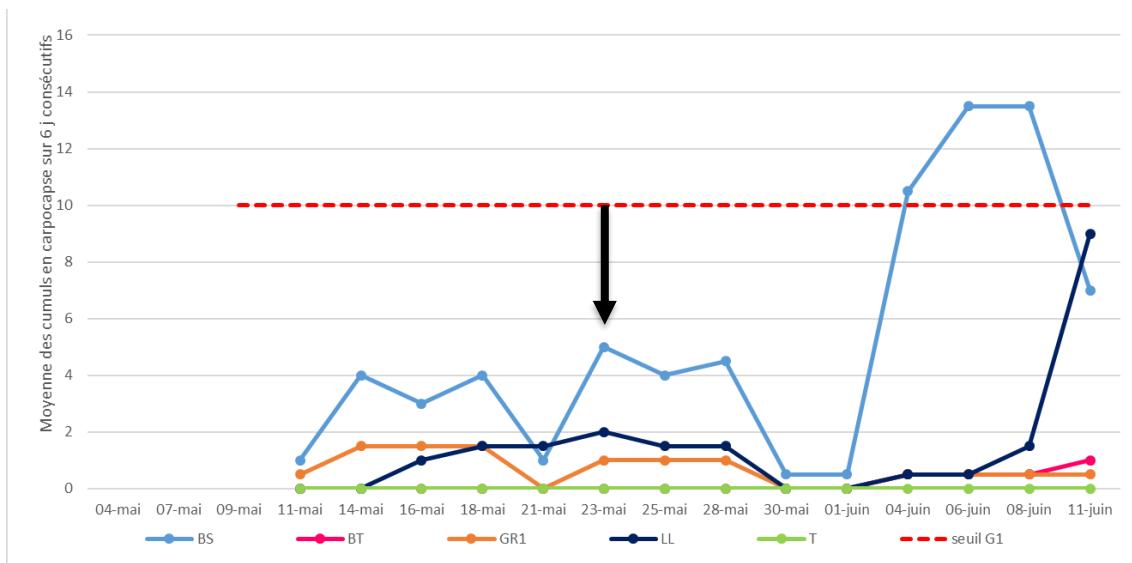
Cet essai étant conduit en verger non confusé, c'est-à-dire avec une atmosphère qui n'est pas saturée en codlémone, le carpocapse mâle est alors capable de détecter de faibles quantités de codlémone contenues dans les pièges. En effet, les carpocapses mâles peuvent détecter des ng de codlémone (la femelle carpocapse libérant 5 à 7 ng de codlémone par heure) (Huang *et al.*, 2013). En revanche, pour des vergers en confusion sexuelle, l'atmosphère est saturée en phéromones, ce qui désoriente le carpocapse. Dans ce cas-ci, si un carpocapse se trouve à égale distance de deux pièges et si les capsules interagissent entre elles (pièges pas assez espacés), ce ravageur sera attiré par le piége qui contient la plus forte concentration en phéromone (Huang *et al.*, 2013). La quantité en codlémone n'étant pas connue pour la capsule BS, il n'a pas pu être déterminé si celle-ci pouvait jouer un rôle dans l'attractivité des capsules en verger non confusé. Il peut être émis l'hypothèse qu'un plus fort grammage permettrait une diffusion sur une plus longue durée. En effet, la capsule GR1 contenant 1 mg de codlémone a une durée d'utilisation de seulement 3 semaines alors que la capsule LL contenant 3,5 mg de codlémone a une durée d'utilisation de 12 semaines.

### 4.2. Etude de la pression en carpocapse sur chaque parcelle

La pression en carpocapse au sein de chaque parcelle de l'essai (P1 à P10) s'est avérée être très différente d'une parcelle à une autre. Les parcelles P7, P9 et P10 sont celles qui ont piégé le plus de carpocapses. Ceci peut s'expliquer par la présence d'une forte pression en carpocapse sur ces parcelles les années précédentes, favorisant leur émergence cette année. En effet, l'entrée des chenilles en diapause s'effectue sous l'écorce de l'arbre ou au niveau de la couche de litière (Rozyspal *et al.*, 2013), induisant une émergence de carpocapses adultes localement. La densité de fruits sur l'arbre joue également un rôle sur la pression en carpocapse. Le carpocapse se nourrissant de fruits, la femelle va pondre à proximité des fruits, favorisant la rencontre des carpocapses mâles et femelles sur les arbres fructifères (Witzgall *et al.*, 2008). De plus, la densité de pièges à l'hectare et la hauteur des pièges dans l'arbre sont des facteurs qui ont un impact sur le piégeage des carpocapses (Joshi *et al.*, 2011). En effet, le carpocapse effectue son vol principalement dans les parties supérieures de l'arbre (Barrett, 1995). De plus, différentes études ont montré un piégeage plus important de carpocapses lorsque les



**Figure 19.** Dynamique de vol du carpocapse pour chaque capsule étudiée, au sein de la parcelle P1. La capsule GR1 (courbe orange) est celle qui a servi de référence pour déterminer le seuil d'intervention. Le seuil G1 (pointillés rouges) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs). La flèche indique un changement des capsules BS et GR1.



**Figure 20.** Dynamique de vol du carpocapse pour chaque capsule étudiée, au sein de la parcelle P9. La capsule GR1 (courbe orange) est celle qui a servi de référence pour déterminer le seuil d'intervention. Le seuil G1 (pointillés rouges) représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs). La flèche indique un changement des capsules BS et GR1.

**Tableau III.** Données fournies par le modèle INOKI le 21/06/2018 pour un biofix placé au 09/05/2018.

	Génération 1 (%)	Génération 2 (%)
<b>Adultes</b>	86	0
<b>Œufs</b>	71	0
<b>Larves</b>	51	0
<b>Diapausants</b>	0	0

pièges étaient situés dans le haut de la canopée plutôt que dans le bas ou le milieu de la canopée (Barrett, 1995; Riedl et al., 1979). Une standardisation des procédures de monitoring est nécessaire pour une interprétation fiable des résultats (système de relargage des phéromones standardisé, design des pièges homogène) (Knight et Fisher, 2006 ; Riedl et al., 1979). Ces facteurs ont essayé d'être minimisés au maximum : capsules de phéromone de même taille, nombre constant de pièges par parcelle, pièges uniformes de couleur rouge, pièges positionnés dans le tiers supérieur de la canopée des arbres. En revanche, bien que les pièges aient été positionnés au mieux au sein de chaque parcelle, une hauteur réellement identique de tous les pièges est difficile à obtenir du fait d'un positionnement des pièges manuellement, dépendant de la force et de la précision du lancer.

Selon Stoeckli et al., (2008), en première génération de vol (G1), le niveau d'infestation en carpocapses est plus faible sur la partie de l'arbre exposée au nord de la canopée, correspondant à l'endroit le plus frais de la canopée. Eviter une exposition des pièges au vent serait également plus favorable pour un piégeage plus optimal (Stoeckli et al., 2008). Ainsi, pour une meilleure standardisation du monitoring, il pourrait être intéressant de placer tous les pièges sur le côté de l'arbre exposé au sud et/ou sur le côté le moins exposé au vent.

Par ailleurs, le nombre de carpocapses piégés varie en fonction de leur position dans la parcelle. Il varie selon la disposition des pièges dans le bloc 1 ou dans le bloc 2 au sein d'une parcelle, mais également selon la position de l'arbre dans la parcelle. Ceci montre l'existence d'un effet foyer au sein des parcelles, attirant plus de carpocapses à certains endroits. Pour limiter l'impact de cet effet foyer et plus généralement de l'hétérogénéité d'une parcelle sur l'analyse de la différence d'attractivité des capsules, une rotation des pièges a été effectuée chaque semaine. Comme les résidus de codléphone se dissipent en 24h (Huang et al., 2013), le piège initialement situé à un arbre x n'a pas d'impact sur le piège qui prendra sa place sur cet arbre x. Si cette rotation n'avait pas été effectuée, le piège positionné au niveau d'un arbre foyer aurait capturé plus de carpocapses, ce qui aurait été attribué à tort à une attractivité supérieure de la capsule.

### 4.3. Dynamique de vol du carpocapse et comparaison au modèle INOKI

En 2017, les conditions climatiques étant plus favorables au développement du carpocapse, le seuil d'intervention de 10 carpocapses capturés sur 6 jours cumulés a été dépassé rapidement par la capsule GR1 (dès le 19/05). Au vu des conditions climatiques exceptionnelles de cette année 2018, le nombre de carpocapses piégés est resté faible. En effet, une chute des températures nocturnes ainsi qu'une pluviométrie importante liées à des orages fréquents n'ont pas favorisé l'émergence du carpocapse. Les données de pluviométrie et de température sont représentées en Annexe II, elles fournissent une indication par date, jour et nuit confondus. La nuit étant plus fraîche que la journée, la courbe température maximale n'est pas représentative des températures nocturnes. Le carpocapse nécessite des températures supérieures à 15°C pour émerger, avec une température optimale située à 25°C (Stoeckli et al., 2008 ; Verhaeghe et Verpont, 2014). Or, les températures minimales n'ont pas dépassé les 15°C et les températures moyennes ne sont pas montées au-dessus de 22°C. De plus, le vol du carpocapse est très perturbé par la pluie ou le vent. La femelle ne peut d'ailleurs pas pondre lorsque le feuillage est mouillé (Stoeckli et al., 2008 ; Tronel, 2009). Suite à ce piégeage peu important, il est difficile de comparer l'efficacité des différentes capsules, qui varie en fonction des parcelles. De plus, le seuil d'intervention pour la G1 n'ayant pas été dépassé (à l'exception de la parcelle 9 pour la capsule BS), il est difficile de savoir si ce seuil est adapté



à toutes les capsules.

La dynamique de vol du carpocapse au sein de la parcelle P1 montre un pic de capture par GR1 le 23/05/2018, ce qui correspond au jour où la capsule a été changée, augmentant temporairement son efficacité. La capsule BS capture moins de carpocapses lorsqu'elle arrive à la fin de sa durée d'utilisation. De plus, après changement de cette capsule le 23/05/2018, le nombre de captures est plus conséquent.

Le modèle INOKI permet de connaître les pourcentages d'émergence des différents stades du cycle de vie du carpocapse. Ce qui est intéressant c'est de connaître les dates autour desquelles 20 à 80% des carpocapses ont émergé. En effet, lorsque le pourcentage de carpocapses est compris dans cet intervalle, il est important de traiter pour éviter des dégâts trop importants. La population en carpocapses adultes est passée de 20 à 80% entre le 24/05 et le 18/06, un traitement adulticide est alors recommandé si le seuil d'intervention est dépassé sur la parcelle. De même, un traitement ovicide est recommandé entre le 01/06 et le 27/06 (passage de 20% d'œufs éclos à 80%) alors qu'un traitement larvicide est préconisé entre le 11/06 et le 06/07 (passage de 20 à 80% de larves émergées). Le modèle peut uniquement être comparé avec les piégeages liés à la capsule GR1 de référence puisque la détermination des seuils d'intervention et la réalisation du modèle ont été effectués grâce à cette capsule. Le 21/06, d'après le modèle, 86% des adultes ont émergé. La fin de la G1 étant proche, le piégeage est censé diminuer, ce qui n'apparaît pas clairement sur les figures de dynamique de vol qui montrent plutôt une augmentation des piégeages. Ceci s'explique par un arrêt des courbes au 11/06, correspondant à une émergence de seulement 69% d'adultes selon le modèle, ce qui ne correspond pas à la fin de la G1, expliquant l'augmentation des piégeages. De plus, les piégeages semblent cohérents avec le modèle qui indique au 24/05 un dépassement de 20% de la population adulte en carpocapse, correspondant sur la Figure 18 à une légère augmentation des captures. En revanche, pour une meilleure correspondance du modèle avec les résultats de ce monitoring, il est nécessaire d'attendre la fin de la G1 ce qui permettra de comparer le début et la fin de vol.



## 5. Conclusions et perspectives

Malgré un piégeage qui semblait plus important par la capsule BS sur toutes les parcelles confondues, cette capsule s'est avérée plus efficace uniquement sur 2 parcelles parmi les 10 parcelles de l'essai. Au vu des conditions climatiques exceptionnelles pour la saison (forte pluviométrie et températures faibles), le nombre de carpocapses piégés est resté faible ce qui n'a pas permis de différencier l'efficacité des autres capsules ni de démontrer l'efficacité de la capsule de référence (GR1). De même, le dépassement du seuil d'intervention par les différentes capsules n'a pas pu être observé (seuil qui est dépassé en G1 quand le nombre de carpocapses capturés est supérieur à 10 sur 6 jours cumulés, indiquant qu'un traitement serait souhaitable pour éviter des dégâts trop conséquents). Il faudra alors attendre la seconde génération de vol du carpocapse (G2) qui devrait, à priori, bénéficier d'une météo plus clémence. Ainsi, les conditions climatiques seront plus propices au vol du carpocapse qui devrait être capturé en plus grand nombre, ce qui pourrait permettre de vérifier l'efficacité de la capsule GR1, de différencier les capsules et de déterminer si le seuil d'intervention de la G2 (qui est fixé cette fois à 6 carpocapses cumulés sur 6 jours consécutifs) est dépassé pour toutes les capsules. Si ce seuil n'est pas adapté à toutes les capsules, cela pourrait expliquer pourquoi les producteurs n'ont pas eu suffisamment de captures dans leurs pièges, induisant des dégâts plus conséquents à la récolte suite à une absence de traitements.

A la fin de l'essai, le modèle INOKI pourra également être comparé de façon plus juste aux résultats de l'essai. De plus, des pourcentages de dégâts (comptages de noix infectées par le carpocapse vs noix saines) en fin de G1 et en fin de G2 seront réalisés sur chaque parcelle, ce qui permettra de vérifier l'efficacité des capsules.

En revanche, suite à cet essai, il peut être réfuté l'hypothèse que le piège à lui tout seul constitue un attractif pour le carpocapse. En effet, aucun carpocapse mâle n'a été piégé dans les pièges de la modalité 4 (T ; plaque engluée vierge, sans capsule).

Par ailleurs, le climat, mais aussi une absence de réponse concernant le grammage en codlémone par les firmes qui ont délivré les capsules BS et BT, une réception tardive de la capsule BT et une absence de bibliographie sur les différentes capsules utilisées lors de cet essai, ont compliqué la mise en place de l'essai et l'analyse des résultats.

Enfin, le monitoring constitue un outil essentiel pour diminuer l'utilisation d'insecticides, en traitant uniquement lorsque c'est nécessaire (lorsque le seuil d'intervention est dépassé). Afin d'exclure un biais éventuel, il pourrait être judicieux de changer toutes les capsules à la même date (avant leur date limite d'utilisation, par exemple toutes les deux semaines). En effet, les capsules ayant des dates limite d'utilisation variables, lorsque certaines sont potentiellement moins efficaces (proches de leur date limite), d'autres viennent tout juste d'être changées, piégeant de façon plus conséquente à ce moment t.

## 6. Bibliographie

### 6.1. Ouvrages (articles et livres)

- Agora Noix (2002). Le carpocapse des noix (*Cydia pomonella*).
- Agreste (2008). Les noyers : une exception dans l'arboriculture française. Agreste : la statistique agricole.
- **Barrett, B.A.** (1995). Effect of Synthetic Pheromone Permeation on Captures of Male Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Pheromone and Virgin Female Moth-Baited Traps at Different Tree Heights in Small Orchard Blocks. *Environ. Entomol.* **24**, 1201–1206.
- **Bezemer, T.M., and Mills, N.J.** (2001). Host Density Responses of *Mastrus ridibundus*, a Parasitoid of the Codling Moth, *Cydia pomonella*. *Biol. Control* **22**, 169–175.
- **Bureau de Roincé, C., Lavigne, C., Ricard, J.-M., Franck, P., Bouvier, J.-C., Garcin, A., and Symondson, W.O.C.** (2012). Predation by generalist predators on the codling moth versus a closely-related emerging pest the oriental fruit moth: a molecular analysis. *Agric. For. Entomol.* **14**, 260–269.
- **Casado, D., Gemen, C., Avilla, J., and Riba, M.** (2008). Diurnal variation of walnut tree volatiles and electrophysiological responses in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Manag. Sci.* **64**, 736–747.
- **Charmillot, P.-J., Hofer, D., and Pasquier, D.** (2000). Attract and kill: a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*. *Entomol. Exp. Appl.* **94**, 211–216.
- CING (2017). Dossier de presse 2016/2017.
- **Cloutier C., Cloutier C.** (1992). Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. In: La lutte biologique. Gaëtan Morin ed., Boucherville, pp. 19-88.
- **Devotto, L., del Valle, C., Ceballos, R., and Gerding, M.** (2010). Biology of *Mastrus ridibundus* (Gravenhorst), a potential biological control agent for area-wide management of *Cydia pomonella* (Linneaus) (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Appl. Entomol.* **134**, 243–250.
- **EI-Sayed, A.M., Suckling, D.M., Wearing, C.H., and Byers, J.A.** (2006). Potential of Mass Trapping for Long-Term Pest Management and Eradication of Invasive Species. *J. Econ. Entomol.* **99**, 1550–1564.
- FranceAgriMer (2017) La Noix en 2016-2017 - Bilan de campagne.
- **Germain E., Prunet J-P., Garcin A.** (1999). Le noyer – monographie. Éditions Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, 279 p.
- **Huang, J., Gut, L.J., and Miller, J.R.** (2013). Codling Moth, *Cydia pomonella*, Captures in Monitoring Traps as Influenced by Proximately to Competing Female-Like- vs. High-Releasing Pheromone Point Sources. *J. Insect Behav.* **26**, 660–666.
- **Jehle, J.A., Sayed, S., and Wahl-Ermel, B.** What do we (need to) know about low-susceptibility of codling moth against *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV)!
- **Joshi, N.K., Hull, L.A., Rajotte, E.G., Krawczyk, G., and Bohnenblust, E.** (2011). Evaluating sex-pheromone- and kairomone-based lures for attracting codling moth adults in mating disruption versus conventionally managed apple orchards in Pennsylvania. *Pest Manag. Sci.* **67**, 1332–1337.
- **Keil S., Gu H. and Dorn S.** (2001). Response of *Cydia pomonella* to selection on mobility : laboratory evaluation and field verification. *Ecological Entomology*, **26**, 495-501.

- **Knight, A.L., and Fisher, J.** (2006). Increased Catch of Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Semiochemical-Baited Orange Plastic Delta-Shaped Traps. Environ. Entomol. **35**, 1597–1602.
- **Light, D.M., Knight, A.L., Henrick, C.A., Rajapaska, D., Lingren, B., Dickens, J.C., Reynolds, K.M., Buttery, R.G., Merrill, G., Roitman, J., et al.** (2001). A pear-derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female codling moth, *Cydia pomonella* (L.). Naturwissenschaften **88**, 333–338.
- **Losel, P.M., Penners, G., Potting, R.P.J., Ebbinghaus, D., Elbert, A., and Scherkenbeck, J.** (2000). Laboratory and field experiments towards the development of an attract and kill strategy for the control of the codling moth, *Cydia pomonella*. Entomol. Exp. Appl. **95**, 39–46.
- **Mariline Maalouly Matar** (2013). Déterminants du parasitisme larvaire du carpocapse du pommier au Sud Est de la France. Doctorat Sciences agricoles, Université d'Avignon, 170 p.
- **Morisset O.** (2010). Evaluation de l'efficacité et de la compatibilité de *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera : Trichommatidae) et du virus de la granulose du carpocapse (CpGV) pour leur utilisation conjointe contre *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera : Tortricidae) en vergers de pommiers. Maîtrise en biologie, Université du Québec, Montréal, 101 p.
- Noix du Périgord (2018). Syndicat Professionnel de la noix et du cerneau de Noix du Périgord – Dossier de Presse 2017/2018.
- **Reyes, M., Franck, P., Charmillot, P.-J., Ioriatti, C., Olivares, J., Pasqualini, E., and Sauphanor, B.** (2007). Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. Pest Manag. Sci. **63**, 890–902.
- **Riedl, H., Hoying, S.A., Barnett, W.W., and Detar, J.E.** (1979). Relationship of Within-tree Placement of the Pheromone Trap to Codling Moth 1 Catches. Environ. Entomol. **8**, 765–769.
- **Rozsypal, J., Koštál, V., Zahradníčková, H., and Šimek, P.** (2013). Overwintering Strategy and Mechanisms of Cold Tolerance in the Codling Moth (*Cydia pomonella*).
- **Sæthre, M.-G., and Hofsvang, T.** (2002). Effect of Temperature on Oviposition Behavior, Fecundity, and Fertility in Two Northern European Populations of the Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae). Environ. Entomol. **31**, 804–815.
- **Schumacher, P., Weber, D.C., Hagger, C., and Dorn, S.** (1997). Heritability of flight distance for *Cydia pomonella*. Entomol. Exp. Appl. **85**, 169–175.
- **Stoeckli, S., Mody, K., and Dorn, S.** (2008). Influence of Canopy Aspect and Height on Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) Larval Infestation in Apple, and Relationship between Infestation and Fruit Size. J. Econ. Entomol. **101**, 81–89.
- **Stoeckli, S., Hirschi, M., Spirig, C., Calanca, P., Rotach, M.W., and Samietz, J.** (2012). Impact of Climate Change on Voltinism and Prospective Diapause Induction of a Global Pest Insect – *Cydia pomonella* (L.).
- **Tronel C.** (2009). Le point sur la validation du modèle carpocapse. Infos-Ctifl-N°250.
- **Unruh T. and Lacey L.** (2001) Control of Codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae), with *Steinernema carpocapsae* : effects of supplemental wetting and pupation site on infection rate. Biological Control, **20**, 48–56.
- **Verhaeghe A. and Verpong F.** (2014). Carpocapse du pommier, du poirier et du noyer (*Cydia pomonella* – Fiche bioagresseur –). L’arboriculture fruitière – Ctifl.

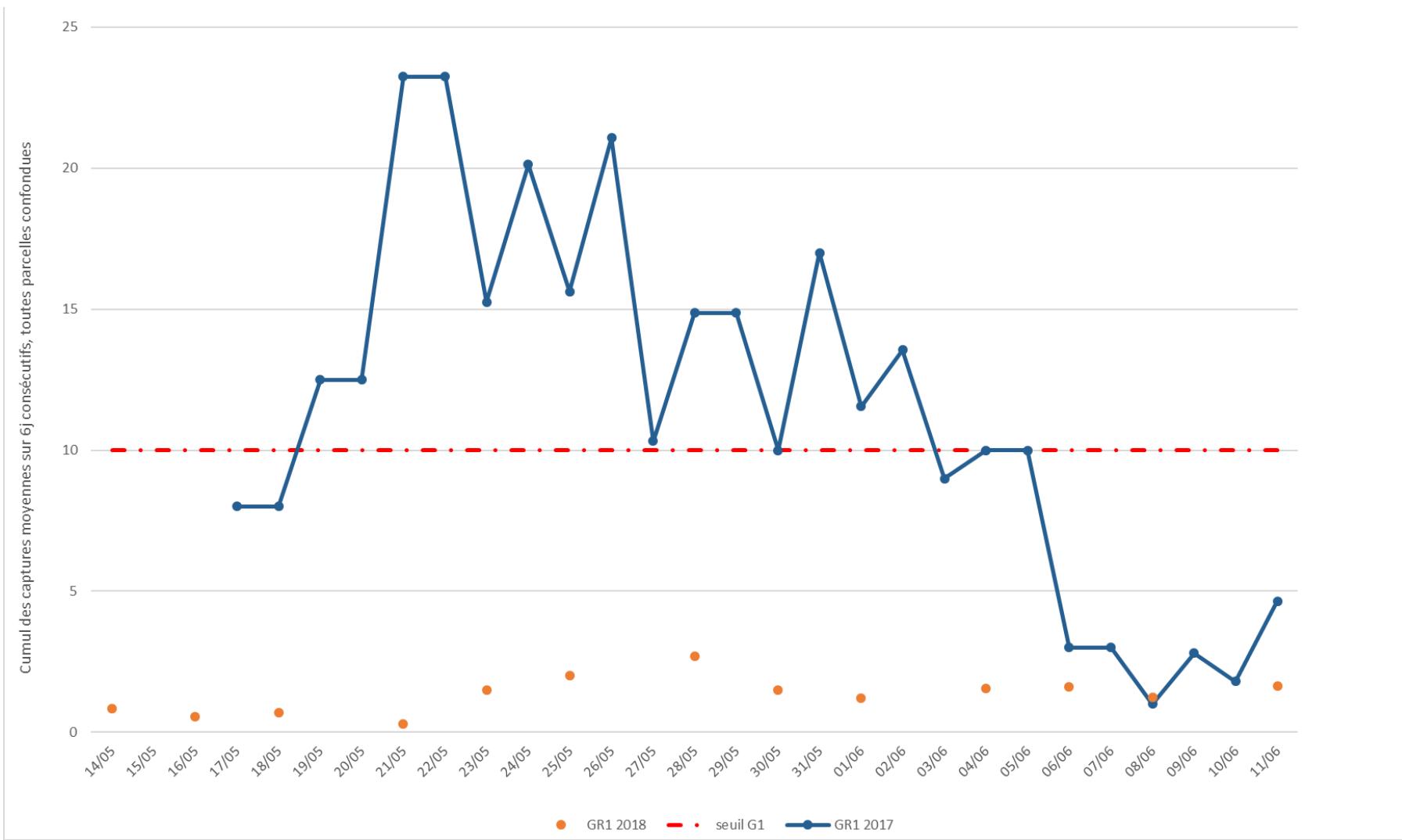
- **Witzgall, P., Stelinski, L., Gut, L., and Thomson, D.** (2008). Codling Moth Management and Chemical Ecology. Annu. Rev. Entomol. **53**, 503–522.

## 6.2. Sitographie

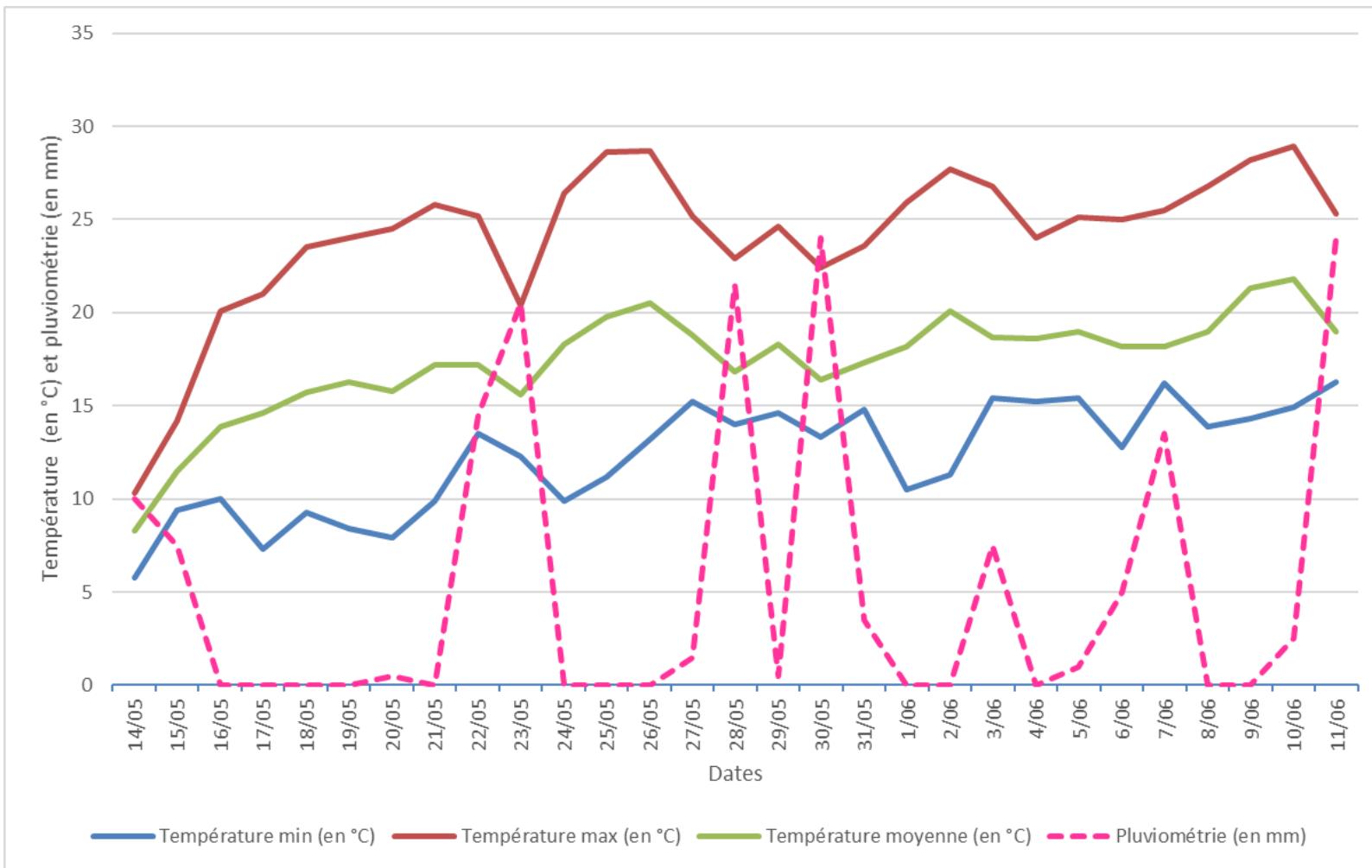
- CING (2013) <https://www.aoc-noixdegrenoble.com/> (consulté le 23/04/18)
- Ctifl (2017) <http://www.ctifl.fr/Inoki/pages/Presentation/Plateforme.aspx?ReturnUrl=%2fInoki%2f> (consulté le 18/06/2018)
- INRA (2014) <http://www.spe.inra.fr/Toutes-les-actualites/carpovirusine-bio-insecticide> (consulté le 03/06/2018)
- SENuRA (2018) <http://senura.com/index.php/travaux/ravageurs-et-auxiliaires> (consulté le 26/05/2018)

## **ANNEXES**





**Annexe I.** Comparaison de la dynamique de vol du carpocapse pour la capsule GR1 du 14/05 au 11/06, sur les années 2017 et 2018. Le seuil G1 représente le seuil au-delà duquel une intervention chimique peut être réalisée (nombre moyen de carpocapses capturés > 10 sur 6 jours consécutifs).



**Annexe II.** Données issues de la station météo de Chatte (38) représentant les températures minimales, maximales et moyennes (en °C) ainsi que la pluviométrie (en mm) sur la période du 14/05/2018 au 11/06/2018.

## RÉSUMÉ

Le carpocapse, *Cydia pomonella*, est un ravageur important, notamment en vergers de noyers. Son contrôle est difficile de part, d'un côté, une partie conséquente de sa vie passée à l'intérieur du fruit, et d'autre part, une résistance accrue aux insecticides.

Le monitoring en vergers de noyers permet, grâce à l'utilisation de pièges contenant des capsules de phéromone, de suivre la dynamique de vol du carpocapse mais aussi d'indiquer à partir de quel moment il est souhaitable de traiter. Cela permet de diminuer l'utilisation d'insecticides en les utilisant uniquement quand c'est nécessaire.

Cet essai a pour but de comparer l'efficacité de différentes capsules mises sur le marché et de déterminer si le seuil d'intervention, initialement mis en place grâce à la capsule GR1, est adapté aux différentes capsules. 4 capsules différentes ont été testées : GR1 (M1), LL (M2), BS (M3), BT (M5) ainsi qu'un témoin T sans capsule (M4). De par des conditions climatiques exceptionnelles pour la saison (pluviométrie importante et températures faibles), l'efficacité des différentes capsules n'a pas pu être correctement démontrée. Sur toutes les parcelles confondues, l'efficacité de la capsule BS diffère significativement de celle des autres capsules, mais cette capsule semblerait plus efficace qu'au sein de 2 parcelles sur les 10 parcelles de l'essai. Il est alors difficile, à ce stade de l'essai de montrer que cette capsule est effectivement la plus efficace.

L'essai se poursuivra pendant 2 mois, durant lesquels une meilleure analyse de l'attractivité des différentes capsules pourra être effectuée si les conditions climatiques s'améliorent.

**mots-clés :** carpocapse, *Cydia pomonella*, ravageur, noyers, insecticides, phéromone sexuelle, capsule, dynamique de vol, efficacité.

## ABSTRACT

The codling moth, *Cydia pomonella*, is a major pest of walnut orchards. Its control is difficult due to a long part of its life spent inside the fruit and insecticides resistance.

Thanks to pheromone capsules inside traps, monitoring in walnut orchards allows to follow codling moth flight dynamics but also give an indication of the best time to spray. It reduces insecticides use, using them only when it is necessary.

The goal of this trial is to compare the efficiency of different capsules on the market and to determine if the intervention threshold is adapted to all the capsules. 4 different capsules have been tested : GR1 (M1), LL (M2), BS (M3), BT (M5) and one control without capsule (M4). Due to unusual climatic conditions (heavy rainfall and low temperatures), it has been difficult to demonstrate capsules efficiency. On all plots, BS efficiency is significantly different from other capsules efficiency. However, this capsule seems to be more efficient only on 2 plots among the 10 plots of this trial. Thus, it is difficult, at this stage of the trial, to claim the highest efficiency of this capsule. The trial will continue for 2 more months, during which a better analysis of the different capsules will be determined if the climatic conditions improve.

**keywords:** codling moth, *Cydia pomonella*, pest, walnut orchards, insecticides, pheromone, capsule, flight dynamics, efficiency