
COMPTE-RENDU PAUPFL ACTION 6

Table des matières

Action 1 : Amélioration de l'efficacité du virus de la granulose	2
I. Introduction	2
II. Protocole.....	2
III. Résultats.....	7
IV. Discussion des résultats et conclusions	10
Action 2 : Développement de la méthode de l'augmentorium.....	11
I. Introduction	11
II. Protocole.....	11
III. Résultats.....	15
IV. Discussion des résultats et conclusions	19
Action 3 : Stratégies de protection biocontrôle	24
I. Introduction	24
II. Protocole.....	24
III. Résultats.....	26
IV. Discussion des résultats et conclusions	33

Hélène Joie (Sudexpé), Bertrand Alison (CTIFL)

Action 1 : Amélioration de l'efficacité du virus de la granulose

I. Introduction

L'objectif de cette action est de renforcer l'efficacité du virus de la granulose, dans un contexte de forte pression. En effet, des pertes d'efficacité d'applications du virus de la granulose ont été observées dans le grand bassin Sud, notamment lors de périodes de fortes chaleurs. L'enjeu ici est donc de trouver un ou des solutions permettant d'augmenter l'efficacité du virus. Les options de l'adjuvantation et de la double dose sont testés en 2023. L'adjuvantation devrait permettre une meilleure couverture de la végétation et/ou une meilleure tenue du virus sur le feuillage permettant d'augmenter la surface de contact entre les jeunes larves et le virus, et peut-être la durée de contact. La double dose devrait permettre d'augmenter la quantité de virus ingérée. En effet, avec les températures plus élevée dès le mois de juin (1^{ère} génération) le stade baladeur (L1) se raccourcit, et la quantité de virus ingérée avec. L'objectif de la double dose est donc de compenser la réduction du temps d'exposition par une augmentation de la dose.

II. Protocole

1. Description de la parcelle

a. Localisation de l'essai :

La parcelle d'essai est située sur le site de SudExpé à Marsillargues (34590) avec pour coordonnées géographiques : 43.634567876730685, 4.170051128350408

L'essai est mené sur la variété Rosy Glow, car sensible au carpocapse par son appétence et la durée de son cycle. La parcelle d'essai est située sur une parcelle conduite en PFI, avec une densité de 4 m* 1,10 m.

b. Dispositif d'expérimentation

La méthode suivie est adaptée de la méthode CEB018 « Méthode d'essai d'efficacité pratique des préparations destinées à lutter contre le carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella* L.) ».

Les parcelles élémentaires ne sont pas séparées par des rangs de garde car les traitements étant réalisés à l'aide d'appareil de pneumatique à dos, le jet est dirigé et moins fort que celui d'un pulvérisateur tracté. La dérive est donc négligeable pour ce genre d'appareil considérant le volume de végétation au moment des traitements ainsi que la distance entre les rangs.

L'échelle utilisée dans la méthode CEB est la méthode de Baggiolini et Grob. Les classes de dégâts sont simplifiées par rapport à celles établie dans la méthode car les notations sont effectuées sur la première génération, les dégâts sont donc encore peu évolués et les fruits peu développer. Des dégâts récents pourront soit cicatriser et entrainer uniquement un déclassement commercial des fruits soit évoluer et rendre le fruit non commercialisable.

Le dispositif utilisé est un dispositif de bloc de Fischer à 4 répétitions, avec des parcelles élémentaires de 6 arbres (2 arbres de bordures et 4 arbres centraux pour les observations). La méthode CEB préconise des parcelles élémentaires de 3 arbres minimum, sans arbre de garde. Nous ajoutons deux arbres

de garde, qui sont traités mais non pris en compte dans les notations, afin de limiter les effets de la dérive entre deux parcelles élémentaires consécutives. 4 arbres observés permettront d'obtenir le nombre de fruits nécessaire à la notation dans chaque parcelle élémentaire.

Modalités :

Les modalités testées en 2023 sont les suivantes :

Tableau 1- Modalités testées pour l'amélioration de l'efficacité du virus de la granulose

Modalité	Nom	Description des produits	Traitement 1 à 1% des éclosions	Traitement 2 à partir de 10% des éclosions	Traitement 2 + 10j en cadence tous les 10 j jusqu'à la fin de la G1
M0	Témoin non traité		/	/	
M1	Référence PFI	Emamectine et sticman	Emamectine 2 kg/ha + sticman 0,14 L/hL	Emamectine 2 kg/ha + sticman 0,14 L/hL	Emamectine 2 kg/ha + sticman 0,14 L/hL
M2	Référence AB	Madex pro	Madex pro 0,1 L/ha	Madex pro 0,1 L/ha	Madex pro 0,1 L/ha
M7	Virus double dose	Madex pro	Madex pro 0,2 L/ha	Madex pro 0,2 L/ha	Madex pro 0,2 L/ha
M8	Nouvelle souche virus	BI 1904	0,1 L/ha	0,1 L/ha	0,1 L/ha
M9	Virus et adjuvant	Madex pro et sticman	Madex pro 0,1 L/ha + sticman 0,14 L/hL	Madex pro 0,1 L/ha + sticman 0,14 L/hL	Madex pro 0,1 L/ha + sticman 0,14 L/hL
M10	Virus double dose et adjuvant	Madex pro et sticman	Madex pro 0,2 L/ha + sticman 0,14 L/hL	Madex pro 0,2 L/ha + sticman 0,14 L/hL	Madex pro 0,2 L/ha + sticman 0,14 L/hL

La parcelle de l'essai sera protégée par confusion sexuelle Ginko à 500 diffuseurs/ha comme le reste du centre d'expérimentation.



M0	TNT
M1	Référence PFI
M2	Référence AB
M7	Madex pro 0.2
M8	BI 1904
M9	Madex pro 0.1+ adj
M10	Madex pro 0.2 +adj

Figure 1- Plan de l'essai Amélioration de l'efficacité du virus de la granulose

Méthode d'application :

Les traitements sont réalisés avec un appareil pneumatique à dos motorisé à 500 l/ha (marque STIHL®).

Les conditions météorologiques lors des applications et tout au long de l'essai seront relevées sur la station météo à proximité de la parcelle.

Les premiers vols seront surveillés grâce à un système de piégeage avec le piège DELTA et une capsule de COMBO (phéromone sexuelle codlémone + kairomone : ester de poire). Les traitements seront positionnés grâce au modèle INOKI de l'INRAE qui permet de modéliser les éclosions des œufs et les vols du carpocapse en fonction des conditions climatiques.

2. Observations réalisées et variables d'études

a. Observations réalisées

Deux dates de comptage seront réalisées : la première lors du pic de la première génération et la seconde à la fin de la première génération. Lors de ces observations, les comptages sont réalisés sur 200 fruits en moyenne par parcelle élémentaire sur les 4 arbres observés (deux arbres de garde), soit 50 fruits par arbre, pris sur le tier supérieur de l'arbre en priorité, puis à hauteur d'homme pour compléter. Les fruits piqués sont systématiquement tranchés afin de vérifier la présence de la larve, comptabilisées puis éliminées du dispositif à chaque notation.

Les fruits sont séparés en plusieurs catégories, adaptées des classes définies par l'échelle de Baggiolini et Grob (Annexe 4 de la méthode CEB 018). L'échelle utilisée est présentée en Annexe du document :

- Classe 1 : les fruits sains, qui ne présentent aucune morsure ou dégâts liés au carpocapse.
- Classe 2 : les fruits piqués mais aucune larve vivante n'est retrouvée (dit piquêre sèche)
- Classe 3 : les fruits piqués avec larves vivantes (dit larve active)

b. Variables d'études

A la suite des deux comptages réalisés, on obtient les variables suivantes

- X1, le nombre de fruits sains (classe 1)
- X2, le nombre de fruits piqués mais sans larves actives (classe 2)
- X3, le nombre de fruits piqués avec une larve active (classe 3)

Ces variables permettent de calculer Y1, le pourcentage de fruits attaqués :

$$Y1 \text{ (modalité)} = \frac{X2 + X3}{X1 + X2 + X3}$$

Y2, la proportion de fruits sains :

$$Y2 (modalité) = \frac{X1}{X1 + X2 + X3}$$

Y3, la proportion de fruits avec des piqûres sèches

$$Y3 (modalité) = \frac{X2}{X1 + X2 + X3}$$

Y4 : la proportion de fruits avec des larves actives

$$Y4 (modalité) = \frac{X3}{X1 + X2 + X3}$$

L'efficacité des différents traitements pourra être étudiée pour chaque date à l'aide de la formule d'Abbott :

$$Efficacité(modalité) = \frac{Y1(témoin) - Y1(modalité)}{Y1(témoin)} * 100$$

c. Analyses statistiques :

Les analyses statistiques sont réalisées sous Rstudio, avec la version 4.1.0 de R.

Les variables Y2 à Y4 (proportions de fruits dans chaque classe) sont analysées selon un profil de classe avec un modèle linéaire généralisé (GLM, package lme4) avec une distribution binomiale pour les variables. Le modèle explique la proportion de fruits dans chaque classe par le bloc (variable aléatoire) et le traitement (variable fixe).

L'efficacité est analysée par une analyse de variance (ANOVA).

III. Résultats

1. Conditions d'applications

La Figure 2 présente les conditions météorologiques durant la période de l'essai ainsi que la dynamique d'éclosion des œufs de 1^{ère} génération permettant de piloter les traitements.

Les traitements ont été réalisés à 1%, 10% et 50% des éclosions des œufs, prévu selon le modèle INRAE de Boivin et Sauphanor (2005). La fin de l'essai est marquée par la fin de l'éclosion des œufs et un traitement à base de Coragen.

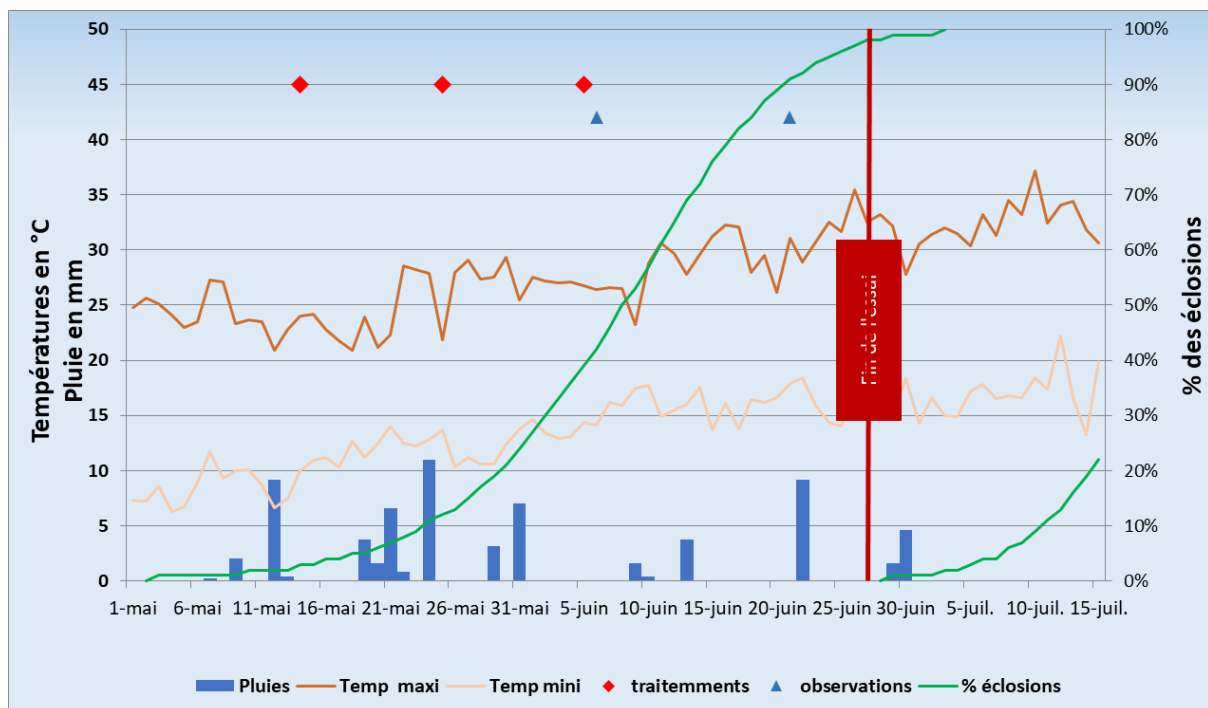


Figure 2- Conditions météorologiques, dynamique d'éclosions des œufs de 1^{ère} génération et traitements pendant la période d'essai

2. Profils de classe

La Figure 3 et la Figure 4 ci-dessous présentent les profils de classes pour les variables Y2 à Y4 (proportions de fruits dans les différentes classes (voir pages 5 et 6) pour les deux dates de notations (6 et 21 juin respectivement).

Au 6 juin comme au 21 juin, il n'y a pas de différences significatives entre les modalités (p -value > 0,05). On ne peut donc pas conclure sur une différence entre les différentes modalités. On observe que la proportions de fruits sains est similaire (autour de 75% au 6 juin et autour de 80% au 21 juin) que ce soit pour le témoin non traité que les modalités traitée avec la référence chimique ou les doubles doses et adjuvantation.

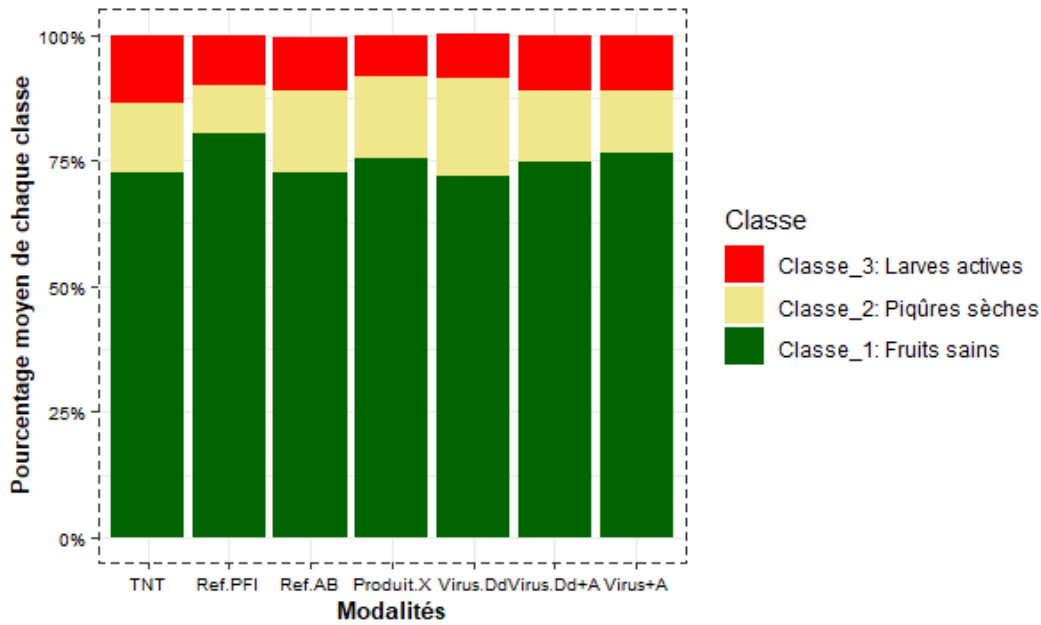


Figure 3- Profils de classe au 6 juin (produit X : Virus souche BI 1904, Dd : double dose, A : adjuvant)

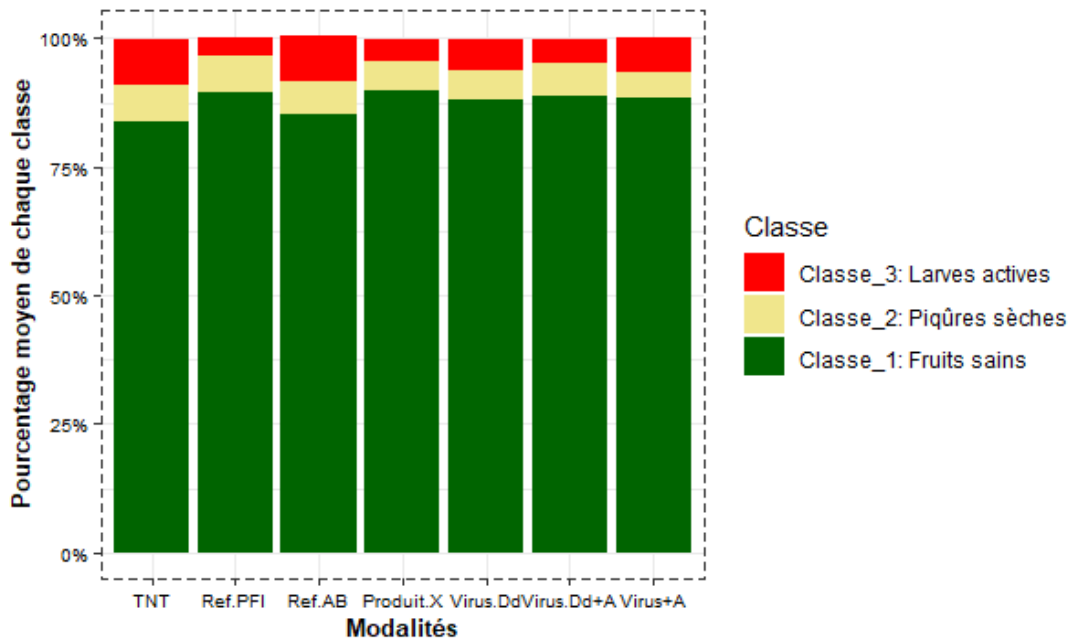


Figure 4- profil de classe au 21 juin (produit X : Virus souche BI 1904, Dd : double dose, A : adjuvant)

3. Efficacité

La Figure 5 et la Figure 6 présentent les efficacités des produits par rapport au témoin non traité (voir formule page 6) au 6 et 21 juin respectivement.

Au 6 juin (Figure 5), il n’y a pas de différences significatives entre les modalités (p -value > 0,05). Néanmoins, on observe que la référence chimique, à base d’émamectine, montre une efficacité de 40% par rapport au

témoin et la référence biologique, avec le virus Madex Pro à 0,1 l/ha ne montre une efficacité que de 14%. Les autres modalités se positionnent entre ces deux extrêmes de la façon suivante : virus adjuvanté et virus à a double dose puis nouvelle souche de virus de la granulose (produit X) et enfin la double dose adjuvantée qui montre la même efficacité que la référence PFI.

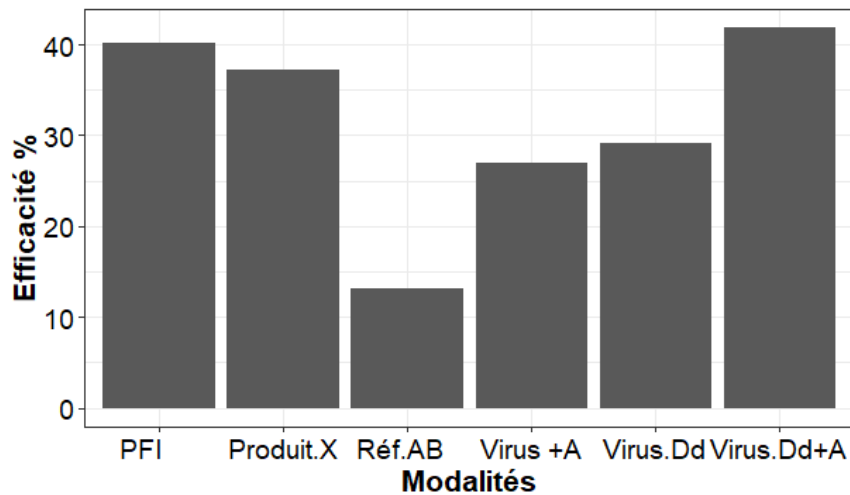


Figure 5- Efficacité des modalités par rapport au témoin non traité au 6 juin (produit X : Virus souche BI 1904, Dd : double dose, A : adjuvant)

Au 21 juin (Figure 6), il n’y a pas non plus de différence significative entre les modalités ($p\text{-value} > 0,05$). Cependant, on observe que tous les modalités ont perdu en efficacité par rapport à la date de notation précédente, y compris la référence chimique qui n’a plus que 34% d’efficacité. La référence biologique ainsi que la double dose de virus ne présentent presque qu’aucune efficacité (proche de 0). La nouvelle souche de virus (produit X) montre une certaine efficacité (15%). Les modalités adjuvantées, simple ou double dose, ont une efficacité similaire.

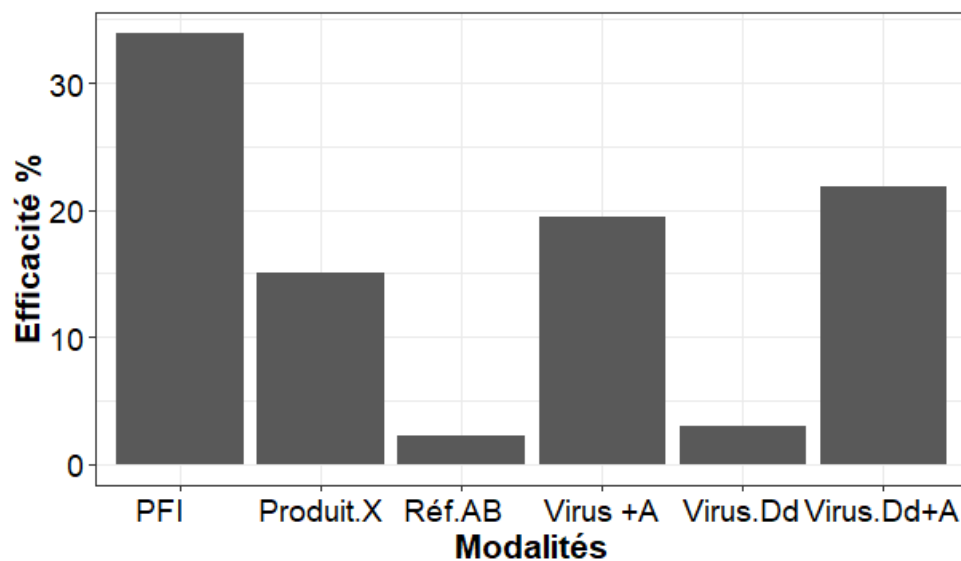


Figure 6- Efficacité des modalités par rapport au témoin non traité au 21 juin (produit X : Virus souche BI 1904, Dd : double dose, A : adjuvant)

IV. Discussion des résultats et conclusions

L'essai 2023 pour l'amélioration de l'efficacité du virus de la granulose a montré des résultats intéressants malgré une forte pression dans toutes les modalités manquant des différences significatives.

L'émamectine, produit chimique de référence pour la première génération montre une perte d'efficacité avec seulement 40% d'efficacité dans les conditions de notre essai. De la même façon, le Madex Pro montre une perte d'efficacité avec seulement 14% au maximum (seulement 1 jours après la dernière application).

La nouvelle souche de virus, produit noté X dans les figures et codé BI1904 par la firme Andermatt, a montré une efficacité supérieur à la souche Madex pro, à la dose homologuée de 0,1 l/ha.

La double dose, même si elle montre une efficacité similaire à la référence chimique lors du 6 juin, ne permet pas de gagner en efficacité sur le moyen terme, puisqu'au 21 juin (16 jours après le dernier traitement), l'efficacité est proche de zéro.

En revanche, l'adjuvantation apporte une efficacité sur le court et moyen terme, avec une efficacité similaire à la référence chimique à la première notation et légèrement inférieure lors de la seconde notation. La combinaison de la double dose et de l'adjuvantation n'apporte pas d'efficacité supplémentaire.

La nouvelle souche virus et l'adjuvantation semblent être les meilleures pistes pour obtenir une bonne efficacité du virus de la granulose. Néanmoins dans cet essai, les dégâts restent très importants et ne permettent pas d'obtenir de résultats pleinement satisfaisant. Une explication est l'absence d'un dernier traitement sur la fin de l'éclosion des œufs (traitement à 90% des éclosions) auraient dû permettre de mieux protéger les fruits des dernières larves. On peut supposer qu'avec un 4^{ème} traitement, les taux de dégâts au 21 juin ne seraient pas aussi élevés.

Action 2 : Développement de la méthode de l'augmentorium

I. Introduction

L'augmentorium est un outil de protection agroécologique des cultures, de faible coût, développé à Hawaï et à la Réunion sur la famille des Tephritides. L'augmentorium est une structure en forme de tente conçue pour recevoir les fruits infestés des ravageurs récoltés au champ. La structure est équipée d'un filet dont l'ouverture des mailles est suffisamment petite pour séquestrer les ravageurs lorsqu'ils émergent, mais suffisamment grande pour permettre aux ennemis naturels (parasitoïdes) de s'échapper. Cette technique permet de lutter contre les ravageurs cibles par lutte biologique par conservation et par prophylaxie.

La technique n'a encore jamais été développée sur la famille des Lépidoptères et ce projet est une première approche pour la développer pour lutter contre le carpocapse des pommes, *Cydia pomonella*. Le projet ALTO mené par l'INRAE a testé un modèle d'augmentorium contre le carpocapse dans un verger sans produit phytosanitaire. Des bandes pièges cartonnées, utilisées comme piégeage de masse au cours du cycle de carpocapse, étaient introduites dans l'augmentorium. Contrairement à l'augmentorium développé sur les Tephritides, aucun fruit piqué n'a été introduit, y compris la confusion sexuelle).

Dans le cadre du Plan d'Urgence phytosanitaire, nous avons tenté de répondre à deux questions sur la conception de l'augmentorium :

- 1) En s'inspirant de ce qui a été fait sur les Tephritides, quels matériaux utiliser pour la structure de l'augmentorium ?
- 2) Quel type de maille choisir pour laisser passer les parasitoïdes mais pas les carpocapses ?

Les résultats de l'année 2023, première année de mise en place du projet, sont présentés ci-dessous.

II. Protocole

1. Sous-action 2.1 : choix du contenant

a. Choix des matériaux pour le contenant

L'objectif autour du choix du contenant est de choisir un matériau qui permettent aux parasitoïdes de se développer, afin d'aller recoloniser le milieu. Pour que les parasitoïdes puissent se développer, il faut que les individus de carpocapse parasités puissent se développer. On recherche donc un contenant dont les conditions intérieures ne tuent pas tous les individus introduits. Le cas échéant, l'augmentorium aurait toujours un aspect de prophylaxie mais n'interviendrait plus dans la lutte biologique.

A l'instar de l'augmentorium contre les Tephritides et de celui testé dans le projet ALTO, l'objectif de cet augmentorium pourrait être de recevoir des pommes piquées ainsi que des bandes pièges cartonnées mais avec des temporalités différentes :

- Les **fruits piqués** sont prélevés pendant la période d'activité estivale du carpocapse (de juin à fin août) afin d'introduire les larves présentes dans les fruits au sein de l'augmentorium

- Les **bandes pièges cartonnées** sont installées à partir de la 3^{ème} génération (début août) et seront récoltées à l’automne afin d’introduire les larves diapausantes dans l’augmentorium.

Pour répondre à l’objectif, deux types de matériaux sont testés (Photo 1), en modèle réduit :

- un seau de contenance 5L, avec une seule ouverture sur la face supérieure
- une caisse de récolte (50*30*26.5 cm), avec de nombreuses petites ouvertures sur les faces latérales ainsi qu’une grande sur la face supérieure.



Photo 1- Caisse de récolte (à gauche) et seau (à droite) fermé par du filet « insect proof », testé pour le contenant de l’augmentorium. La caisse de récolte a des ouvertures latérales en plus d’une face supérieure complètement ouverte. Le seau n’a une ouverture réduite que sur la face supérieure.

b. Dispositif expérimental et variables mesurées

Les seaux et caisses sont recouverts d’un filet insect-proof (maille 0,80 mm *0,80 mm) afin qu’aucun insecte ne s’échappe. Chaque modalité de contenant (seau ou caisse) est répétée 3 fois. La température est mesurée dans chacune des modalités. Le dispositif est disposé à l’ombre des arbres, pendant toute la durée de l’essai (Photo 2).



Photo 2-Dispositif expérimental du contenant de l’augmentorium

Pour chacune des 3 générations de carpocapse, les manipulations suivantes sont réalisées. Vers la fin de la période d'éclosion des œufs de la génération en cours, 20 fruits piqués par le carpocapse sont placés dans chaque répétition des modalités seau et caisse, soit 60 fruits par modalité. Afin de maximiser la probabilité de présence de larves dans les fruits, les fruits introduits ne présentent qu'un seul trou (d'entrée) et avec de la sciure (marque d'une activité d'une larve).

20 fruits sains (non piqués) sont placés dans une caisse et un seau, formant ainsi un témoin de dégradation des fruits en l'absence de carpocapse.

Le dispositif est maintenu clos pendant toute la durée de la génération. Pendant cette période-là, un relevé régulier du nombre d'individus observés au sein des différentes modalités est réalisé. A la fin de la période (variable selon les générations), le système est ouvert et les fruits sont coupés pour observer :

- La présence visibles de larves vivantes ou mortes dans les fruits
- La dégradation des fruits
- Des marques d'activité du carpocapse : présence de déjections de larves, présence de cocon de pupes, etc.

L'échelle de notation de dégradation des fruits est présentée en Annexe 1, page 20.

c. Analyses statistiques

Une Analyse des Correspondances Principales (ACP) est réalisée sur les variables mesurées et observées (Tableau 2). Cette méthode d'analyse permet d'identifier les interactions entre les variables pour expliquer les comportements de groupes homogènes.

Tableau 2 - Qualité des variables observées dans l'essai, utilisées pour l'ACP

Type de variable	Variables
Variable quantitative	Nombre de larves stade L5 (vivantes et mortes)
	Nombre de larves stade inférieur à L5 (vivantes et mortes)
	Nombre de carpocapse adulte (vivants et morts)
Variable qualitative	Etat de dégradation des fruits.

2. Sous-action 2.2 : Choix de la maille

a. Choix des mailles

Le choix de la maille doit répondre à deux objectifs : laisser passer les différents parasitoïdes du carpocapse et ne pas laisser passer les papillons de carpocapse. Les parasitoïdes du carpocapse peuvent être s'attaquer aux stades larvaires (L1 à L5), pré-nymphal (stade diapausant) et au stade nymphal. Le cortège de parasitoïdes du carpocapse retrouvés dans le Sud de la France est majoritairement composé de *Ascogaster*

quadridentata, *Pristomerus vulnerator* et *Perilampus trisits*. Le parasitoïde *Mastrus ridens* est un parasitoïde exogène mais qui est en cours d'introduction avec les projets BIOCCYD-Mastrus et SuzoCarpo menés par l'INRAE, il est donc aussi considéré dans les parasitoïdes possibles du carpocapse.

Les critères morphologiques des parasitoïdes de *Cydia pomonella* qui sont les plus importants pour le choix de la taille de la maille sont la largeur et l'épaisseur de la tête des adultes. (dires d'experts) Si la maille est assez grande pour la tête des hyménoptères parasitoïdes alors il n'aura pas de difficulté à sortir lié à leur morphologie. *Mastrus ridens* est le plus gros des parasitoïdes du carpocapse (dires d'experts), les critères de taille de la maille vont donc se faire vis-à-vis de *Mastrus ridens*. Les choix de maille pour cette expérimentation ont été guidé par Myriam Siegwart (INRAE PSH), Nicolas Borowiec (INRAE Sophia Agrobiotech) et Sylvaine Simon (INRAE Gotheron).

L'objectif de ce test de maille est de déterminer si les mailles suivantes ne laisseront pas passer l'adulte de carpocapse. Les mailles passant la sélection seront testées avec des larves parasitées par *Mastrus ridens* dans la suite du projet (pas en 2023)

Tableau 3- Modalités de maille testées contre le carpocapse en 2023

Code	Modalité	Taille
M1	Filet Alt'carpo / Témoin négatif	5,5 mm * 2,20 mm
M2	Filet Alt'Eurythoma	2,21mm * 1, 71 mm
M3	Filet Alt'Droso	1,40 mm * 0,83 mm

b. Dispositif et variables observées

Afin d'évaluer la performance des mailles vis-à-vis des objectifs cités ci-dessus, 5 tubes contenant une larve ou un nymphe chacune sont placées dans un bocal recouvert de la maille à tester (voir Tableau 3). Ce bocal est ensuite placé dans un seau, lui-même recouvert d'un filet insect-proof (0,80 mm * 0,80 mm) (Schéma 1). Le dispositif est répété 3 fois pour chaque maille, soit au total 15 larves de carpocapse par modalité.

Le dispositif est placé en intérieur afin de permettre un suivi facile et une maîtrise des conditions environnantes. Un thermomètre permet de suivre la température autour du dispositif. Le dispositif est laissé clos jusqu'à la mort des individus adultes.

Les variables mesurées sont :

- Le nombre de cocon de nymphe retrouvés : indique le nombre de larves qui se sont transformés en nymphe
- Le nombre d'adultes à l'intérieur du bocal (zone A)
- Le nombre d'adultes à l'extérieur du bocal (zone B)

Ceci permet de calculer :

- Le taux d'émergence : $\text{nombre de cocon} / \text{nombre de larves introduites}$
- Le taux de fuite (flèche verte sur le Schéma 1) : $\text{nombre d'adulte dans la zone B} / \text{nombre d'adulte dans la zone A}$

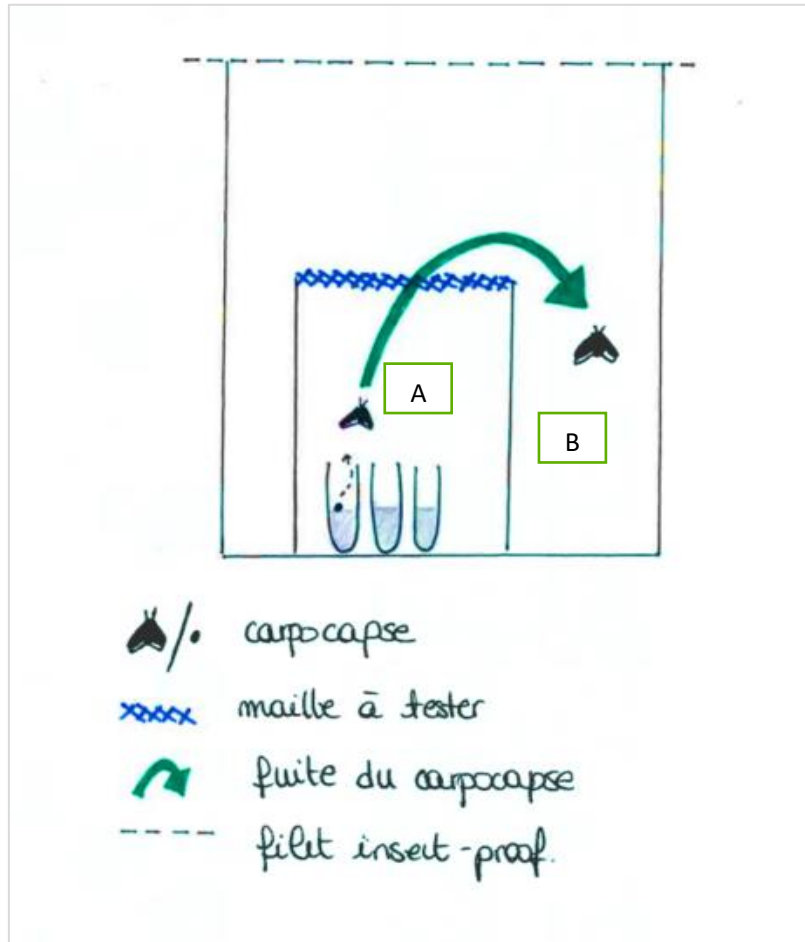


Schéma 1- Schéma du dispositif de test de maille

III. Résultats

1. Sous action 1.1 : test de contenant

Les résultats sont encore en cours d'analyse, mais l'exploration des données nous permet de faire les constats suivants.

Aucun individu n'a été retrouvé dans les seaux et caisses témoins (sans fruits piqués).

Il y a plus d'individus de carpocapse observés dans les seaux que dans les caisses (Figure 7), quelle que soit la génération. Les différents stades recherchés sont retrouvés dans les seaux tandis que dans les caisses, seuls les stades larve L5 et adulte sont retrouvés. Dans la globalité, peu d'individu de carpocapse sont retrouvés, puisque sur les 60 fruits avec piqûres introduits dans chaque des contenant, un maximum de 12 individus sont retrouvés dans les seaux lors de la 3^{ème} génération.

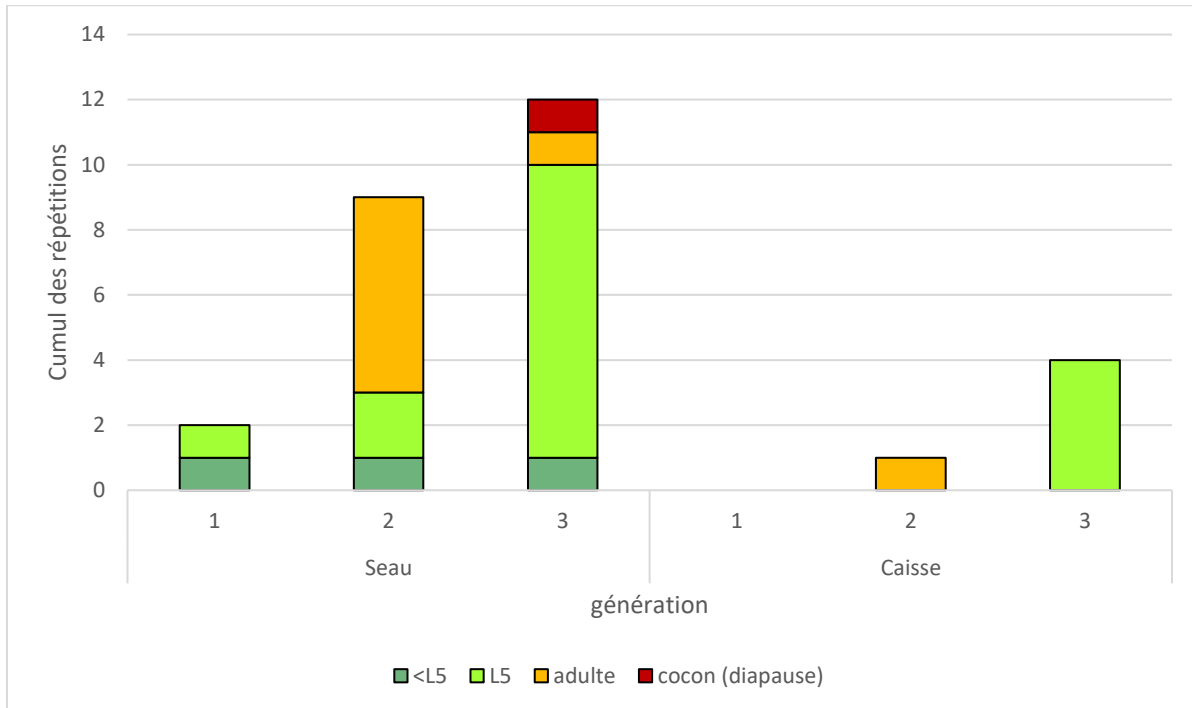


Figure 7- individus de carpocapses retrouvés dans les deux types de contenants au cours des 3 générations

La dégradation des fruits est hétérogène entre les caisses et les seaux mais aussi au cours du temps (Figure 8 à Figure 10). Il semble que les fruits dans les seaux sont de moins en moins dégradés (évolution vers des couleurs brunes) au fur des générations. Dans les caisses, les fruits sont très peu dégradés.

Les pépins sont peu touchés par le carpocapse lors de la 1^{ère} et 3^{ème} génération de façon assez nette (Figure 8 et Figure 10). A contrario, lors de la 2^{ème} génération (Figure 9) il y a plus de fruits avec des pépins touchés, mais l'écart entre pépins touchés et pépins non touchés est moins marqué. De façon générale, les fruits ont plus de pépins intacts dans les caisses.

Lors que les pépins sont touchés par le carpocapse cela montre que la larve qui était présente dans le fruit a pu aller jusqu'au pépins et faire la majorité de son développement. Donc en théorie si plus de fruits sont des pépins touchés, on devrait observer plus d'individus aux stades L5 et adulte.

Il y a plus de fruits avec pépins intacts dans les caisses que dans les seaux, et plus d'individus observés dans les seaux que dans les caisses. Cependant, cela ne permet pas à ce stade de conclure que les seaux sont plus favorables au développement du carpocapse et à ses parasitoïdes. En effet, il est possible que, apr le biais du hasard, il y ait moins de larves vivantes introduites dans les caisses que dans les seaux. Pour rappel, les fruits ne sont pas ouverts pour vérifier la présence de larve dans le fruit avant introduction dans le dispositif.

De plus, si on s'intéresse aux températures dans les deux dispositifs (Figure 11 et Figure 12), on remarque que la température est très supérieure dans les seaux par rapports aux caisses, avec des températures dépassant régulièrement les 40°C pendant plusieurs heures dans les seaux quand la température dans les caisses ou en verger (mesure sous abris) est d'environ 30°C.

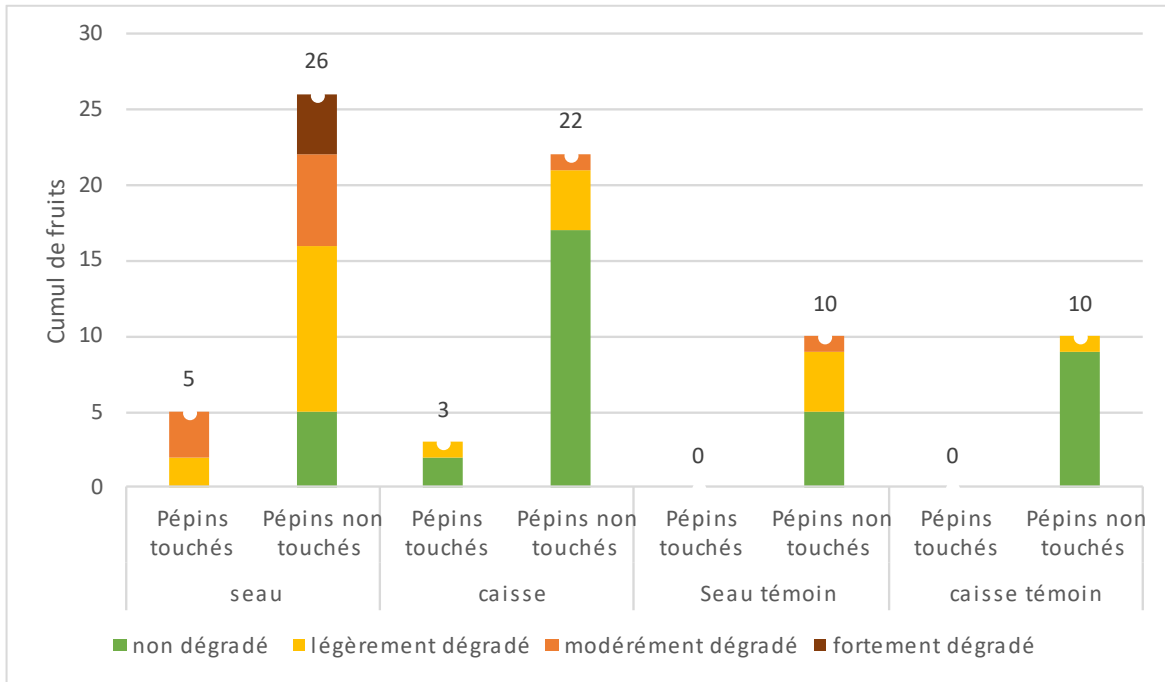


Figure 8- Dégradation des fruits pendant la 1ère génération

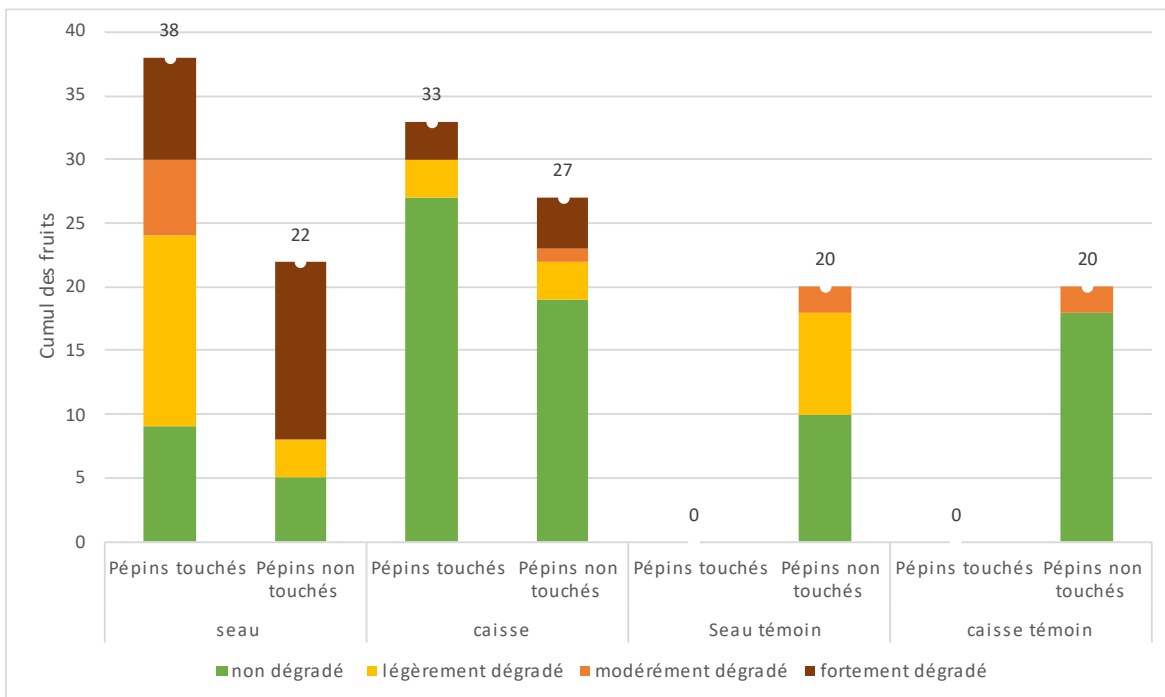


Figure 9- Dégradation des fruits lors de la 2ème génération

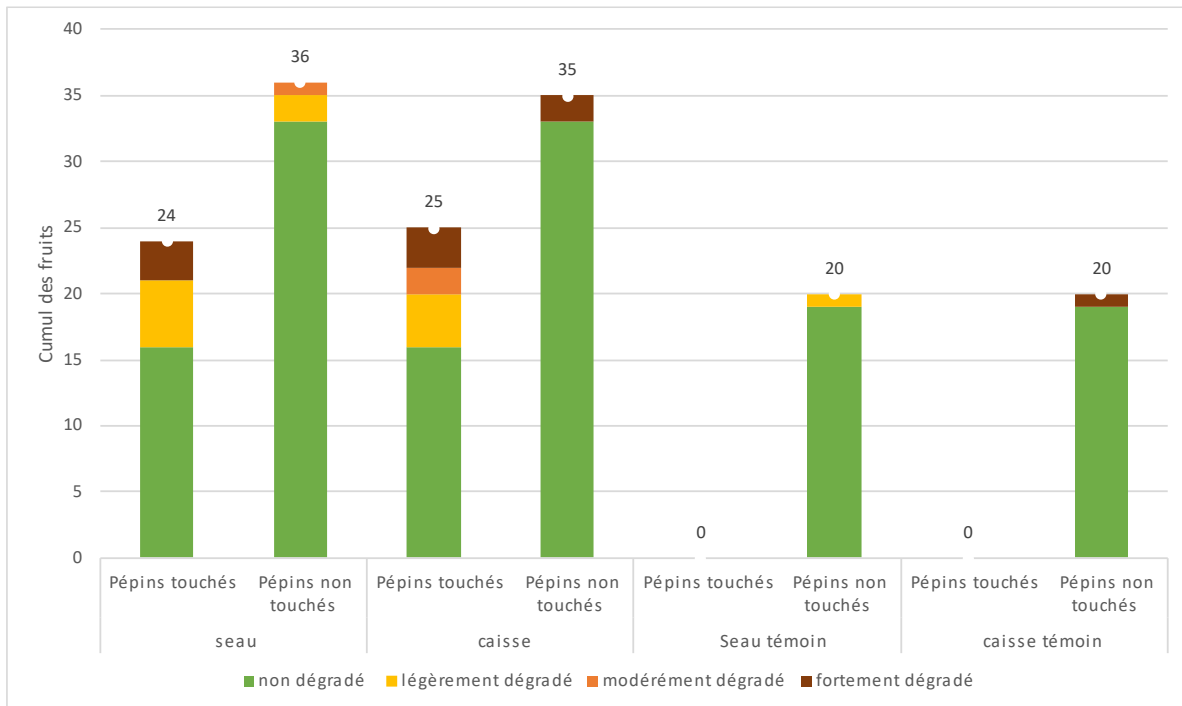


Figure 10- Dégradation des fruits lors de la 3ème génération

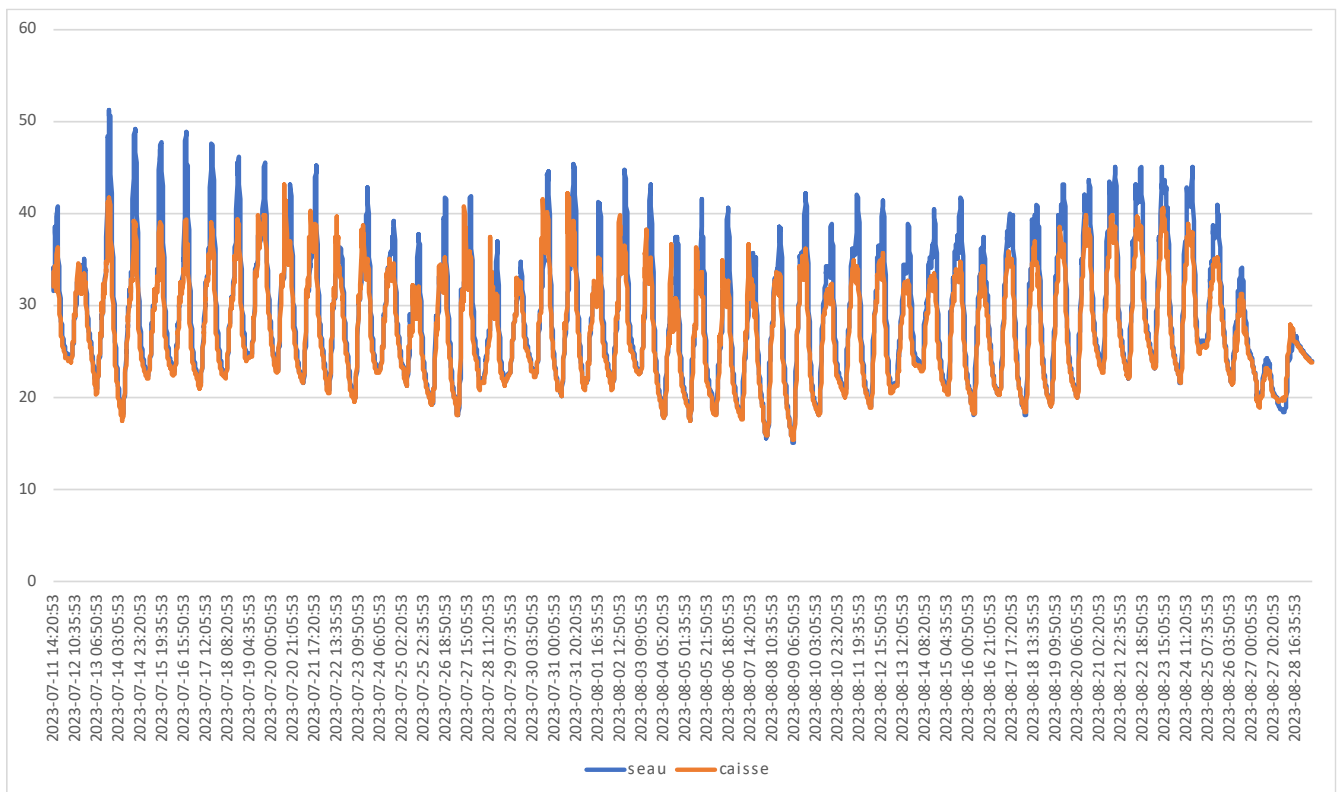


Figure 11- Température dans les dispositifs au cours de la 2ème génération

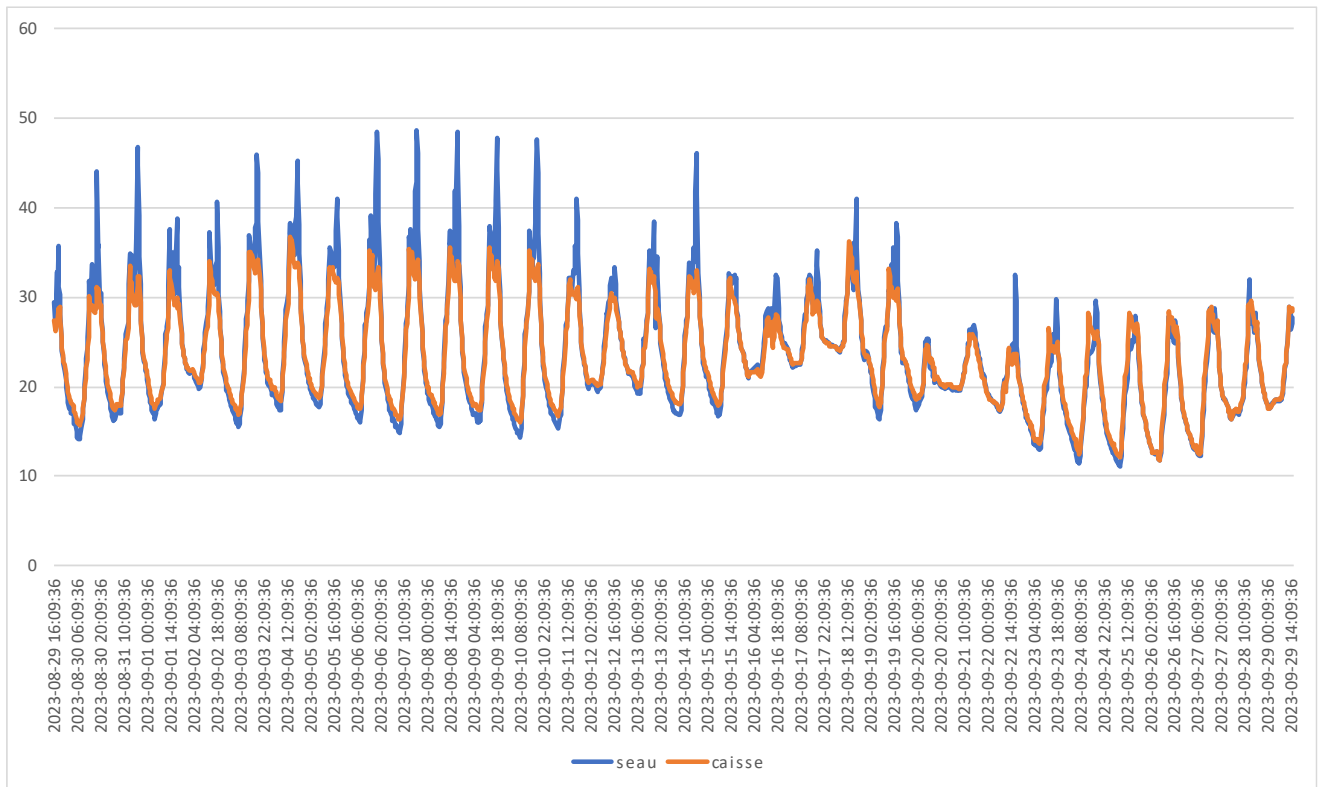


Figure 12- Température dans les dispositifs au cours de la 3ème génération

2. Sous-action 2.2 : Test de maille

Les larves de carpocapse ont été fournies par l’INRAE à l’automne 2023. Le dispositif n’a pas permis de répondre à la question posée puisque très peu d’adultes ont émergés. Les taux d’émergence (transformation des larves en pupes) est en moyenne de 0,37 toute modalité confondue. Ce taux ne permet d’avoir une population assez importante pour conclure sur le reste de l’expérimentation.

Des ajustements méthodologiques sont à prévoir pour 2024.

Les données brutes sont présentées en Annexe 2, page 23.

IV. Discussion des résultats et conclusions

Les résultats sur les contenants montre qu’une adaptation du protocole est nécessaire pour mieux contrôler le nombre de larves introduites dans les deux dispositifs. Il reste néanmoins intéressants de vérifier la dégradation des fruits dans les différents contenants pour confirmer les observations de 2023.

Les résultats sur les types de maille poussent aussi à une adaptation du protocole afin d’assurer un plus grand nombre d’adulte disponible, soit par la modification de la technique d’élevage, soit par la provenance des larves.

Annexe 1- Stades de dégradation des fruits dans l'augmentorium

Classe 1- Non dégradé



Classe 2- Légèrement dégradé



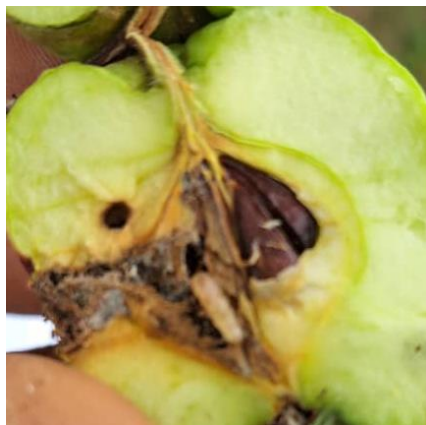
Classe 3- Modérément dégradé



Classe 4- Fortement dégradé



Classe 1 à 4 bis : Dégâts des larves sur les pépins



Modalité	Répétition	Nombre de larves introduites	Nb de cocon retrouvés	Nb de larves zone A	Nombre d'adultes zone A	Nb d'adultes zone B	taux d'émergence	taux de fruite
Alt' Eurytoma	1	5	2	0	2	0	0,4	0
Alt' Eurytoma	2	5	1	0	1	0	0,2	0
Alt' Eurytoma	3	5	2	0	2	0	0,4	0
Alt'Carpo	1	5	1	0	1	0	0,2	0
Alt'Carpo	2	5	0	0	0	0	0	NA
Alt'Carpo	3	5	2	0	2	0	0,4	0
Alt'Droso	1	5	4	0	4	0	0,8	0
Alt'Droso	2	5	1	0	1	0	0,2	0
Alt'Droso	3	5	4	0	4	0	0,8	0

Annexe 2 - Données brutes pour le choix de la maille

Action 3 : Stratégies de protection biocontrôle

I. Introduction

L'objectif de cette action est de réussir à piloter une stratégie pour maîtriser le carpocapse sans insecticide de synthèse dans un contexte de pression du ravageur très intense. Les leviers utilisés dans cette modalité « allégée » sont le renforcement de la confusion sexuelle, l'utilisation de la prophylaxie et l'application de produits de biocontrôle.

II. Protocole

1. Dispositif expérimental

Le protocole est adapté de la méthode CEB MG09 « Principes généraux d'étude de l'efficacité au champ de produits à bases de phéromones et autres médiateurs chimiques destinés à lutter contre les ravageurs par confusion des adultes ». Dans le cadre de la méthode initiale, les seules variables entre les différentes modalités sont la nature des kairomones, leur concentration ou leur mode d'application. Dans le cadre de notre essai, nous allons mettre en place de la confusion sexuelle, mais aussi différentes traitements (insecticides ou biocontrôle) et différentes dates d'application (différences d'OAD de pilotage des stratégies).

Le dispositif est donc similaire à celui exposé dans la méthode CEB MG09 puisque c'est un essai de valeur pratique, réalisé en grande parcelle, avec une parcelle de référence et une parcelle avec des stratégies à tester.

Dans la parcelle de référence (parcelle J), la parcelle brute (2,26 ha) est constituée de différentes variétés, à différentes densité, toutes conduites en PFI. La parcelle nette est constituée de 8 rangs de Sundowner Joya® planté sur EMLA à 4 m*1,5 m (0,6 ha).

Dans la parcelle de de biocontrôle (parcelle N, 1,05 ha) est constituée uniquement de Sundowner Joya® plantés ou surgreffés sur Pajam 1.

- Espèce : Pommier (*Malus domestica* Borkh).
- Variété : Sundowner Joya®
- Conduite en axe vertical, en PFI
- Densité :
 - Parcelle de référence : 4 m x 1,5 m
 - Parcelle de biocontrôle : 4 m x 1 m (8 rangs) et 4 m x 2 m (7 rangs)

2. Modalités

Les modalités réalisées à SudExpé en 2023 sont présentées dans le Tableau 4.

La modalité référence correspond à la stratégie classique en PFI de lutte contre le carpocapse à l'aide de confusion sexuelle, d'insecticide et de virus de la granulose. L'utilisation de nématodes, parasite des larves, est préconisée depuis plusieurs année. Cependant le traitement étant difficile à faire en raison des

conditions climatiques à respecter et le prix des produits, c'est une méthode qui se développe lentement. Elle fait néanmoins partie des préconisations du bassin Sud-Est et est intégrée à la modalité référence.

A partir de cette modalité, les traitements de biocontrôle sont substitués aux traitements insecticides de la stratégie de référence dans la référence de biocontrôle. À cela est ajouté un renforcement de la confusion sexuelle. Avant le vol de deuxième génération, une demi-dose supplémentaire est ajoutée. Les applications de virus de la granulose ou de nématodes seront pilotées dans cette stratégie par deux modèles différents.

Tableau 4 : Détail des stratégies mises en œuvre dans chacune des modalités

Nom de la stratégie	Pilotage	Méthodes	Dose
Stratégie de référence (parc. J)	Modèle INRAE (Boivin et Sauphanor, 2005) accessible sur la plateforme INOKI (CTIFL), dont SudExpé se sert dans sa participation au SudAbro /BSV	Confusion Ginko	500 diffuseurs/ha + 10% sur les bordures
		Insecticide	Emamectine
			Spinosad
			Spinetoram
		Virus de la granulose	Carpovirusine Evo 2 Madex Pro
Nématodes	selon la spécialité		
Stratégie Biocontrôle (par. N)	Modèle INRAE (Boivin et Sauphanor, 2005) accessible sur la plateforme INOKI (CTIFL), dont SudExpé se sert dans sa participation au SudAbro /BSV	Confusion Ginko	500 diffuseurs/ha + 10% sur les bordures
		Renforcement de la confusion	250 diffuseurs/ha
		Virus de la granulose	Carpovirusine Evo 2 Madex Pro
			Nématodes

Les modalités étant réalisées en grandes parcelles, les traitements sont réalisés au pulvérisateur tracté.

Les vols sont surveillés grâce à un système de piégeage avec le piège DELTA et une capsule de COMBO (phéromone sexuelle codlémone + kairomone : ester de poire). Les traitements seront positionnés grâce au modèle INRAE (Boivin et Sauphanor, 2005) accessible sur la plateforme INOKI du CTIFL (<https://inoki.ctifl.fr>). Les conditions météorologiques lors des applications et tout au long de l'essai sont relevées par la station météo de SudExpé, à proximité de la parcelle.

3. Observations et analyses des données

A partir de la première génération, des comptages sont réalisés tous les 10 à 15 jours, à 50% des éclosions et en fin de génération (90 % des éclosions).

Les comptages sont réalisés sur 1 000 fruits à raison de 20 fruits par arbre, sur 50 arbres répartis dans la parcelle de façon à former un maillage de la parcelle. Les fruits sont choisis sur le tier supérieur de l'arbre. Lors de ces comptages, les fruits sont classés dans les catégories suivantes :

- Classe 1 : Fruits sains de dégâts de carpocapse
- Classe 2 : piqûres sèches : fruits piqués, qui sont les fruits avec pénétration de la larve dans l'endocarpe du fruit, mais absence de larve (galerie interrompue).
- Classe 3 : Piqûre avec larves active : présence d'une larve vivante ou d'une larve ayant déjà fini son cycle (présence d'un trou de sortie)

Les fruits peuvent être ouverts pour détecter la présence de larve ou pour identifier s'il s'agit bien d'une larve de carpocapse, et non d'une larve de tordeuse orientale (*Grapholita molesta*).

III. Résultats

1. Contexte climatique et épidémiologique

L'année se caractérise par un début de printemps doux puis humide et mai et juin (figure 13). Dans ce contexte, les premières captures d'adulte de carpocapse sont faites le 17 avril ce qui constitue une date moyenne par rapport aux années précédentes. De même les dates des éclosions prévues par le modèle situe la première génération dans la moyenne puis les générations suivantes plutôt dans les années précoces (2015, 2020), avec notamment une 3^{ème} génération complète à 88% (Figure 13 et Figure 14).

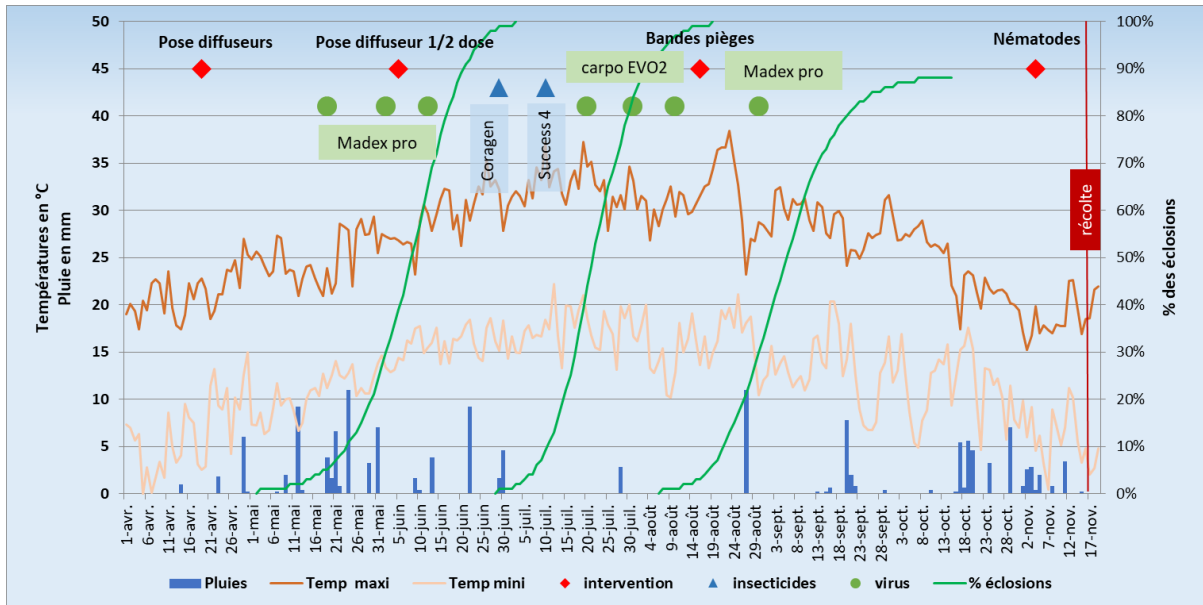


Figure 13 : Graphique ombrométrique de la saison 2023 ainsi qu'épidémiologique avec la représentation courbe d'éclosion selon le modèle INRAE de Boisin et Sauphanor (2006). Les principales interventions concernant la modalité « biocontrôle » sont également représentées.

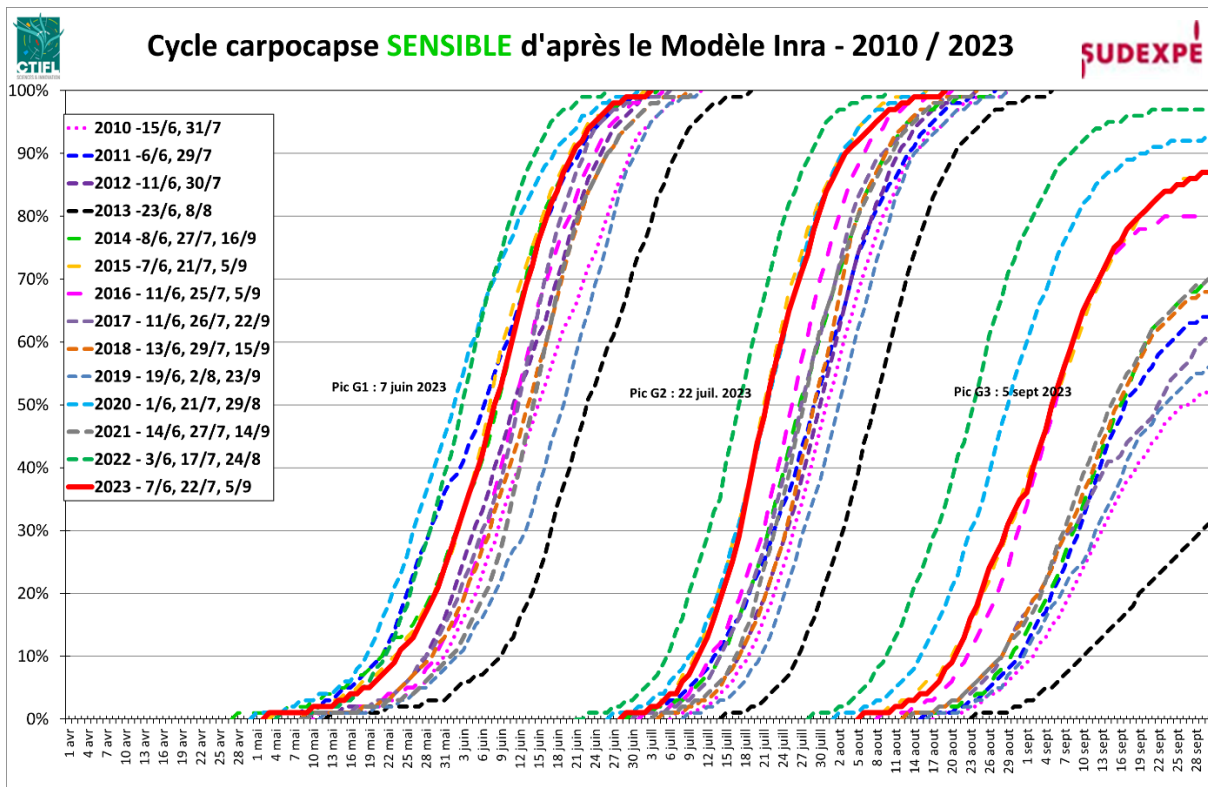


Figure 14 : Historique des éclosions à SudExpé Marsillargues depuis 2010 (modèle de Boisin et Sauphanor, 2006). Les dates indiquées, correspondent au pic des éclosions (soit 50 % des éclosions) pour chaque génération de carpopapse.

A ce contexte favorable au développement rapide du carpocapse pour les deuxième et troisième générations, il faut mentionner l'historique élevé sur les parcelles d'essai et donc une synergie favorable au carpocapse en 2023 sur la station. Nous pouvons donc indiquer que la pression fut cette année forte à très forte sur nos parcelles d'essais.

2. Contrôle de la présence des larves en cours de saison

Le pilotage de la stratégie est modulé par des contrôles de présence de larves en cours de saison. Ces contrôles réalisés sur 1000 fruits au pic des éclosions et en fin de génération, permettent selon certaines règles de décision, de choisir quel type d'intervention effectuer. Au niveau régional, les seuils d'intervention sont les suivant :

- Si l'historique et la pression de la parcelle sont faibles, entre 0 et 0,5 % de présence de larves, pas d'intervention ou du virus de la granulose.
- Si l'historique et la pression de la parcelle sont faibles, entre 0,5 et 1 % de présence de larves, intervention avec du virus de la granulose.
- Si l'historique et la pression de la parcelle sont faibles, plus de 1 % de présence de larves, intervention avec un insecticide de plus grande efficacité.
- Si l'historique et la pression de la parcelle sont forts, dès la présence de larve intervention avec du virus ou un insecticide de plus grande efficacité.

Dans le cadre de notre essai, les historiques sont particulièrement élevés. De fait nous avons choisis d'intervenir systématiquement en première génération avec l'optimum de traitement dans la stratégie de référence et avec du virus de la granulose dans la stratégie allégée. Nous modulons ensuite pour les deuxième et troisième générations en fonction de la présence des larves actives.

Les seuils que nous avons définis pour l'essai sont les suivants :

Tableau 5 : Règles de décision pour le choix des produits phytopharmaceutiques en fonction des contrôles effectué au cours de la saison

% de présence de larve	Référence	Stratégie allégée
0 – 0,5 % de présence	Virus de la granulose	Virus de la granulose en G1 ou G3, rien en G2
0,5 – 1 % de présence	Insecticide en G1 ou G3, virus de la granulose en G2	Virus de la granulose
1 – 2 % de présence	Insecticide	Virus de la granulose
> 2 % de présence	Insecticide	Insecticide de synthèse, arrêt de l'essai selon gravité de la présence

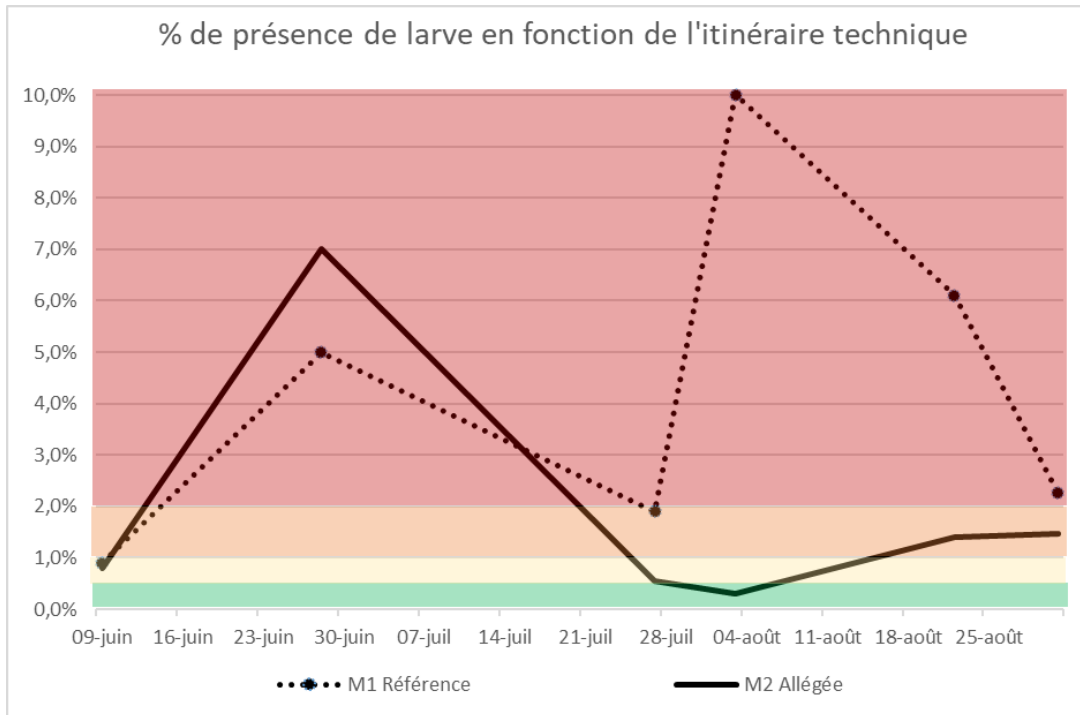


Figure 15 : Présence des larves actives selon les contrôles effectués au pic et en fin de génération en 2023 et selon les modalités. Pour la Troisième génération, les contrôles sont faits à 10 puis 50 % des éclosions. Les couleurs représentent les seuils d'acceptabilité dans l'essai.

La Figure 15 nous montre que la présence des larves actives est déjà très importante au pic de G1, avec 0,9 et 0,8 % de présence respectivement pour les modalités référence et allégée. En fin de G1, les niveaux de présence sont intolérables avec respectivement 5 et 7 % de larves actives. En deuxième génération le niveau redevient acceptable pour la modalité allégée (0,5 % au pic et 0,3 % en fin de génération). En revanche dans la modalité de référence, on reste sur des niveaux de présence très élevés : 1,9 % puis 10 % en fin de G2. En troisième génération, les niveaux de présence sont élevés pour les deux stratégies : 1,4 puis 1,5 % pour la modalité allégée et 6,1 puis 2,3 % pour la modalité de référence.

3. Itinéraire technique

Le Tableau 6, ci-dessus décrit l'itinéraire technique suivi dans chacune des modalités pour maîtriser le carpocapse. La confusion sexuelle est installée pour chacune des modalités le 19 avril, au moment des premières captures de carpocapse, ce qui est un peu tard, idéalement il aurait fallu l'installer une semaine plus tôt. Pour la modalité de référence, conformément aux pratiques et aux recommandations régionales en cas de forte pression, le Chloranthraniliprole est appliqué en tout début de la première génération (1 % des éclosions). Ensuite l'isolat Madex pro® (spécialité de la société Andermatt) est appliqué à 30 % puis sur le pic à 65 % des éclosions (respectivement les 2 et 12 juin). Sur la modalité « allégée », on applique uniquement du virus de la granulose (spécialité Madex pro®) aux mêmes dates. Sur cette modalité, nous avons également renforcé la confusion sexuelle avant le vol de deuxième génération avec l'installation d'une demi-dose de diffuseur de phéromone (250 diffuseurs / ha).

On constate en fin de première génération une forte présence de larves active (Figure 15), dans chacune des modalités et plus particulièrement dans la modalité allégée (10 %). Ce niveau est totalement au-delà du

seuil défini par la PFI pour intervenir avec un insecticide de synthèse. De ce fait, nous avons fait le choix d'intervenir dans la modalité allégée avec un Coragen® suivi d'un Success 4®. A ce stade, nous pensions arrêter l'essai. Cependant, le retour à des niveaux de présence acceptable en G2 puis en G3, nous a incité à poursuivre avec une stratégie allégée sur la parcelle concernée, nous avons ainsi appliqué en alternance les virus de la granulose (Carpovirusine EVO2® en G2 et Madex pro® en G3). Sur la parcelle de référence, nous avons utilisés les insecticides disponibles et recommandés dans la région, Affirm® (emamectine) et Efficace® (spinetorame).

Les deux parcelles ont été traitées à l'automne avec des nématodes entomopathogènes, *Steinernema feltiae* (spécialité Capirel® de la société Koppert). La récolte des pommes est effectuée mi-novembre, le 16.

Tableau 6 : Itinéraire technique pour maîtriser le carpocapse selon les modalités.

Date	Stratégie de référence	Stratégie allégée	Génération carpocapse		
14-nov-22		Capirel (1 boîte/ha)	G1	G2	G3
19-avr.	Ginko (500 diff/ha + 10%)	Ginko (500 diff/ha + 10%)			
19-mai	Coragen (0,175 l/ha)	Madex pro (0,1l/ha)			
2-juin	Madex pro (0,1l/ha)	Madex pro (0,1l/ha)			
5-juin	/	Ginko (250 diff/ha)			
12-juin	Madex pro (0,1l/ha)	Madex pro (0,1l/ha)			
29-juin	Affirm (2kg/ha)	Coragen (0,175 l/ha)			
10-juil.	Success 4 (0,2 l/ha)	Success 4 (0,2 l/ha)			
20-juil.	Carpovirusine EVO2 (1 l/ha)	Carpovirusine EVO2 (1 l/ha)			
31-juil.	Carpovirusine EVO2 (1 l/ha)	Carpovirusine EVO2 (1 l/ha)			
10-août	Efficace (0,25 kg/ha)	Carpovirusine EVO2 (1 l/ha)			
30-août	Affirm (2kg/ha)	Madex pro (0,1l/ha)			
12-sept.	Affirm (2kg/ha)	Madex pro (0,1l/ha)			
4-nov.	Capirel (1 boîte/ha)	Capirel (1 boîte/ha)			
16-nov.	Récolte	Récolte			

4. Impact du ravageur selon les modalités.

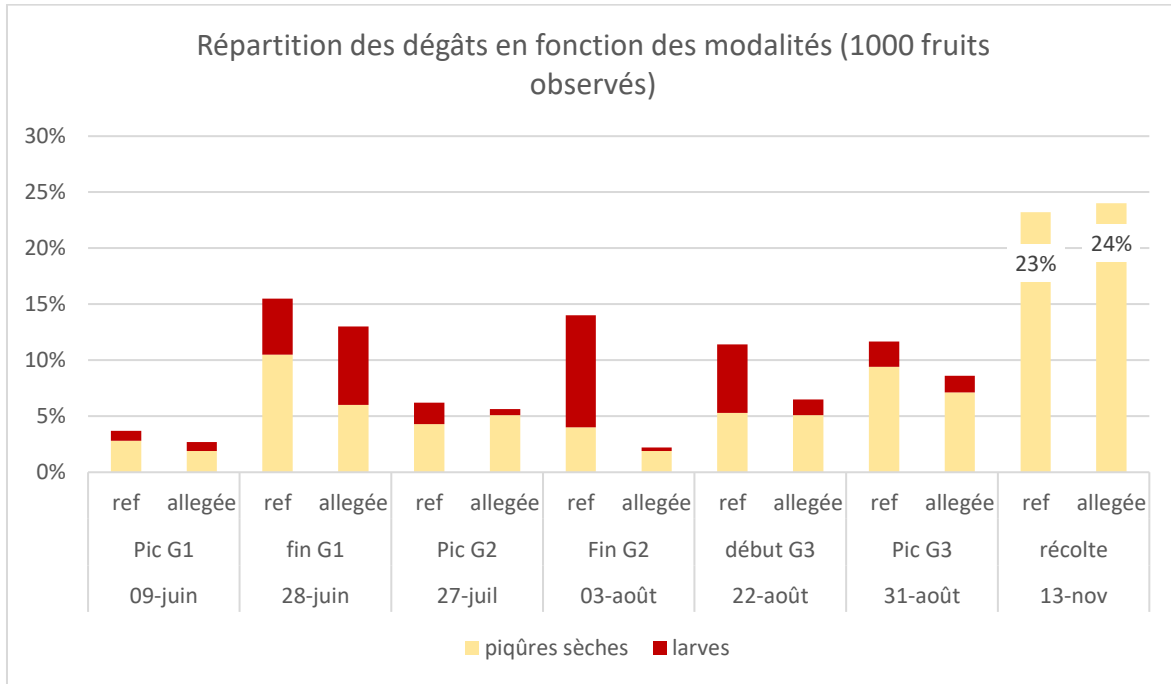


Figure 16 : Taux de dégâts selon les modalités et selon leur intensité (piqûres sèches ou piqûres avec présence de larve) tout au long de la saison.

Le graphique ci-dessus (Figure 16), présente les niveaux de dégâts au cours de la saison ainsi qu'à la récolte pour chacune des modalités. De manière générale, en saison les niveaux de dégâts sont élevés avec régulièrement (4 fois) plus de 10 % de fruits piqués dans la modalité de référence et entre 5 et 10 % de fruits piqués pour la modalité allégée.

A la récolte les deux modalités présentent le même niveau de dégâts avec 23 et 24 % de fruits piqués. En l'état, aucune des deux stratégies n'a permis d'obtenir un niveau satisfaisant à la récolte.

5. Impact de l'application des nématodes entomopathogènes

Les bandes pièges ont été installées assez tardivement en début de 3 génération, le 16 août. L'objectif de l'installation de ces bandes est d'abord de réaliser une action de prophylaxie. Mais nous allons aussi nous en servir pour mesurer l'efficacité du traitement avec les nématodes entomopathogènes (NEP) à l'automne. Un premier prélèvement de 25 bandes est effectué le 15 octobre avant le traitement de NEP. Puis un second prélèvement de 25 bandes pièges est effectué après le traitement avec les NEP. Nous comparons ainsi le taux de larves vivantes par bandes. Les autres bandes pièges sont retirée de la parcelle avant le printemps 2024.

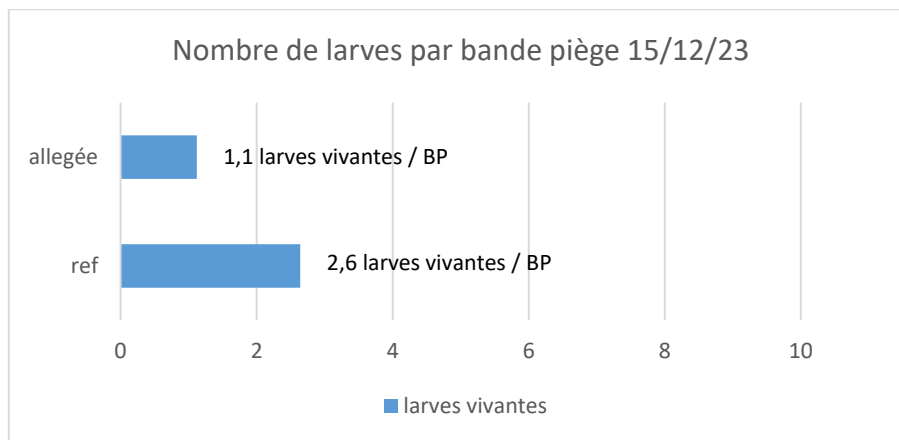
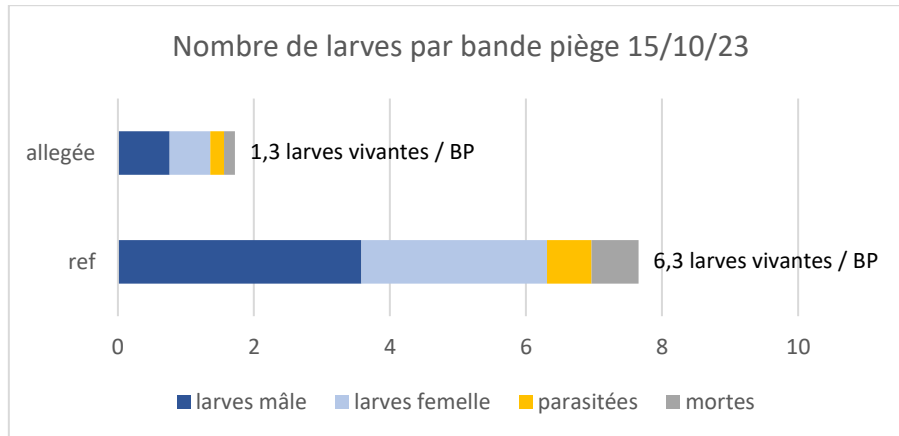


Figure 17 (haut) et 18 (bas) : Nombre de larves vivantes par bande piège avant puis après application de NEP (le 4/11/23)

Les figures ci-dessus nous indiquent tout d’abord un très fort taux de présence de larves vivantes dans les bandes pièges avant le traitement avec les NEP pour celles prélevée dans la modalité de référence, avec 6,3 larves par bande. Dans la modalité allégée, ce taux est élevé mais moindre avec 1,3 larves vivante par bande. C’est tout à fait représentatif des dégâts en saison dans les deux modalités.

Après application des NEP, on constate que dans les deux cas on retrouve des larves vivantes : 2,6 larves par bande dans la modalité de référence soit 58 % d’efficacité et 1,1 larves par bande dans la modalité allégée, soit 18 % d’efficacité.

IV. Discussion des résultats et conclusions

La pression cette année a été très intense et de ce fait, sur les deux parcelles d'essai, on constate l'échec de chacune des stratégies qu'elle soit de référence, ou qu'elle soit allégée avec le même niveau d'intensité des dégâts à la récolte.

La stratégie allégée n'a pu être conduite entièrement sans insecticides de synthèse. En effet, étant donné le niveau de présence de larve actives en fin de première génération une intervention avec du chlorantraniliprole a été nécessaire. On peut observer la performance du positionnement de cette molécule à ce stade (habituellement positionné au début de la première génération), puisqu'on a retrouvé un niveau de présence de larves acceptable en deuxième et troisième génération.

Pourtant à la récolte les dégâts sont similaires dans les deux modalités. On notera aussi la présence extrêmement tardive de larves L4 et L5 dans les fruits à la récolte (16 novembre). Une explication possible est la prolongation de la troisième génération pendant le mois d'octobre du fait des températures très douces en fin de journée et début de nuit notamment. La stratégie de protection ayant été stoppée à la mi-septembre (hors action de prophylaxie), il est probable que de nombreuses piqûres aient eu lieu tardivement expliquant ces taux de dégâts très élevés à la récolte.

De même il est probable qu'une certaine partie des larves ne soit descendue en diapause qu'après le traitement avec les nématodes entomopathogènes, expliquant ainsi la présence élevée de larves vivantes dans les bandes pièges au mois de décembre.

En 2024, nous poursuivrons cet essai, en utilisant d'autres leviers pour la stratégie de « allégée ». Ainsi il est prévu d'utiliser un adjuvant pour améliorer l'efficacité des virus de la granulose (d'après les résultats encourageants de l'action 1). Nous essaierons d'utiliser la solution de confusion pulvérisable en amont de la pose de diffuseurs et en fin de cycle pour prolonger la période de protection. Enfin, en cas de présence très importante, nous utiliserons les bandes pièges comme piégeage massif.