



MÉMOIRE de FIN d'ÉTUDES
pour l'obtention du
DIPLOME d'INGÉNIEUR AGRONOME

Spécialisation : AGRoÉcologie, du Système de
production au Territoire (AGREST)

© Kaoutar EL-OUALYDY

Étude d'une lutte alternative par *Push-Pull* sur la mouche
du brou (*Rhagoletis completa*) au sein du groupe DEPHY
Ferme Noix du Sud-Ouest :
association d'argile insectifuge et d'insecticide hyperlocalisé, avec
monitoring sémiochimique

par Vräel BERNARD

11 Avril - 14 Octobre 2022
COULOUNIEIX-CHAMIER
Chambre d'Agriculture de Dordogne



Soutenu le 21/10/22 à TOULOUSE

Devant le jury :

Maître de stage :
Didier MERY

Tuteur académique :
Jean-Pierre SARTHOU

Correctrice :
Mélodie OLLIVIER

REMERCIEMENTS

Tous mes remerciements vont aux agriculteur-ices du groupe DEPHY pour leur accueil, leur disponibilité et toutes les connaissances qu'ils m'ont transmises. Je remercie tout particulièrement les trois agriculteurs s'étant portés volontaires pour participer activement à la mise en place des essais sur leurs parcelles et qui ont accueilli les différentes journées techniques.

Je suis très reconnaissant à Didier MERY, conseiller arboriculture à la Chambre d'Agriculture de Dordogne et maître de stage, pour sa grande bienveillance dès le premier jour et pour ses nombreux apprentissages dispensés avec passion tout au long de ces six mois riches de sens.

Un immense merci aux ingénieures chargées d'expérimentation de la station expérimentale de Creysse, Héloïse TRANCHAND et Marie-Neige HÉBRARD, qui m'ont accompagné tout au long de la rédaction du protocole créé pour cette étude et dans l'analyse des résultats. Leur expertise, leur connaissance du terrain et leurs divers retours ont été une grande source d'enseignements très formateurs.

Merci à Fanny VOGELWEITH, responsable du service expertise et accompagnement technique et experte en vigne et arboriculture chez M2i, qui m'a apporté son expertise en monitoring et avec qui les discussions sur le terrain ont été passionnantes.

Merci à Laurine PABIS, responsable développement Sud-Ouest, et Stéphane DELPECH, chargé d'affaires, de Vivagro pour avoir partagé leurs connaissances sur le produit et participé à la journée technique.

Je souhaite particulièrement remercier Jérôme VIBERT, agro-informaticien au CTIFL, pour m'avoir accordé l'accès au modèle d'émergence INOKI Mouche du Brou DGAL, m'avoir accompagné dans son exécution et pour avoir échangé avec moi sur les caractéristiques de ce type de modélisation.

Ma reconnaissance va aussi à Thierry GINIBRE, technicien à CoopCerno et collègue du bulletin technique qui a partagé avec moi le modèle degré-jours utilisé pour la mouche du brou et qui m'a aimablement fourni de la bibliographie à ce propos.

Je remercie Elisa VIGNAUD, inspectrice en santé du végétal et animatrice filière de la FREDON, avec qui j'ai pu échanger sur les différents ravageurs présents et futurs, discuter du comportement de Rhagoletis completa et dont l'expertise en entomologie m'a été fort instructif.

Merci à Nicolas FEDOU, chargé de mission Climat à la Chambre d'Agriculture de Dordogne, pour m'avoir fourni l'accès aux stations météorologiques du réseau chambre et permis ainsi de modéliser l'émergence du ravageur.

Ma gratitude va à Marie-Hélène ROBIN, enseignante-chercheuse à l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan en agronomie et à INRAE, pour m'avoir accordé du temps et expliqué en détail le fonctionnement du modèle IPSIM Déperissement du noyer.

Merci à Jean-Noël AUBERTOT, chargé de recherche en protection des cultures et modélisation à INRAE, pour m'avoir mis en contact avec Marie-Hélène ROBIN et pour m'avoir fourni l'accès aux documents en cours de conception sur l'évaluation multicritérielle dans le cadre du futur MOOC GASCON.

Merci également à Fanny VERNIER, conseillère oléiculture de la Chambre d'Agriculture du Var et animatrice DEPHY Fermes Oléiculture, qui a échangé avec moi à propos de la problématique de la mouche de l'olive, cousine de la mouche du brou et sur les moyens de lutte et les protocoles adaptés pour l'utilisation de barrière physique.

Merci à Raphaël RAPP, animateur du réseau de Surveillance Biologique du Territoire et chargé de missions Ecophyto et Biocontrôle à la Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine pour m'avoir accordé l'accès aux données météorologiques des stations situées hors de Dordogne.

Merci à Mélodie OLLIVIER, maîtresse de conférences en entomologie agricole à l'INP-ENSAT, pour avoir accepté d'être la correctrice de ce mémoire.

Enfin, je suis grandement reconnaissant à mon tuteur d'école Jean-Pierre SARTHOU, enseignant-chercheur à l'INP-ENSAT et INRAE, pour son accompagnement, et au-delà pour la formation qu'il a délivrée pendant ces trois années de cursus et sans laquelle je n'aborderais pas l'agronomie de la même manière.

RÉSUMÉ

La mouche du brou, *Rhagoletis completa*, est une espèce invasive arrivée en 2011 en Dordogne, où sans méthode de lutte elle peut détruire jusqu'à 80% de la récolte de noix. Sans prédateur ou parasite naturel connu, sa gestion se fait uniquement via des insecticides au nombre de plus en plus réduit, ou via l'application de barrières physiques à l'efficacité imparfaite. Afin d'éviter une impasse technique future et de préserver les auxiliaires, nous avons testé au champ, sur trois systèmes, une stratégie de lutte alternative mêlant les concepts de *push-pull* et *attract-and-kill* en employant conjointement argile insectifuge et hyperlocalisation d'insecticide attractif.

À la question « la lutte alternative offre-t-elle une réponse satisfaisante aux besoins de la filière nucicole concernant la maîtrise du ravageur *Rhagoletis completa* ? », nous pouvons répondre que les essais au champ de 2022 ont montré : 1) une efficacité équivalente aux références producteurs (0.8 à 3.8% de dégâts), 2) les rangs recevant l'insecticide attractif ne sont pas plus attaqués que ceux protégés par l'argile, 3) les rangs en bordure de zones refuges suspectées (bordure ripisylves, noyeraies voisines) ne sont pas plus infestées, voire le sont moins, que le cœur des parcelles et 4) selon le système de comparaison, la méthode par *push-pull* telle que proposée n'est pas plus chronophage (+/- 15 mn/ha) ou chère (73 à 100€/ha) que les pratiques usuelles, tout en utilisant moins ou autant de matière active biocide.

Notre étude s'est aussi portée sur un nouveau type de *monitoring*, utilisant des phéromones sexuelles. Le seuil de quinze captures successives semble bien correspondre au début du pic de vol mais nécessite de la réactivité de la part des producteur-ices. Par ailleurs, le *sex-ratio* (1154 ♀, 904 ♂), issu des captures de *monitoring* ne met pas en évidence une attractivité sexuelle significative et de ce fait, ces capsules de phéromones ne sont pas encore satisfaisantes pour un usage autre que le monitoring tel que la lutte par confusion sexuelle des femelles.

En conclusion, les résultats de la lutte par *push-pull* sont prometteurs mais doivent être mis à l'épreuve sur plusieurs années, l'expérience répétée sur un plus grand nombre de systèmes et la méthodologie de l'étude qualitative améliorée.

Mots-clefs : lutte intégrée, agroécologie, mouche, nuciculture, hyperlocalisation, phéromone

ABSTRACT

The Walnut Husk Fly (*Rhagoletis completa*) is an invasive species arrived in Dordogne in 2011. Without phytosanitary product it can destroy up to 80% of the walnut harvest. With no known natural predator nor parasite, it's only managed by insecticides in ever-reduced numbers, or by applying physical barriers with imperfect effectiveness. To avoid a future technical impasse and to preserve beneficial insects, we tested an alternative control strategy combining push-pull and attract-and-kill concepts. Experiments were conducted in three farmer's orchards by using an attractive insecticide with hyperlocalization spraying and an insect repellent clay on the foliage.

To the question "Does this alternative pest management provide a satisfactory answer to nut's industry needs for the control of *R. completa* ?", we can respond that the experiment of 2022 bring out: 1) an efficiency equivalent to the producer reference (0.8-3.8% of damage), 2) rows receiving the attractive insecticide were not more attacked than those protected by the clay, 3) rows on the edge of suspected refuge areas (riparian forests and nearby walnut groves) are not more, and sometimes less, infested than the plots' core, 4) according to the comparison system, the push-pull method as proposed here is neither more time-consuming (+/- 15 mn/ha) nor more expensive (73 to 100€/ha) than the producer reference and for less or as much biocidal product quantity.

Our study also focused on a new type of monitoring using sexual pheromones. The threshold of 15 successive catches seems to match the beginning of peak flight but requires reactivity from farmers. Furthermore, the sex-ratio of the catches (1154 ♀, 904 ♂) does not show a significant sexual attractiveness. As a result, these pheromone capsules do not seem efficient enough for walnut protection by sexual confusion of females but can still be useful for a more sensitive monitoring.

In a nutshell, the results of these push-pull control are promising but need to be tested over several years, the experiment repeated on more systems and the qualitative study methodology improved.

Keywords: Integrated Pests Management, agroecology, walnut, hyper-localization, pheromone

LISTE des SIGLES

AB : Agriculture Biologique	FREDON : Fédération Régionale de lutte et de
APCA : Assemblée Permanente des Chambres	Défense contre les Organismes Nuisibles
d'Agriculture	IFT : Indicateur de Fréquence de Traitements
BSV : Bulletin de Santé du Végétal	Phytosanitaires
BT : Bulletin Technique (de la noix du Sud-	INRAE : Institut National de Recherche pour
Ouest)	l'Agriculture et l'Environnement
CA24 : Chambre départementale d'Agriculture	IR : Ingénieur-es Réseau
de Dordogne	IPM : <i>Integrated Pests Management</i>
CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel	IPSIM : <i>Injury Profile SIMulator</i>
des Fruits et Légumes	OP : Organisation de Producteurs
CIVAM : Centres d'initiatives pour valoriser	OFB : Office Français de la Biodiversité
l'agriculture et le milieu rural	PAEC : Protection AgroEcologique des Cultures
DEPHY : Démonstration, Expérimentation et	PFE : Projet de Fin d'Etude
Production de références sur les systèmes	PIC : Protection Intégrée des Cultures
économes en produits PHYtosanitaires	SENuRA : Station d'Expérimentation Nucicole
DGAL : Direction Générale de l'ALimentation	Rhône-Alpes
DJ : Degrés-Jour	TIS : Technique de l'Insecte Stérile
FNE : France Nature Environnement	TII : Technique de l'Insecte Incompatible
	WHF : <i>Walnut Husk Fly</i>

TABLE des ILLUSTRATIONS

Figure 1 : principaux pays producteurs de noix (© FAOSTAT, 2020)	7
Figure 2 : répartition de la production de noix française en 2017 (© FranceAgriMer, 2017)	8
Figure 3 : planche botanique du noyer (adaptée de © Thomas Schoepke)	8
Figure 4 : illustration de la diversité des gestions de l'enherbement (© Vrael BERNARD).....	10
Figure 5 : dégâts de carpocapse sur noix (© Vrael BERNARD).....	10
Figure 6 : chenille de zeuzère sur noyer (© Vrael BERNARD)	10
Figure 7 : cochenille à bouclier sur noisetier (© Vrael BERNARD)	11
Figure 8 : graphique du suivi pluriannuel du piégeage de la mouche du brou (© Elisa VIGNAUD).....	13
Figure 9 : cycle de vie de la mouche du brou (© Vrael BERNARD)	14
Figure 10 : exemples de symptômes d'attaques de la mouche du brou (© Schaub et al., 2003 ; Alston et al., 2013, SENuRA 2018a, Lachaud CA46)	16
Figure 11: exemple de monitoring spécifique à R. pomonella (© Alston et murray, 2013)	21
Figure 12 : prototype d'un piège multi-ravageurs conçu par M2i (© Vrael BERNARD).....	26
Figure 13 : lâché de Tormus sinensis contre le cynips du châtaignier (© Vrael BERNARD)	28
Figure 14 : noix avec des dégâts à la cause inconnue (© Vrael BERNARD)	28
Figure 15 : graphique illustrant l'importance d'avoir un seuil d'intervention sensible (© Duso et Dal Lago, 2006)	30
Figure 16 : schéma théorique de la disposition de l'essai push-pull (© Vrael BERNARD)	30
Figure 17 : exemple de pulvérisateur pour l'hyperlocalisation (© Vrael BERNARD)	33
Figure 18 : boxplots des dégâts entre stratégie push-pull et témoin producteur	35
Figure 19 : boxplots des dégâts au sein de la stratégie push-pull.....	35
Figure 20 : cartographie des stations météorologiques utilisées pour la modélisation (© Vrael BERNARD).....	36
Figure 21 : sortie du modèle INOKI pour la station de Prignonieux (au 06/07/22)	37
Figure 22 : courbe de capture des mouches selon le sexe.....	38
Figure 23 : boxplot de la distribution du sex-ratio des captures de monitoring.....	38
Figure 24 : cumul des captures de chaque piège pour les trois producteurs	39
Figure 25 : intensité des dégâts selon l'emplacement au sein de la parcelle (producteurs G. et P.)....	40
Figure 26 : boxplots des dégâts selon la nature de la "zone refuge" à proximité.....	40
Figure 27 : sortie de l'ANOVA2 et du test de Tukey	41
Figure 28 : sortie de l'ANOVA2 pour le producteur P.....	43
Figure 29 : sortie de l'ANOVA2 pour le producteur G.	44

Tableau 1 : évolution des IFT des exploitations du groupe DEPHY Noix Sud-Ouest (d'après EL OUALYDY, 2022)	6
Tableau 2 : vocabulaire associé au fruit du noyer commun.....	8
Tableau 3 : influence de la température (constante en laboratoire) sur le développement de la mouche du brou (d'après Kasana, 1993).....	17
Tableau 4 : caractéristiques des quatre modalités de l'essai.....	32
Tableau 5 : calendrier effectif des interventions dans le cadre de la lutte contre la mouche du brou	33
Tableau 6 : synthèse du taux de dégâts entre le témoin et l'essai (argile et SYNEIS Appât)	34
Tableau 7 : récapitulatif des seuils atteints lors du monitoring (© Vrael BERNARD)	36
Tableau 8 : récapitulatif du modèle DG (© Vrael BERNARD)	37
Tableau 9 : comparaison technique entre pratiques usuelles et lutte alternative	40
Tableau 10 : freins et leviers pour la démocratisation du SYNEIS Appât en hyperlocalisation (© Vrael BERNARD).....	45

SOMMAIRE

INTRODUCTION	2
I/ CONTEXTUALISATION DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE	3
A. PORTRAIT DE LA CHAMBRE D'AGRICULTURE DE DORDOGNE.....	3
1. <i>Présentation de l'organisme d'accueil</i>	3
2. <i>Mes missions au sein du service arboriculture fruitière</i>	3
B. LE RÉSEAU DEPHY FERME NOIX DU SUD-OUEST : DÉCLINAISON SUR LE TERRAIN DU PLAN ECOPHYTO.....	4
1. <i>Contextualisation des plans ECOPHYTO</i>	4
2. <i>Présentation du dispositif DEPHY et du réseau DEPHY Ferme.....</i>	5
3. <i>Caractérisation du réseau DEPHY Ferme Noix du Sud-Ouest</i>	5
C. LE PÉRIGORD, UN TERRITOIRE DYNAMIQUE DE LA FILIÈRE NOIX FRANÇAISE	7
D. LES CARACTÉRISTIQUES DE LA NUCICULTURE EN PÉRIGORD.....	8
1. <i>Éléments clefs de la conduite du noyer</i>	8
2. <i>Les principaux bioagresseurs du noyer et de la noix, leurs impacts et leur gestion</i>	10
3. <i>Focus sur la mouche du brou : un ravageur méconnu mais menaçant</i>	11
II/ PROTOCOLE DES ESSAIS AU CHAMP DE LUTTE ALTERNATIVE PAR « PUSH-PULL » ATTRACTICIDE.....	30
A. PROBLÉMATIQUE.....	30
B. OBJECTIFS DE L'ESSAI	31
C. HYPOTHÈSES DE TRAVAIL.....	31
D. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	32
1. <i>Période de l'essai.....</i>	32
2. <i>Dispositif expérimental.....</i>	32
3. <i>Matériel expérimental.....</i>	33
4. <i>Échantillonnage pour la notation des dégâts sur fruits.....</i>	34
III/ BILAN DE L'ÉTUDE ET PERSPECTIVES	34
A. RÉSULTATS DES ESSAIS	34
1. <i>Objectif 1 : observation des dégâts sur les parcelles témoins et essais.....</i>	34
2. <i>Objectif 2 : seuil d'intervention, prévision des modèles d'émergence DGAL et degrés-jours.....</i>	35
3. <i>Objectif 3 : attractivité sexuelle des pièges de monitoring avec phéromones</i>	38
4. <i>Objectif 4 : observation des dégâts sur les bordures.....</i>	39
5. <i>Objectif 5 : quantité de matière active et temps de travail nécessaire</i>	40
B. ANALYSES DES RÉSULTATS	41
1. <i>Objectif 1 : efficacité de la lutte alternative comparée aux pratiques usuelles.....</i>	41
2. <i>Objectif 2 : retour sur le seuil de quinze captures successives.....</i>	42
3. <i>Objectif 3 : quel avenir pour le monitoring et/ou la lutte sémiochimique ?.....</i>	42
4. <i>Objectif 4 : évaluation de l'influence des zones refuges sur la pression du ravageur</i>	43
5. <i>Objectif 5 : identification des freins et leviers de l'utilisation du SYNEIS Appât en hyperlocalisé.....</i>	44
C. DISCUSSION DES RÉSULTATS	45
1. <i>Objectif 1 : un push-pull prometteur mais à confronter et amélioré.....</i>	45
2. <i>Objectif 2 : vers un seuil d'intervention plus sensible ?</i>	47
3. <i>Objectif 4 : zones refuges et mouche du brou, entre idées reçues et manque d'étude.....</i>	47
D. POUR ALLER PLUS LOIN	48
1. <i>Etude de la multiperformance de la stratégie par push-pull.....</i>	48
2. <i>Autres variables explicatives de la pression du ravageur sur une parcelle</i>	48
IV/ ANALYSE RÉFLEXIVE SUR LE DÉROULÉ DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE	48
CONCLUSION	51

INTRODUCTION

Dès 1928 l'agronome Basil Bensin emploie le terme « agroécologie » pour désigner une agriculture intrinsèquement liée à l'écologie en tant que science des écosystèmes. Sa pensée se propage et en 1995 et 1998, Miguel Altieri et Stephen Gliessman posent définitivement les bases du concept. S'ensuit une prise de conscience croissante de la part de la communauté scientifique puis du reste de la société sur la nécessité de changer notre paradigme agricole. La pression médiatique amène les institutions à mettre en œuvre des mesures afin de rendre l'agriculture moderne durable. Ainsi, en 2009 est initié le plan « Ecophyto », actuellement « Ecophyto II+ ». Aux défis historiques (maîtrise de la fertilisation azotée, gestion des bioagresseurs indigènes...) s'en ajoutent d'autres tels que la résilience face au bouleversement climatique ou la maîtrise des bioagresseurs exotiques invasifs favorisés par les échanges internationaux (Charpentier et al., 2019). La mouche du brou du noyer (*Rhagoletis completa*) observée en France dès 2007, entre dans la catégorie de ces nouveaux ravageurs (ANSES, 2014). Pouvant causer jusqu'à 80% de perte de récolte, sa population est pour l'instant sous contrôle en France grâce à l'utilisation des insecticides (Verhaeghe, 2012). Cependant, les produits utilisables sont interdits peu à peu. Ainsi, l'insecticide CALYPSO a été interdit en 2018, le CORAGEN en 2022 et l'IMIDAN sera interdit fin 2022. Seuls le SUCCESSTM 4 et le SYNEIS Appât, tous deux à base de spinosad, sont encore autorisés y compris en Agriculture Biologique (AB), mais sous réserve de dérogation annuelle depuis 2008. Sans pouvoir prédire les éventuelles dérogations de ces produits et pour répondre aux enjeux écologiques et sanitaires, il est pressant de développer d'autres techniques de lutte que les traitements en plein d'insecticides à large spectre, afin que la filière ne se retrouve pas face à une impasse technique. L'utilisation de produits à effet barrière a fait ses preuves comme méthode de protection des noyeraies (comptes-rendus d'essais, Station Expérimentale de Creysse). Toutefois, cette méthode seule ne permet pas de diminuer le stock du ravageur présent sur la parcelle d'année en année, ne faisant que repousser le problème et permettant à la population d'augmenter.

Ce Projet de Fin d'Étude (PFE) s'inscrit dans la démarche du réseau DEPHY Ferme. Il a été construit autour des besoins des douze agriculteur·ices du groupe DEPHY Ferme Noix du Sud-Ouest. L'axe de travail principal du groupe pour 2022 et ainsi du PFE, porte sur la lutte alternative de la mouche du brou grâce à une stratégie de *push-pull* couplée sur la parcelle à une stratégie *attract-and-kill* par association d'un répulsif à base d'argile en alternance avec un insecticide attractif en hyperlocalisation. Mon travail propose d'évaluer l'efficacité de cette lutte alternative par rapport aux méthodes de luttés actuelles par la mise en place d'essais chez trois agriculteurs. Suite aux questions soulevées par les agriculteur·ices, d'autres acteur·ices de la filière (coopératives, station expérimentale de Creysse) et moi-même, l'étude a été élargie sur les points : 1) délimiter le paramètre d'application optimale de cette lutte alternative (seuil d'intervention à retenir dans le cas d'utilisation de kit de *monitoring* à phéromones, différence du taux de dégâts entre la partie *push* et la partie *pull*, influence des zones refuges sur la pression du ravageur...) 2) évaluer la performance de cette lutte alternative autrement que par le prisme de la production seule. Ce PFE est donc construit en arborescence autour de l'essai au champ initialement prévu. Nous pouvons synthétiser la problématique ainsi : **une méthode de lutte alternative par association de pulvérisation d'argile et d'insecticide attractif hyperlocalisé répond-elle aux besoins de la filière nucicole concernant la maîtrise du ravageur *Rhagoletis completa* ?**

Dans un premier temps nous contextualiserons le déroulement du stage au sein de l'organisme d'accueil qu'est la Chambre d'Agriculture de Dordogne, le groupe DEPHY et la filière nucicole périgourdine. Puis nous présenterons la démarche de l'étude, formalisée par le protocole expérimental utilisé, suivie par le bilan des résultats et de leurs analyses. Enfin, un retour réflexif sur les apports personnels et professionnels de ce travail sera exposé.

I/ CONTEXTUALISATION DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE

A. PORTRAIT DE LA CHAMBRE D'AGRICULTURE DE DORDOGNE

1. *Présentation de l'organisme d'accueil*

La Chambre d'Agriculture de Dordogne, créée en 1927, fait partie des 89 Chambres (inter)départementales secondant les 13 Chambres régionales. C'est une organisation en réseau pilotée par une structure nationale, l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA). Renforcée par le décret de 1954, qui fixe l'organisation actuelle des Chambres, celle de Dordogne s'épanouit sur le territoire périgourdin alors majoritairement en polyculture-élevage. La Chambre, dirigée par 35 élu·es, représente toutes les filières agricoles classiques ainsi que des particularités liées au territoire comme la fraisculture, la mycosylviculture ou l'élevage de palmipèdes gras. Il s'agit d'un établissement public de l'Etat à caractère administratif : ce n'est pas un service de l'Etat mais elle assure néanmoins des missions de service public ainsi que des missions de conseils et d'accompagnement des agriculteur·ices sur les aspects techniques, économiques et administratifs. Les ressources financières des Chambres d'agriculture s'élevaient à 750 millions d'euros en 2017. Elles sont issues pour 42 % des revenus d'une taxe sur le foncier non bâti, pour 27 % des prestations délivrées par les salarié·es de la chambre, pour 25 % des subventions de collectivités territoriales, de l'État et de l'Union Européenne (grâce aux appels à projets et au CASDAR - Compte d'Affectation Spécial au Développement Agricole et Rural - notamment), et 6 % de revenus d'origines variables¹.

L'organigramme, Annexe V., synthétise les différents pôles et personnes en charge au sein de la Chambre de Dordogne. Les priorités de la Chambre de Dordogne portent sur l'animation cohérente du territoire selon les besoins des agriculteur·ices, « le renouvellement des générations pour maintenir l'activité agricole porteuse de lien social, garante de la qualité et de l'autonomie alimentaire locale », la préservation de la qualité de l'eau et l'environnement « tout en garantissant la viabilité économique des exploitations ». La réalisation de ce PFE est en phase avec ces priorités : le groupe DEPHY Noix œuvre pour proposer des techniques réalistes conciliant écologie et économie, et l'étude est basée sur les besoins des agriculteurs tout en ayant une approche holistique.

2. *Mes missions au sein du service arboriculture fruitière*

Le stage prend place au sein du service « Arboriculture fruitière », l'un des six services constituant le pôle « Filières et Productions ». Outre ma mission principale consistant à formaliser, mettre en place, suivre et analyser les essais de lutte alternative contre la mouche du brou, j'ai aussi secondé mon maître de stage, Didier MERY, dans son travail quotidien de Conseiller arboriculture et animateur DEPHY Ferme Noix du Sud-Ouest.

Les missions satellites liées à l'arboriculture couvrent toutes les espèces présentes sur le département (pommiers, châtaigniers, actinidiers, noisetiers, grenadiers...) et les différents stades que traversent ces 2 000 exploitations arboricoles périgourdines. Ainsi, j'ai participé aux différentes interventions de Didier MERY auprès d'arboriculteur·ices à propos de projets d'implantation, de journées de formation, d'étude de sol, d'estimation et état des lieux de vergers, de taille en vert, de suivi d'éclaircissage sur pommiers, de conseils suite aux intempéries (gel, grêle, missions d'enquête calamité) et de la gestion de la fertilisation et des ravageurs. Ces entretiens m'ont permis d'**acquérir de nouvelles connaissances**, de les remobiliser à chaque nouveau cas observé, mais aussi d'**enrichir la discussion**, grâce aux connaissances acquises à l'ENSAT sur le fonctionnement du sol et sa gestion, la biodiversité auxiliaire et d'autres pratiques agroécologiques.

¹ Les informations proviennent de dordogne.chambre-agriculture.fr et chambres-agriculture.fr.

Les missions autour du noyer ont été, vu l'importance de cette production sur le département, les plus fréquentes. J'ai par ailleurs participé au travail du groupe technique Noix Sud-Ouest, regroupant des coopératives (Coop Cerno, Perlim Noix, Promonoix, La Périgourdine), la FREDON ou encore la Station Expérimentale de Creysse. Ce groupe technique se retrouve 15 fois par an pour rédiger le **Bulletin Technique de la Noix (BT)**, qui est envoyé à plus de 750 nuciculteur·ices. Ce bulletin collégial fait écho au BSV et rappelle aux producteur·ices les bonnes pratiques à mettre en place, les oriente vers des pratiques plus durables ou encore les tient informé·es des événements à venir au sein de la filière. Pendant ces journées, je rédigeais en direct le bulletin, en synthétisant et composant avec les différents avis du groupe. Des missions plus orientées filières ont aussi eu lieu : AG de l'AOP Noix, mise en pratique sur le terrain d'une méthode d'observation standardisée du dépérissement des noyers (développée par le CTIFL) ou encore formation dans un laboratoire de plants *in vitro*.

Dans le cadre des missions liées au réseau DEPHY, j'ai eu pour tâches la mise en place et le suivi du **réseau de piégeage** carpocapse (*Cydia pomonella*), de la mouche du brou et de la pyrale de la caroube (*Ectomyelois ceratoniae*) en partenariat avec la FREDON. Concrètement le travail consistait à distribuer les kits de piégeage à la période appropriée, à délivrer les consignes d'utilisations, répondre aux interrogations des producteur·ices, faire remonter leurs questionnements, leur fournir un support adapté pour réaliser les suivis (cf. Annexe VI.), veiller au transfert des relevés entre la Chambre et la FREDON ou selon les pièges, à faire les relevés moi-même. Ce maillage de *monitoring* permet de suivre les émergences et ainsi de proposer lors des réunions du BT les conseils les plus adaptés selon la pression du ravageur, son stade, la météo etc. En plus du travail sur le terrain, l'animation du groupe DEPHY passe aussi par la centralisation des caractéristiques technico-économiques des fermes suivies, dans le **logiciel Agrosyst**. Il s'agit d'un système d'information développé par INRAE afin d'extraire et d'analyser une vaste banque de données pour mener des études transversales. J'ai saisi les données de 2021 et formalisé un document pour faciliter la récolte des données des prochain·es stagiaires auprès des agriculteur·ices. Afin de communiquer aussi auprès du grand public ou du monde agricole, les animateur·ices DEPHY sont amenés à illustrer leur démarche et les résultats de leurs groupes à travers la **page Groupe FERME sur le site EcophytoPIC**². L'actualisation de la page pour le groupe Noix Sud-Ouest a ainsi été une de mes tâches. Enfin, directement en lien avec mon travail principal sur la mouche du brou, j'ai co-organisé la Rencontre Technique entre les agriculteurs du groupe (le 05/07), visant à leur présenter les essais mis en place et à les informer sur les modes de gestion actuels et futurs ; ainsi que la **Journée Technique** (le 30/08) centrée sur la mouche du brou et le carpocapse, toujours sur l'avancée des essais mais en présence d'autres professionnels de la filière. A l'occasion de cet événement j'ai produit une synthèse destinée aux nuciculteur·ices, reprenant les éléments-clefs à connaître sur la mouche du brou quant à sa biologie et à sa gestion raisonnée ainsi qu'une présentation des résultats intermédiaires des essais et participé à la réalisation d'une vidéo sur le *push-pull* (cf. Annexe XI). Ces journées s'inscrivent dans les actions de transfert et démonstration organisées par les groupes Ferme, au cœur des objectifs du plan ECOPHYTO II+.

B. LE RÉSEAU DEPHY FERME NOIX DU SUD-OUEST : DÉCLINAISON SUR LE TERRAIN DU PLAN ECOPHYTO

1. Contextualisation des plans ECOPHYTO

En 2009 débute le plan ECOPHYTO qui vise à impulser plus de durabilité dans l'agriculture en prévoyant de réduire de 50% l'usage des produits phytosanitaires d'ici 2025 ainsi qu'à limiter les risques et impacts de leur usage (chambres-agriculture.fr). Pour ce faire, des actions concrètes sont mises en

² <https://ecophytopic.fr/>

place comme des programmes de recherche, le Bulletin de Santé du Végétal (BSV), les réseaux DEPHY³ Ferme etc. ECOPHYTO évolue en ECOPHYTO I en 2014 puis en ECOPHYTO II en 2015. Finalement en 2018, l'utilisation des pesticides ayant augmenté de 22% au lieu de diminuer (Deluzarche, 2020) le plan se transforme en Ecophyto II+ afin d'acter ce constat et de réaffirmer ses objectifs initiaux (ministère de l'agriculture, 2020). Les réseaux DEPHY ont toujours été maintenus et encouragés à travers ces évolutions. **Les objectifs d'ECOPHYTO II+ sont théoriquement simples mais en réalité complexes à réaliser car nécessitant des transformations profondes des systèmes de productions ainsi que la diffusion et l'application de ces connaissances** nouvelles ou actualisées.

2. Présentation du dispositif DEPHY et du réseau DEPHY Ferme

Le dispositif DEPHY, est l'un des piliers concrets accompagnant ces changements. Il œuvre pour la mise à l'épreuve, la valorisation et la démocratisation de techniques performantes sur le triptyque économique-social-environnemental. C'est un réseau de démonstration de la mise en œuvre des principes de la Protection Intégrée des Cultures dont l'utilité fait consensus selon le *Document d'orientations du Réseau DEPHY pour la période 2021-2025* (s.a, 2020), qui a redéfini les axes de travail en concertation avec les différents partenaires du réseau (APCA, CIVAM, OFB, FNE, INRAE) afin d'augmenter la portée concrète et transformative de ce dispositif. Le réseau DEPHY a deux composantes : l'une orientée vers l'expérimentation de pratiques et systèmes de cultures économes en pesticides, regroupant 200 sites expérimentaux (DEPHY Expé), l'autre centrée sur le terrain et la mise à l'épreuve de méthodes limitant les pesticides, au sein des 3000 fermes volontaires⁴ (DEPHY Ferme) (agriculture.gouv.fr). Au sein de ces groupes de travail DEPHY Ferme, les agriculteur·ices peuvent mutualiser leurs vécus, expériences et idées entre elleux et les professionnel·les les accompagnant. À terme, **l'objectif est de permettre l'appropriation des résultats du dispositif DEPHY par le plus grand nombre**, comme les agriculteur·ices hors du réseau, afin de mettre en place à grande échelle ces pratiques plus durables. Les Chambres d'agriculture jouent un rôle important dans cette démarche, avec près de ⅔ des groupes DEPHY Ferme animés par les Ingénieur·es Réseau (IR) des Chambres d'agriculture (chambres-agriculture.fr). En 2020 il y avait ainsi 244 IR, coordonné·es par plus de 23 ingénieur·es territoriaux·les (ecophytopic.fr). La participation active des producteur·ices, premier·es concerné·es par ces changements, permet d'affiner les méthodes proposées, de les rendre réalistes, de relever les points bloquants ou bien de travailler avec la filière pour les franchir. C'est sur ce principe que j'ai construit le PFE.

3. Caractérisation du réseau DEPHY Ferme Noix du Sud-Ouest

Inspiré par cette dynamique, l'ingénieur en arboriculture de la Chambre d'Agriculture de Dordogne, Didier MERY, décide de répondre à un appel à projet afin de créer et d'animer un réseau DEPHY Ferme Noix Sud-Ouest en 2017. Ce réseau est construit pour être **le plus représentatif possible de la nuciculture périgourdine** : diversité des profils des 12 nuciculteur·ices, diversité des conduites (cinq fermes en agriculture conventionnelle, une en conversion et six en agriculture biologique dont une en biodynamie et une en arbo-pastoralisme), diversité des vergers (variétés, âge, surface, irrigués ou en sec...), des emplacements géographiques (nord, sud, vallée, coteaux...), des pressions des différents ravageurs. En plus de sa diversité intrinsèque, le réseau s'inscrit aussi dans une grande diversité de relations avec d'autres organismes satellites : Station expérimentale de Creysse, Coopératives (Coop Cerno, Perlim Noix, Promonoix, la Périgourdine), FREDON, groupes techniques Noix du Sud-Ouest et Sud-Est, autres groupes DEPHY (Olive) et autres filières arboricoles (par exemple celle de la pomme qui utilise de plus en plus la confusion sexuelle pour gérer la population de carpocapses). L'un des indicateurs phare mobilisés par le dispositif DEPHY est l'IFT (Indicateur de Fréquence de Traitements Phytosanitaires) qui « comptabilise le nombre de doses de référence utilisées par hectare au cours

³ Acronyme pour « Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en produits PHYtosanitaires »

⁴ En 2018

d'une campagne culturale » (Xicluna, 2022). Entre 2010 et 2017, les phytosanitaires ont été réduits de 25% dans les fermes DEPHY (agriculture.gouv.fr) et plus précisément pour l'arboriculture, de 24% entre l'entrée dans le réseau de la ferme et la moyenne 2017-2018-2019, passant ainsi de 15.9 à 11.9 (ecophytopic.fr). Toutefois, pour la noix qui est une culture déjà très économe avec un IFT national moyen de 7.5 en 2020 (Mery, 2021), la baisse n'a été que de 6% entre l'état initial et la moyenne 2017-2018 (APCA, 2020).

Afin d'arriver à l'objectif de diminution de l'IFT, les thématiques de travail du groupe sur la période 2017-2021 étaient :

- La **réduction de l'utilisation des herbicides**, possible grâce à la réduction de la largeur de la bande désherbée, le recours au désherbage mécanique par ex. grâce à du machinisme innovant comme les satellites de tonte, l'implantation de couverts ou encore le pâturage.
- La **mise en place de lutttes alternatives** pour lutter contre les bioagresseurs (prédation naturelle, confusion sexuelle, biocontrôle, localisation des insecticides, réduction du recours au cuivre, gestion de l'inter-rang).
- L'utilisation de **nouvelles méthodes d'application des produits** (drone, paintball, hyperlocalisation, puffer, dispositif antidérive...).

Les résultats du groupe ont été concluants, avec une diminution visible des IFT, comme l'illustre le tableau suivant :

Tableau 1 : évolution des IFT des exploitations du groupe DEPHY Noix Sud-Ouest (d'après EL OUALYDY, 2022)

Agriculture Biologique					
IFT \ Année	2014-2015-2016	2017	2018	2019	2020
Fongicide	1	1	1	0,85	0,79
Herbicide	X	x	x	x	x
Insecticide	1	0,94	0,92	0,81	0,91
Total	2	1,94	1,92	1,66	1,7
Agriculture Conventiionnelle					
IFT \ Année	2014-2015-2016	2017	2018	2019	2020
Fongicide	1	1	0,96	0,91	0,75
Herbicide	0,89	0,96	0,54	0,13	0,58
Insecticide	1	1	0,93	0,93	0,88
Total	2,89	2,96	2,43	1,97	2,21
Moyenne Totale	2,45	2,45	2,18	1,82	1,95

Les IFT les plus élevés sont pour la catégorie « insecticide » et c'est aussi là qu'il y a le plus de marge de manœuvre pour faire évoluer les méthodes de gestion. En parallèle de cela, la population de mouche du brou s'est définitivement établie en Dordogne depuis 2011 et les connaissances françaises à son sujet sont encore à produire. Le groupe DEPHY étant dynamique et volontaire, M. MERY a répondu à un second appel à projet et le groupe a été reconduit pour la période 2022-2026. **L'objectif du réseau est cette fois centré sur les méthodes de lutttes alternatives pour la maîtrise des deux ravageurs principaux de la noix que sont le carpocapse et la mouche du brou.** Ainsi l'indicateur « Gestion des ravageurs » est entre autres basé sur la surface de verger utilisant le piégeage massif

et/ou des produits de biocontrôle pour ces deux insectes. Le détail des indicateurs retenus pour ce renouvellement de DEPHY sont visibles Annexe VII. La feuille de route du groupe est jalonnée de plusieurs étapes tout au long de ces cinq années de travail collaboratif. L'Annexe VIII explicite ces différentes étapes, dont la 1^{ère} est la Journée Technique du 30 août 2022 réalisée dans le cadre du PFE. Le but de cette journée est de former à la gestion alternative de la mouche du brou et du carpocapse.

C. LE PÉRIGORD, UN TERRITOIRE DYNAMIQUE DE LA FILIÈRE NOIX FRANÇAISE

Le marché de la noix est segmenté en plusieurs secteurs : noix vertes (<1%), noix fraîches (1%), cerneaux (34%) et noix sèches (65%) (rungsinternational.com) et son évolution privilégie les **calibres** de +30 mm et les **cerneaux Extra**, très clairs (SENuRA ; groupe technique, communication personnelle).

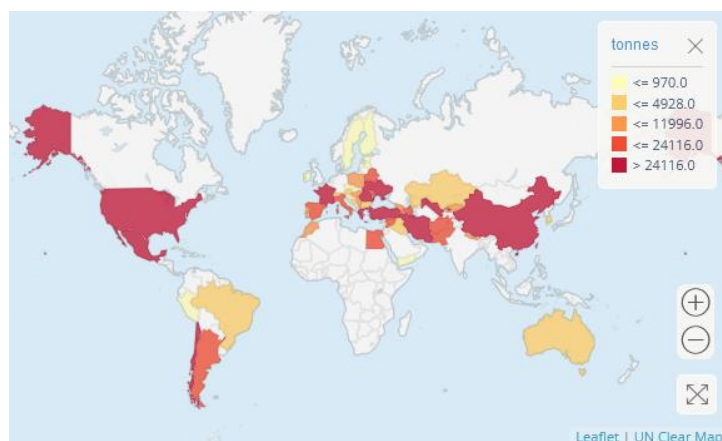


Figure 1 : principaux pays producteurs de noix (© FAOSTAT, 2020)

Depuis 20 ans, le marché mondial de la noix est dominé par la Chine et les USA, qui représentent à eux seuls 75% du tonnage mondial. Puis viennent l'Iran, le Chili et l'Ukraine. La France est le **1^{er} producteur de l'Union Européenne** et **9^{ème} mondial**, avec une production de **38 110 t pour 2021**, soit **2% de la production mondiale** et ce de manière **stable depuis au moins cinq ans** (Mery, 2022 ; Debard, 2021 ; Aubert, 2022).

Les noix étrangères (USA, Turquie et Chili principalement) arrivent sur le marché européen avec des **prix très compétitifs** car elles sont cultivées sous des climats plus cléments permettant l'utilisation de variétés plus précoces, avec des modes de production intensifs et des conditions de travail moins protectrices, le tout aboutissant à des coûts de production moindres. La noix est par ailleurs un aliment « plaisir » auquel les consommateurs renoncent dès que les prix augmentent, bien que la France soit le 3^{ème} pays mondial en termes de consommation avec 500g/habitant/an, derrière les USA et Israël (FranceAgriMer, 2015). La filière française tente alors de se démarquer par sa **qualité** (AOP noix de Grenoble, AOP noix du Périgord) et se classe **4^{ème} exportateur mondial de noix coque** (ex-2^{ème} en 2013 avec env. 25 000 t), **60 à 80% de la production est exportée** (SENuRA.com). Malgré tout, la rentabilité de l'export reste fortement influencée par la fluctuation des cours et événements mondiaux (Aubert, 2022 ; landini.it⁵). En revanche le pays est **importateur de cerneaux** (env. 11 096 t) (FAO, 2013 ; Aubert, 2022). En France, la Dordogne et l'Isère sont les **deux bassins de production** et ils produisent 90% des noix de l'hexagone. Les surfaces en noyers ont augmenté de +30% ces dix dernières années, se classant **2^{ème} verger français** avec 26 000 ha en 2019, derrière la pomme (FAO).

La **Dordogne** (au sein du Bassin Sud-Ouest) représente **25% du volume de production nationale** pour **30% de la superficie** (7100 ha). L'Agriculture Biologique s'est très fortement développée ces dernières années mais les organisations de producteurs estiment actuellement que le marché est proche d'être saturé : le prix des noix AB est parfois inférieur aux noix conventionnelles (Innova, 2020). Par ailleurs, les producteurs doivent maintenant faire face à des épisodes de gel suivant un début d'année doux,

⁵ <https://www.landini.it/fr/voici-les-chiffres-a-retenir-sur-la-production-mondiale-de-noix/>

entraînant la perte de nombreuses fleurs et jeunes noix surtout pour les variétés précoces misent en avant par la sélection moderne (Aubert, 2022 ; groupe technique, communication personnelle).

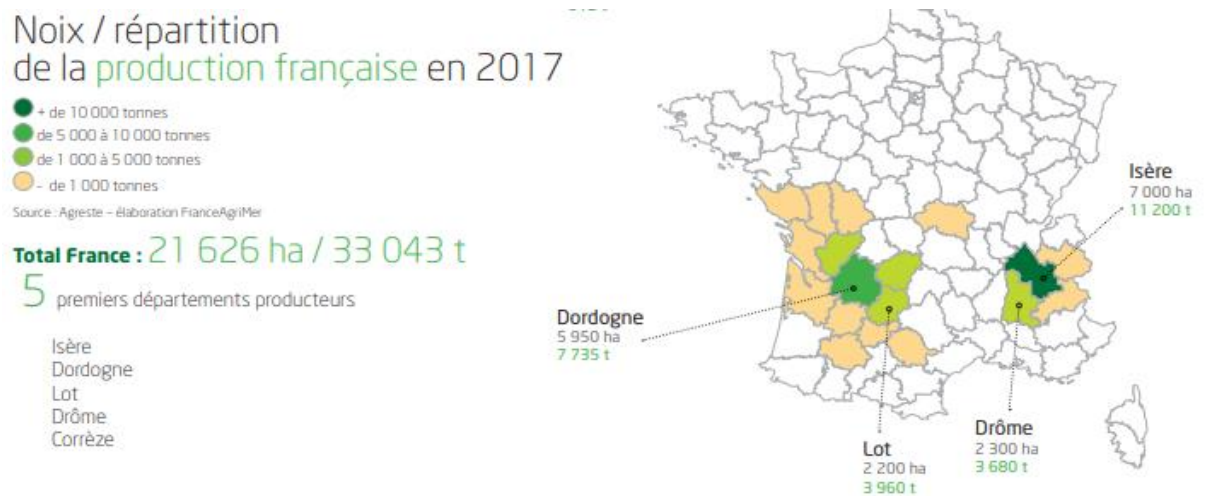


Figure 2 : répartition de la production de noix française en 2017 (© FranceAgriMer, 2017)

D. LES CARACTÉRISTIQUES DE LA NUCICULTURE EN PÉRIGORD

1. Éléments clefs de la conduite du noyer

La famille des *Juglandaceae* est composée de cinquante espèces réparties en onze genres différents. Le genre *Juglans* comporte une vingtaine d'espèces dont le noyer *Juglans regia* (noyer commun) qui est l'espèce historique utilisée pour la nuciculture en France.

Son fruit est la noix, une pseudodrupe déhiscente dont seule la graine (cerneau) est consommée. La fig.3 et le Tabl. 2 détaillent les termes botaniques propres à cette espèce.

Tableau 2 : vocabulaire associé au fruit du noyer commun

Fruit du noyer commun		
Drupe		épicarpe, mésocarpe (charnu), écale verte, « brou »
	noyau « noix »	endocarpe, « coquille » (lignifié)
		graine, « cerneau » (comestible)



Figure 3 : planche botanique du noyer (adaptée de © Thomas Schoepke)

Le noyer est monoïque (un arbre porte des fleurs mâles et des fleurs femelles), protandre (les chatons fleurissent avant les fleurs femelles) et anémogame, mais afin d'améliorer la fécondation (par le nombre de fleurs fécondées et la qualité du pollen influençant la chute physiologique) et *in fine* le rendement, la présence de variétés pollinisatrices telles que Meylanaise ou Ronde de Montignac est préconisée à hauteur de 5 à 10 % des arbres plantés.

Dans le contexte agricole français, le noyer franc n'est pas cultivé, on lui préfère des plants greffés.

Les **porte-greffes** sont :

- *Juglans nigra*, une espèce très vigoureuse mais sensible à un virus, le *Cherry Leaf Roll Virus* (Nepovirus) causant la maladie *Walnut BlackLine*. Pour cette raison, elle n'est presque plus utilisée maintenant (Mircetich et Rowhani, 1984).
- *Juglans regia*, la même espèce que le greffon (mais qui lui s'affranchit de l'aléa du semis grâce à des pieds-mère de qualité éprouvée, sur lesquels sont récoltés les greffons).
- *Juglans hybride* (Regia x nigra ou Major x regia), ces hybrides sont composés de plusieurs lignées (SENuRA), les pépiniéristes jouent alors un rôle majeur dans la qualité du choix variétal disponible.

Les porte-greffes sont obtenus par semis puis triage mais la technique de l'*in vitro* (micropropagation) est en cours de développement afin de répondre au cahier des charges européen, demandant des plants certifiés et plus uniformes. En **greffon**, les variétés actuellement les plus utilisées en Dordogne sont Franquette (60% des surfaces en 2018), Fernor (15%), Chandler (5%), Lara (5%) et de manière anecdotique, Marbot (5%), Corne (3%) Grandjean (3%) et Fernette (Mery, 2022). L'**AOP Noix du Périgord** n'est applicable qu'aux variétés Franquette, Grandjean, Corne et Marbot bien que les réflexions soient en cours pour l'entrée de la Fernor dans le cahier des charges afin de rendre l'AOP plus en phase avec les contraintes du marché mondial. En fonction de la variété, les fructifications peuvent être terminales (les bourgeons à fruits sont à l'extrémité du rameau, le potentiel de production est moindre ex : Franquette), latérales (les bourgeons à fruits sont répartis le long du rameau des pousses d'un an) ou intermédiaires selon les variétés (SENuRA). De même, la densité de plantation est à adapter et varie entre 100 à 150 arbres/ha ; les Fernor par exemple peuvent aussi se conduire en haies fruitières c'est-à-dire en haute densité avec une taille mécanisée au lamier.

En France, les rendements en noix varient de **1 à 4.5 t/ha** selon la variété, la conduite et le contexte pédoclimatique (Germain et al., 1999). Le noyer est un arbre fruitier s'épanouissant sur les **sols argilo-calcaire** (pH entre 6 et 7.5) ce qui explique sa présence historique sur le territoire calcaire périgourdin. Le chaulage est primordial si le sol est trop acide. Il a besoin d'un **sol drainant** car les racines sont très sensibles à l'asphyxie. Concernant sa phénologie, le débourrement a lieu entre mi-mars et avril, ce qui permet dans un contexte climatique normal, aux variétés européennes d'éviter les **gelées tardives** car il n'y a pas de méthode de lutte antigel efficace pour y répondre, au vu de la taille des arbres. Le noyer traverse deux périodes de pousse très intenses et de courte durée, en avril et à la fin de l'été. Afin de permettre la croissance de l'arbre et sa fructification, la fertilisation doit être fractionnée pour apporter tous les éléments nécessaires sans excès (coût inutile voire favorisant les ravageurs piqueurs-suceurs et les maladies). Un verger adulte a besoin de **80-120 kg d'azote/ha**, de **20-40 kg de phosphore /ha** et de **120-150 kg de potasse /ha**. Évidemment, un sol profond et riche en matière organique est un atout. La gestion de l'**enherbement**, en plus de limiter la concurrence, peut aussi participer à la santé du sol, par exemple en implantant un couvert végétal. La diversité des modes de gestion de l'enherbement est illustrée fig. 4.

La noix fait parties des rares fruits dont l'acquisition du calibre est précoce (début juillet) mais la gestion de l'**irrigation** durant l'été est importante car pour assurer le grossissement du cerneau, la qualité globale du fruit ainsi que l'initiation florale et la qualité des bourgeons floraux pour l'année suivante. Si les recommandations de pluviométrie annuelle de **700 mm** (Germain et al., 1999) sont très fréquemment satisfaites, l'évolution du climat induit une répartition annuelle moins correcte et un apport d'irrigation de **100 à 150 mm** durant la période estivale devient souvent indispensable pour sécuriser la production. Enfin, les diverses étapes de **taille** (pliage, en vert, d'hiver, recépage) sont essentielles pour donner à l'arbre une structure solide (le pivot étant coupé lors du passage de la pépinière au champ), aérée, lumineuse et sans concurrence entre les charpentières.

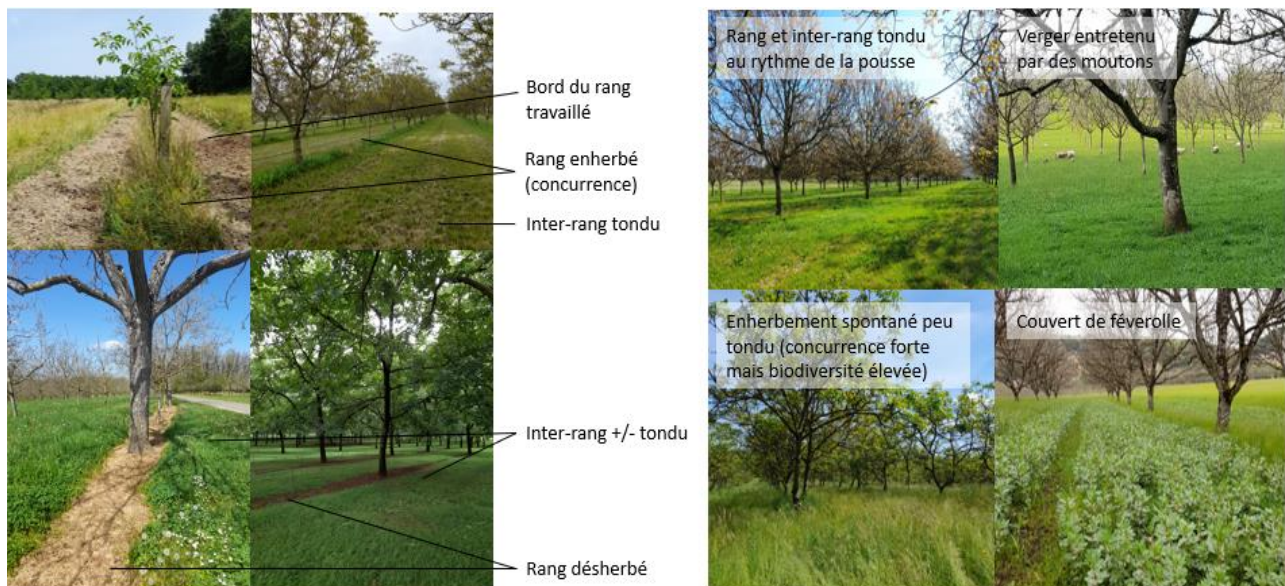


Figure 4 : illustration de la diversité des gestions de l'enherbement (© Vrael BERNARD)

2. Les principaux bioagresseurs du noyer et de la noix, leurs impacts et leur gestion

§ Ravageurs :



Figure 5 : dégâts de carpocapse sur noix (© Vrael BERNARD)

Le **carpocapse** (*Cydia pomonella*), fut longtemps le principal ravageur du noyer en France. Avec sa chenille qui mange le cerneau (fig.5), il peut causer jusqu'à 40% de dégâts (senura.com). Aujourd'hui son vol est étroitement suivi par les arboriculteur·ices et les différents organismes agricoles. La lutte peut être **phytosanitaire** (larvicide à base d'organophosphorés ou benhydrazides) mais en parallèle à la diminution des produits autorisés, les **alternatives** se développent efficacement y compris en verger conventionnel : produit à base de virus (granulose) ou confusion sexuelle (GINKO® ring posé à la perche ou au drone, projection de billes de phéromone par paintball, diffuseur de phéromone PUFFER®) (Guide Arbo 2022). Les recherches portent sur les nématodes (*Steinernema feltiae*) et les lâchers d'insectes stériles (Mery, 2022).

D'autres ravageurs plus ou moins généralistes en arboriculture se retrouvent chez le noyer, mais de manière anecdotique dans les noyaies extensives.

Nous pouvons citer la **zeuzère** (*Zeuzera pyrina*), un papillon à la chenille xylophage mange l'intérieur des branches ou des jeunes troncs (fig.6), causant la mort de toute la partie supérieure. Les moyens de lutte sont à base de pièges à phéromone à placer hors des parcelles, de confusion sexuelle, de préparations à base de *Bacillus thuringiensis* ou de l'élimination manuelle de la chenille grâce à un brin de fil de fer introduit dans la galerie.



Figure 6 : chenille de zeuzère sur noyer (© Vrael BERNARD)



Figure 7 : cochenille à bouclier sur noisetier (© Vrael BERNARD)

Les **pucerons** (*Panaphis juglandis*, *Chromaphis juglandicola*) peuvent parfois affaiblir les arbres jusqu'à causer une diminution du calibre et l'apparition de fumagine (champignon). Les auxiliaires (coccinelles, parasitoïde type *Trioxys pallidus*) suffisent normalement à réguler les populations. À défaut, des aphicides (pyréthrinoides) ou bio-insectifuge (argile) peuvent être utilisés. L'utilisation excessive de pyréthrinoides peut provoquer la pullulation des **acariens rouges** (syngenta.fr) et des **cochenilles** (fig.7) (Mery, 2022). Ces ravageurs secondaires, en recrudescence depuis 10 ans (senura.com), peuvent être maîtrisés par des huiles blanches ou une barrière physique type BNA (hydroxyde de calcium) le temps que les équilibres trophiques se refassent.

Enfin, les ravageurs pouvant émerger ces prochaines années sont la pyrale de la caroube et les punaises. Le Groupe Technique Noix Sud-Ouest et la FREDON échangent à ce propos afin de mettre en place des réseaux de surveillance et un premier prélèvement a été fait par mes soins chez une nuciculture du groupe DEPHY afin d'identifier l'espèce (*Halyomorpha halys* ?).

§ Maladies :

Selon le CTIFL, la **bactériose** (*Xanthomonas arboricola juglandis*) est la principale et la plus ancienne maladie du noyer en France. Elle peut occasionner jusqu'à 50% de perte en pénétrant dans le fruit par les stigmates et liquéfiant le cerneau. La bactérie attaque aussi les feuilles (baisse de la photosynthèse) et les rameaux (dessèchement). La **prophylaxie** repose sur le fractionnement des apports azotés, le choix variétal, des apports de calcium, zinc et bore ainsi qu'une irrigation ne mouillant pas le feuillage. En traitement, différentes formulations de **cuivre** sont homologuées mais le cuivre n'a qu'une action bactériostatique et doit être appliqué avant contamination (Giraud et al. 2011). L'efficacité du cuivre est moyenne à faible et des souches résistantes sont déjà apparues (Gardan et al., 1993) ainsi que des souches hyper-agressives à l'origine du chancre vertical suintant (Giraud et al. 2011).

Les **anthracnoses** sont des champignons pathogènes redoutables pour le noyer. Parmi elles, le *Colletotrichum acutatum*, arrivé en France vers 2007, peut causer jusqu'à 70% de pertes (Giraud et Verhaeghe, 2015). *Gnomonia leptostyla* est aussi très gênant mais la **prophylaxie** basée sur le broyage des feuilles au sol est bien appliquée par les nuciculteurs-ices. La conduite intensive, en forte densité est favorable aux maladies cryptogamiques. Les produits homologués sont le **cuivre** et pour certaines anthracnoses des fongicides pénétrants (phtalimides) sont utilisables (Guide Arbo 2022).

3. Focus sur la mouche du brou : un ravageur méconnu mais menaçant

Les mouches peuvent être des ravageurs majeurs des cultures, à l'image de la mouche de la cerise (*Rhagoletis cerasi*) ou de l'olive (*Bactrocera oleae*). En nuciculture, c'est la mouche du brou (*Rhagoletis completa*) qui peut entraîner des dégâts considérables, surtout dans les zones de production où elle est invasive (Rull et al., 2019) allant jusqu'à être considérée comme le « ravageur n°1 » des noyers (Senura.com). Malheureusement, la production de noix dégage un chiffre d'affaires inférieur à la plupart des productions fruitières, ne permettant pas d'utiliser des intrants onéreux. La mauvaise utilisation de produits phytosanitaires sur la mouche (en termes de matière active ou de fréquence) peut ainsi engendrer des problèmes de ravageurs secondaires tel que les acariens ou les cochenilles (Duso et Dal Lago, 2006 ; Mery, communication personnelle). Enfin, si la durée d'autorisation d'utilisation des deux matières actives existantes le permet, il n'est pas impossible de voir apparaître des phénomènes de résistance si aucune lutte alternative n'est mise en place.

Un état de l'art détaillé était nécessaire afin que le groupe DEPHY puisse communiquer de manière pertinente au plus grand nombre, notamment lors des journées techniques ou par les documents mis sur le site web d'Ecophytopic. Par exemple, des d'agriculteur·ices ou de technicien·nes confondent les dégâts entre mouche du brou et anthracnoses.

§ Origine :

Cette espèce est originaire d'**Amérique du Nord**, probablement de l'Est des *Rocky Mountains* (Alston et al., 2015 ; Riedl H., 1993) et une autre population se retrouve au **Mexique** (Rull et al., 2013 ; Guillén et al., 2011). Elle a été décrite pour la première fois par Cresson en 1929 aux USA, là où deux autres espèces très proches, issues de spéciations allopatriques (Rull et al., 2013), existent : *Rhagoletis suavis* (*walnut husk maggot*) et *Rhagoletis juglandis* (*walnut husk fly*). Ces dernières sont très fortement surveillées par l'Union Européenne et sont renseignées dans l'annexe I⁶ de la Directive 2000/29/CE afin qu'elles n'arrivent pas à leur tour sur le territoire : pour ce genre de ravageur, c'est le transport commercial de fruits infestés par des asticots qui constitue le principal mode de dissémination vers de nouvelles zones (CABI et OEPP, n.a). Il existe 62 espèces du genre *Rhagoletis* dans le monde, dont au moins quatre sur le territoire français actuellement (Verhaeghe et al., 2009).

§ Arrivée en France :

La mouche du brou est arrivée en Europe par l'Italie et la Suisse dans les années 1980 puis a remonté le continent, arrivant **en France en août 2007** dans la Drôme, puis dans le Sud-Ouest en 2009 et enfin en Dordogne en 2011 (Rapp R., 2015 ; Bouvet G., 2011 ; Mery D., 2022). En 2020, 173 communes du Sud-Ouest recensaient des mouches du brou et nous pouvons considérer qu'aujourd'hui toutes les parcelles de noyers périgourdines ont leur population. Le ravageur n'a pas encore atteint son expansion maximale en Europe, mais cela ne saurait tarder : il est maintenant présent sur une bonne partie de l'Amérique du Nord et de l'Europe (Verheggen et al., 2016). D'abord classé comme « organisme de quarantaine avec lutte obligatoire de façon permanente sur tout le territoire » dès le 8 mai 2000, c'est, depuis septembre 2013, seulement un ravageur surveillé par la FREDON (Guinemer, n.a). L'échange d'information et l'entraide entre la FREDON, les coopératives agricoles (qui ont aussi leurs modèles) et la Chambre d'Agriculture demeurent essentiels, y compris pour les autres ravageurs qu'ils soient indigènes, exotiques ou futurs.

§ Données biologiques :

La mouche du brou (*Rhagoletis completa*) est un petit diptère, de 4-8 mm, de la sous-famille des *Tephritinae*. Sa coloration brun-jaune, ses motifs alaires caractéristiques et ses yeux colorés turquoise-vert-rouge la rendent facilement distinguable des autres mouches. Le *sex-ratio* est équilibré avec environ une femelle pour un mâle. Un dimorphisme sexuel permet de les distinguer grâce à la couleur des fémurs, nettement noirs chez le mâle. Le mâle et la femelle peuvent se reproduire plusieurs fois (Chalaye et al., 2009) mais il n'y a qu'**une seule génération** par an⁷ (Verhaeghe et Prunet, 2011). Les femelles sont fécondées dès sept jours après leur émergence et peuvent l'être à nouveau durant les six semaines suivantes (Schaub et al., 2003). Les adultes se nourrissent de miellat, levures et exsudats de feuilles (Chalaye et al., 2009) tandis que l'asticot consomme le brou de la noix. Le cycle du ravageur est tardif (de juillet à mi-septembre en France) afin d'être en concordance avec le développement du brou. Excepté en 2022, les adultes émergent progressivement début juillet jusqu'à atteindre leur pic de vol vers mi-juillet.

⁶ Organismes nuisibles dont l'introduction et la dissémination doivent être interdits dans tous les États-membres.

⁷ Des cas de 2nd générations dans les régions sud et certaines années seraient toutefois possible, mais seulement une occurrence de cette information existe (Alinazee et Long, 1997).

Les données de captures des années précédentes (fig.8) suggèrent deux voire trois pics de vol plutôt qu'un seul (Verhaeghe et al., 2009 ; FREDON, 2022 ; Observation terrain) bien qu'il soit difficile de séparer la phénologie de l'insecte des pics résultant des nouvelles émergences après un traitement insecticide, vu le caractère **participatif** du réseau de suivi dont les pièges sont sur des parcelles d'agriculteur-ices. L'étude de Kasana (1993) n'en mettait qu'un nettement en évidence sur des vergers non traités.

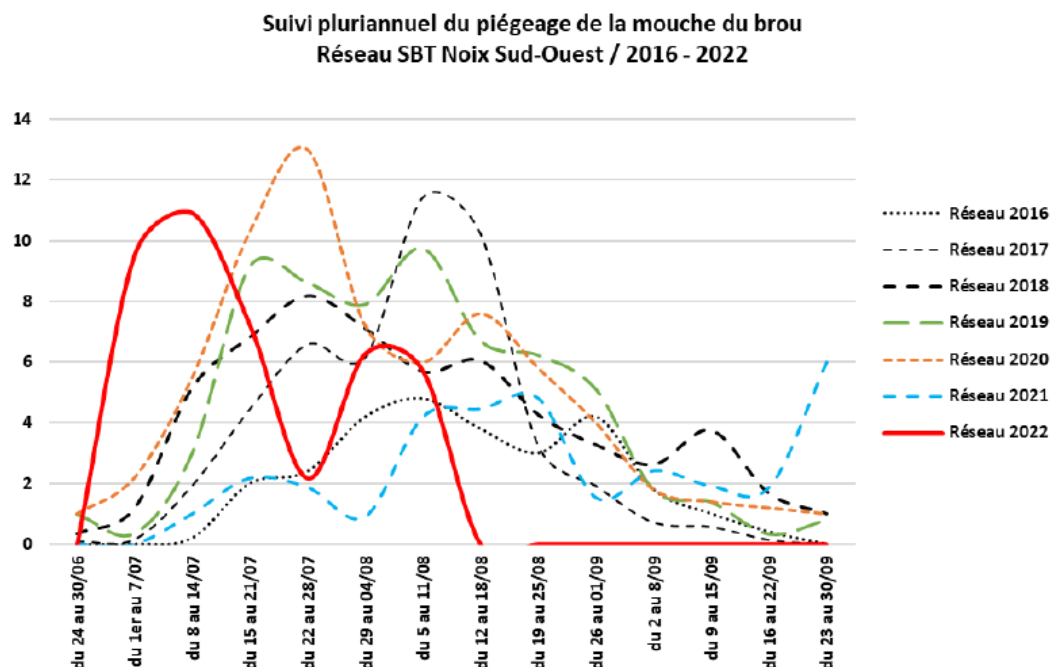


Figure 8 : graphique du suivi pluriannuel du piégeage de la mouche du brou (© Elisa VIGNAUD)

Les mécanismes de reproduction de la mouche du brou semblent similaires à ceux de *Rhagoletis pomonella* (McPherson et Steck, 2020). Certaines études évoquent des comportements de défense des noix de la part des mâles et de combats inter- et intra-espèces de mouche du brou, mais peu d'études l'évoquent spécifiquement pour *R. completa* (Guillén et al., 2011). Ce type d'information spécifique est pourtant primordial pour les luttes alternatives et la recherche. Une à deux semaine(s) après chaque accouplement, la femelle pond de **300 à 400 œufs, répartis entre 15 à 20 noix** (Schaub et al., 2003 ; Guillén L., et al., 2011 ; Ephytia, 2015, Kasana, 1993). La peau du brou est transpercée grâce à un ovipositeur transformé, l'*aculeus* (EPP0, 2011), visible à l'œil nu et permettant aussi de distinguer les femelles. A la fin de leur croissance les larves mesurent 13 mm, ce qui renseigne bien sur leur pouvoir destructeur dans le brou. Typique au sein du genre *Rhagoletis*, il semblerait que la mouche du brou⁸ effectue un marquage olfactif des noix, empêchant une même noix d'être infestée par d'autres mouches (Papaj, 1994, Ephytia, 2015). De ce fait, chaque mouche fécondée contamine jusqu'à une vingtaine de fruits. Pourtant, certaines études montrent que des variétés de noix peuvent avoir jusqu'à 50 asticots/noix (Guillén L., et al., 2011), ce qui pourrait nuancer le marquage de la noix. Le choix de l'oviposition dépend entre autres de la fermeté du brou et de la croissance de la noix (Boyce 1934 ; Riedl & Hoying 1980).

⁸ L'étude citée ici a étudié deux autres espèces de *Rhagoletis* (*R. juglandis* et *R. boycei*). On peut se demander s'il n'y aurait pas des approximations non justifiées faites entre les différentes espèces de mouches du brou américaines ou même entre les différentes espèces *Rhagoletis* lors de l'utilisation de bibliographies par des organismes francophones. Ces généralités peuvent être plus ou moins justes et/ou ralentir les recherches ou l'acquisition des bonnes pratiques.

Les œufs incubent pendant quatre à sept jours (selon les conditions météo) puis les larves se développent pendant trois à sept semaines. Quand elles ont fini leur croissance, **les larves se laissent tomber au sol** (ou tombent avec les noix mûres) et s’y enterrent pour y passer l’hiver sous forme de pupes et faire leur nymphose (Bouvet, 2011 ; Rapp, 2015).

La pupa est présente jusqu’à 15 cm maximum, avec **85% des pupes dans les dix premiers cm du sol**, dans le cas de sol limono-sableux fin (Rijal, 2017). Cette connaissance ouvre de nouvelles opportunités pour agir aussi sur le stade pupa du ravageur et non plus seulement sur l’adulte, par exemple via des organismes entomopathogènes ou la gestion du sol. Les études estiment qu’environ 9% des pupes restent en **diapause** jusqu’à l’année n+1 (Mery, 2010). Selon les facteurs environnementaux, une partie des pupes peut même rester en dormance jusqu’à deux ans (Gibson & Kearby, 1978 ; Verhaeghe et al., 2012). Les larves chutant simplement et les adultes émergeant au même endroit l’année suivante, les vergers sont souvent **infestés par foyers**, en dessous des arbres les plus attractifs (Bush et al., 2014 ; Samietz et al., 2012 ; Verhaeghe, et al., 2015). Le cycle de *R. completa* est illustré fig. 9.

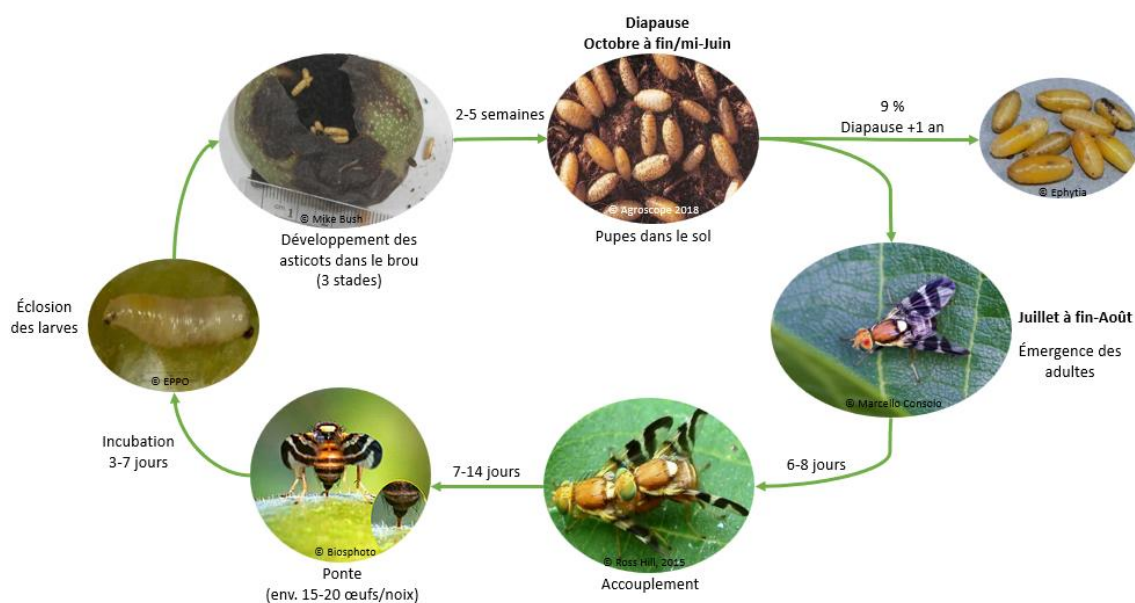


Figure 9 : cycle de vie de la mouche du brou (© Vrael BERNARD)

Les comportements de *R. completa* sont complexes et interagissent étroitement avec une multitude de facteurs environnementaux, alimentaires, physiologiques etc. Ainsi, la capacité de vol de la mouche peut par exemple varier d’un à plusieurs kilomètres d’une traite, selon son alimentation, les conditions météo ou encore le sexe (Opp et al., 2003a). L’expansion du ravageur à travers toute l’Europe est inéluctable, la vitesse de dissémination des adultes est importante (environ 300 km/an) et se fait par « (1) la dissémination naturelle des adultes, (2) le comportement autostoppeur de l’insecte et dans une moindre mesure (3) le transport des fruits (brou et noix) » (ANSES, 2014).

§ Dégâts et dommages sur les noix :

Un «**dégât**» est une altération visible (symptôme) ou mesurable par rapport à une plante saine ou un peuplement indemne, causée par la présence d’un bioagresseur.

Un «**dommage**» est une perte de récolte (rendement) qualitative ou quantitative due à l’activité d’un bioagresseur.

La «**perte**» fait référence à la perte économique engendrée par la présence d’un bioagresseur.

Le **seuil biologique de nuisibilité** correspond au passage de « dégât » à dommage.

Le seuil économique de nuisibilité correspond au passage de « dommage » à « perte ».

(D'après Ephytia, 2014)

Rhagoletis completa cible quasi-uniquement les noyers (*Junglans sp.*), de toutes les espèces, sauvages ou cultivées (Foote, 1981), mais d'autres cibles collatérales comme les pêchers ou aubépines ont été observées en Californie (Alston et al., 2015 ; Bush, 1966, Boyce 1934, Yee et Goughnour 2008). Le noyer est sensible à partir du stade de fructification (Ephytia, 2015), car la mouche ne porte pas atteinte à l'arbre lui-même mais n'abîme que les fruits. C'est le stade larvaire (asticot) qui, en se nourrissant du brou, cause des ravages.

Selon la quantité d'asticots par brou et la précocité de l'infestation, les conséquences sont de gravité croissante (fig.10) :

- Des **tâches noirâtres et spongieuses** apparaissent sur le brou, correspondant aux zones de nutrition des asticots (Senura, 2018). Le brou devient alors humide, collant et difficile à séparer de la noix après la récolte (Bush et al., 2014). Le cerneau reste toutefois consommable (Schaub, et al., 2003 ; Verhaeghe et al., 2009).
- Le brou détérioré/en décomposition décolore sur la coque, la rendant teintée et tâchée brun-rouge (Senura, 2018), ce qui déprécie ou élimine le lot de la vente en coque, obligeant à transformer la noix ou la vendre en cerneaux (Ephytia, 2015). **La qualité visuelle de la coque est impactée voire le poids du cerneau amoindri** (Samietz et al., 2012 ; Alston et al., 2015).
- En cas d'attaque précoce, alors que la coquille est en cours de lignification, le brou abîmé peut tacher le cerneau ou même le rendre amer. **Le cerneau n'est alors plus vendable** et sa transformation est risquée gustativement (témoignage producteur).
- Comme l'asticot abîme les tissus conducteurs du brou (épicarpe), le cerneau en cours de formation est moins alimenté et peut se flétrir puis **moisir** (Bush et al., 2014 ; Schaub, et al., 2003 ; Wu et al. 2009).
- La noix **chute précocement**, trop abîmée pour poursuivre son grossissement ou sa maturation (Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle).

En Europe, **les dégâts graves et précoces sont moins fréquents** (Samietz et al., 2012) qu'aux USA du fait du climat. Par ailleurs, en France, le dégât fréquent est une coquille tachée, sans effet sur la qualité gustative. Malgré tout, le lot est déprécié lors de la vente et le paiement à l'agriculteur diminué. Remettre en question les critères de « qualité » utilisés pour la noix pourrait être un levier rapide et sans conséquence pour diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires.

§ Impact économique :

Si aucune méthode de lutte n'est mise en place, la récolte peut être réduite de 80% en 1 an et totalement anéantie en 2-3 ans (Verhaeghe, & Prunet, 2011 ; Ephytia, 2015). En agriculture dite conventionnelle, les traitements phytosanitaires permettent de descendre en dessous du seuil de 10% de perte de rendement, mais avec des coûts de production supplémentaires.



Les **surcoûts** sont d'autant plus élevés en agriculture biologique, avec moins d'offre de solution et de moindre efficacité sur la régulation de la population (type « argile foliaire »). Selon l'ANSES, « des pertes en rendement en équivalent noix coque de 50% conduiraient à des pertes économiques de 300 millions d'euros » (ANSES, 2014).

Figure 10 : exemples de symptômes d'attaques de la mouche du brou (© Schaub et al., 2003 ; Alston et al., 2013, SENURA 2018a, Lachaud CA46)

§ Dynamique de population :

La mouche du brou a une **fertilité importante**. Ainsi même un faible taux d'arrivée en diapause de 1% suffit à maintenir l'espèce sur une zone de production (Verhaeghe & Prunet, 2011) et l'arrivée d'une seule mouche femelle mature dans un verger sain peut suffire pour coloniser l'endroit (Opp et al., 2003a). Enfin, la densité de population de mouche **varie fortement** selon les années, ce qui rend l'estimation de la pression de l'année suivante basée sur les captures de l'année en cours compliquée (Opp et al., 2001).

§ Influence des facteurs environnementaux sur le développement du ravageur :

Le cycle de la mouche et son développement à travers ses stades sont **extrêmement contrôlés par la température**. C'est sur cette connaissance que sont basés tous les modèles, dont les deux utilisés plus loin dans le rapport. Du fait de l'augmentation des températures moyennes entre juin et octobre ces dernières années, la connaissance des impacts des températures élevées sur le développement de la mouche est nécessaire pour utiliser au mieux les modèles phénologiques.

Globalement toutes les étapes de la vie de *R. completa* sont accélérées avec la chaleur (Kasana, 1993 ; Kasana & Aliniyazee, 1994 et 1997 ; Duso et Dal Lago, 2006) notamment la période de pré-oviposition (pendant laquelle la femelle se nourrit pour accumuler des nutriments et se préparer à pondre -Alston et al., 2015). La température n'aurait pas d'effet sur le nombre d'œufs pondus par noix selon certaines sources, bien que Kasana (1993) montre l'inverse. Le seuil supérieur pour la période de pré-oviposition, de ponte et du développement larvaire est de **34°C** et pour la période hivernale, le seuil inférieur pour le développement de la pupa se situe à **5°C**. Le tableau 3 résume les résultats de la thèse de Kasana (1993), la source citée maintes fois dans les autres études :

Tableau 3 : influence de la température (constante en laboratoire) sur le développement de la mouche du brou (d'après Kasana, 1993)⁹

Température (°C)	Taux d'émergence (%)	Durée de vie (jours)	Période de pré-oviposition (jours)	Taux de ponte (%)	Nombre d'œufs déposé	Vitesse de développement des œufs (heures)	Taux d'éclosion (%)	Vitesse de développement larvaire (jours)	Taux de pupaison (%)
8	19,5	30,1 ± 2,5	x	x	<u>0</u>	<u>389,3 ± 2,4</u>	73,5 ± 1,5	<u>48,9 ± 0,3</u>	<u>11,7 ± 0,9</u>
12	65,5 ± 2,2	49,6 ± 3,2	<u>26,4 ± 1,1</u>	x	14,1 ± 3,3	222,6 ± 0,7	94 à 97 (en condition au champ : 98,4)	43,9 ± 0,3	49 à 55
16	70 à 80	60 à 80	19,5 ± 1,1	x	non significativement différent	149,8 ± 0,7		35,9 ± 0,2	Env. 65
20			13,1 ± 0,6	83		93,8 ± 0,5		26,9 ± 0,2	
24			11 ± 0,4	83		70,4 ± 0,4		20,4 ± 0,2	
28			37,8 ± 1,8		non significativement différent, à 32°C : 17 ± 2,1	54,8 ± 0,5		19,5 ± 0,2	56 ± 1,7
32	<u>0</u>	<u>17,3 ± 0,8</u>	14,3 ± 0,9	25		68,4 ± 0,7		22,2 ± 0,2	14,7 ± 1,4

Kasana et Aliniasee ont mis en évidence que les températures élevées génèrent des pupes de poids moindres, puis en 2015, il est démontré que les pupes femelles légères (3-8 mg) émergent plus tôt que celles issues de pupes plus lourdes (8-13 mg) (Mills et al., 2015).

L'**alimentation des larves** en fonction des variétés de noix peut aussi influencer le poids de la pupa, en fonction de la qualité nutritionnelle du brou ; mais les variétés testées dans cette étude américaine, ne sont pas cultivées en France (Mills et al., 2015).

Selon les travaux de Mills et son équipe, l'émergence est influencée par la somme de degrés-jours (donc la température) mais aussi par l'**intensité du froid hivernal** et les **précipitations** en janvier-février. L'effet de ces deux derniers facteurs est encore mal connu. Ainsi, une période de froid hivernal (température inférieure à 5°C) insuffisante entraîne un taux d'émergence plus faible et augmente le nombre de pupes prolongeant leur dormance d'un an (Rull et al., 2019). L'espèce semble aussi réagir différemment selon que les individus étudiés proviennent des populations mexicaines ou d'Amérique du Nord (Rull et al., 2019). En parallèle, *R. pomonella* a déjà prouvé ses capacités d'adaptation à un climat local (Dambroski et Feder 2007). Nous pouvons donc nous demander si une adaptation progressive au climat européen ne serait pas à attendre de la part de *R. completa*. D'autres études ont montré que les **précipitations** (ou l'augmentation de l'humidité du sol) influencent le cycle de développement de la mouche (Boyce, 1934 ; Boller & Prokopy, 1976) ou d'espèces proches comme *Rhagoletis indifferens* (Yee 2013a,b). Ainsi, l'émergence de *R. indifferens* ou de *R. pomonella* est avancée s'il pleut les derniers mois du stade pupa (Smith et Jones 1991, Song et al. 2003). Toutefois les études ne sont pas unanimes ou manquent concernant *R. completa*.

L'**altitude** influence également la détermination de « zone à risque » (Aluja et al. 2011). Ainsi, à une altitude inférieure à 300 m, le risque d'avoir une population de mouche présente de manière durable est très élevé ; entre 300 et 500 m ce risque est élevé, puis moyen entre 500 et 600 m et enfin, très faible au-delà de 600 m (Verhaeghe et al., 2015). En effet l'altitude, directement en lien avec la température, influence le taux de larves pouvant atteindre le stade pupa avant les premiers froids (Verhaeghe, et al., 20215).

La **latitude** du verger est aussi une piste permettant d'affiner les modèles mais ne peut pour l'instant pas être isolée des autres facteurs (Emery & Mills, 2019).

⁹ En gras : La température optimale, en souligné : la moins optimale

Par ailleurs, l'**âge du verger** et sa **composition variétale** sont encore des facteurs affinant les modèles de prévision (Emery & Mills, 2019). Le postulat est qu'ils influencent la densité de la canopée (et sa durée) et donc le microclimat (température et humidité du sol) au sein du verger (Breshears et al. 1998, Ashcroft et Gollan 2012). Finalement, la tendance indiquerait que plus un verger est vieux et/ou de variété précoce plus son microclimat est humide et plus les besoins thermiques de la mouche pour émerger, diminuent (Emery & Mills, 2019).

Des observations terrain suggèrent que la **proximité avec un cours d'eau** favorise l'installation et le développement de la mouche (Verhaeghe, 2012) mais la bibliographie ne renseigne pas sur ce phénomène. Nous avons voulu intégrer cette hypothèse dans notre étude (cf. **Partie III**).

Ainsi, de nombreuses **incertitudes** demeurent concernant *R. completa*, les connaissances à propos de sa biologie, son caractère univoltin, son comportement ou l'influence des facteurs environnementaux ne lui sont parfois **pas spécifiques** mais généralisées à partir d'études concernant d'autres mouches, *Rhagoletis sp.* ou non. Cela ressort dans la construction des modèles où par exemple, le choix du 1^{er} mars pour commencer l'accumulation de DJ post-diapause de *R. completa* se base sur la phénologie connue d'autres mouches (de la pomme, occidentale, du bleuet) dont la diapause hivernale est arrêtée suite à une longue période de froid hivernal, alors que *R. completa* ne semble pas avoir besoin d'un tel refroidissement pour terminer sa diapause (Aliniaze et al. 1988). De ce fait, il est possible que les pupes deviennent réceptives plus tôt à l'accumulation des DJ que ce qui est modélisé jusqu'à présent et que les effets vergers et années soient sous-estimés (Emery & Mills, 2019).

Avec le **changement climatique**, entraînant des hivers plus doux, une hausse précoce des températures et une pluviométrie altérée, il est possible que le cycle de la mouche évolue aussi mais la recherche actuelle n'est pas en état de fournir des tendances. Empiriquement, l'émergence de 2022 a été particulièrement **précoce** (dès le 21 juin au lieu de juillet) et ce phénomène de précocité des émergences est déjà reconnu aux USA (Hawkes, 2019). Des études ont mis en évidence que le **froid hivernal** influence la synchronisation de l'émergence des adultes pour certains insectes en diapause hivernale. Pour l'instant cet effet n'a pas été observé chez la mouche du brou, dont l'émergence ou le pic de vol n'est pas modifié par l'intensité du froid hivernal selon l'étude d'Emery et Mills (2019). Les températures hivernales influencent le taux de survie durant l'hibernation mais n'influencent pas l'incidence de la mouche, seulement déterminée par les températures printanières (Aluja et al., 2011). C'est un paramètre dont il faut continuer l'étude car « la durée du refroidissement est connue pour affecter les besoins thermiques pour l'émergence des adultes d'autres espèces de *Rhagoletis* dans des conditions de laboratoire » (Brown et Aliniaze 1977, Smith et Jones 1991, Moraiti et al. 2014). L'émergence plus précoce en cas d'hiver doux peut s'expliquer par un coût métabolique plus élevé subi par les pupes hivernantes, raccourcissant leur temps de diapause et donc accélérant la date à laquelle l'accumulation des degrés-jours commence (Williams et al. 2015). Enfin, les régions dont les températures printanières moyennes (de mars à mai) sont en dessous de 7°C sont exemptes de la mouche (Aluja et al., 2011), mais la superficie de ces surfaces risque de diminuer dans le futur, ouvrant alors de nouveaux corridors de propagation du ravageur à travers l'Europe comme ce fut le cas pour l'infestation suisse (Aluja et al., 2011). Les conséquences du **changement du régime des pluies** sur la conservation des pupes dans le sol ou leur prédation restent également à étudier.

Il a déjà été documenté que le changement climatique aide la **progression du ravageur à travers l'Europe** (Samietz et al., 2012), il est alors raisonnable de craindre d'autres effets tels qu'une augmentation du nombre de générations annuelles de la mouche du brou, comme cela est en train de se produire depuis les années 1990 pour le carpocapse de la noix et de la pomme, (Nicolas FEDOU, Didier MERY, communication personnelle).

Rhagoletis pomonella, proche de la mouche du brou, a déjà montré une capacité d'adaptation aux climats locaux comme c'est le cas entre les populations d'Oregon ou de Californie (USA) qui semblent ne pas avoir les mêmes exigences de degrés-jours (Dambroski and Feder 2007).

§ Influence de la variété :

Il y a consensus sur le fait que le noyer *Juglans nigra* (originaire d'Amérique du Nord) est extrêmement attractif pour la mouche du brou ; bien plus que *Juglans regia* (originaire d'Europe et d'Asie). L'explication majeure est que le brou de *Juglans nigra* est particulièrement mou, ce qui facilite la perforation de la peau du brou et l'oviposition. Au-delà de l'espèce, la variété au sein de *Juglans regia* joue aussi un rôle dans l'attractivité ou non de la noix. La variété sur laquelle se développe l'asticot influence le poids des pupes, la longévité des adultes et la durée de la diapause.

Les **variétés précoces** (dont les noix sont plus volumineuses lors de l'émergence des mouches) sont plus sensibles (Riedl & Hoying, 1980). De même, les variétés dont le **brou est plus souple**, ou avec une **densité moindre de trichome** (poils), sont plus faciles à perforer lors de l'oviposition et sont plus attaquées (Van Steenwyck et al., 2016). Parmi les variétés cultivées en France il semblerait que les **pollinisateurs** tel que Ronde de Montignac, Meylannaise ou des anciennes variétés comme Bijou soient sensibles (Verhaeghe & Prunet, 2011). Empiriquement, la variété Lara, précoce et à gros calibre (mais à brou fin), est sensible à la mouche, jusqu'à trois ou quatre fois plus que la Franquette (Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle). Une étude suisse a clairement démontré une influence de la variété dans la sensibilité à la mouche du brou (Samietz et al., 2012). Les variétés étudiées sont malheureusement différentes des variétés cultivées en France mais cette diversité, illustrée Annexe IX, constitue un levier d'action encore peu mobilisé. Le **calibre de la noix** influence aussi la décision de ponte (Van Steenwyck et al., 2016). Ainsi les variétés produisant des gros fruits (>32.1 mm) abritent significativement plus d'asticots que les variétés à petits fruits et les dégâts sont plus importants (Guillén L., et al., 2011 ; Coates 1994). Mais l'écart du prix de vente entre les calibres incite à produire des fruits de gros calibre, plus rémunérateurs. Aux USA l'attractivité de la variété Franquette se retrouve dans différentes études (Mills et al., 2015 ; Alston, 2015) ainsi que pour *R. juglandis* (Boyce, 1929). En France toutefois, la variété Franquette est plutôt classée comme moins attractive face à la mouche (Station Expérimentale de Creysse, Communication personnelle). La classification des variétés sensibles aux USA n'est pas transposable en France car ce ne sont pas les mêmes variétés ni le même contexte pédoclimatique. La Chandler est cultivée en France et aux USA, selon les études elle est signalée tolérante (Coates 2004 et 2005) ou au contraire sensible (Opp et al., 2001), de même que pour Serr (Coates, 2005 ; Coates 2004).

Selon Van Steenwyck et al., 2016, ces variations pourraient s'expliquer par la présence d'une **molécule foliaire répulsive** de la mouche, le méthyl benzoate, présente chez la Chandler, qui pourrait expliquer les variations. Réciproquement, des molécules foliaires comme le caryophyllène sont des potentiels attractif pour la mouche (Van Steenwyck et al., 2016). L'étude des composés volatils sécrétés par les feuilles de noyers (type flavonoïdes, terpènes, polyphénols) est assez novatrice pour l'instant¹⁰. La même étude pointe les nuances de **couleur du brou** entre variétés comme potentiel facteur explicatif de la sensibilité variétale.

L'effet de la **composition multi-variétale** des vergers est à ce jour inconnu et une observation semble plutôt contredire l'intérêt de cette diversité (Verhaeghe, 2012). Une variété, la n°1712, a été identifiée

¹⁰La SENUra et l'Université de Gremloux, travaillent actuellement sur les phéromones de la mouche du brou et l'attractivité olfactive des noyers (projet « semiomouche »).

à Creysse comme étant inhabituellement attractive pour la mouche, au point de la sortir de tout schéma de sélection. On pourrait toutefois imaginer l'utiliser comme **plante attractive** pour mettre en place un autre style de *push-pull*. La pertinence éco-agronomique de ce système reste cependant à étudier.

Non seulement les variétés ont des attractivités différentes, mais les **arbres eux-mêmes** au sein d'un verger peuvent être discriminés. Par exemple, un arbre proche d'un goutte-à-goutte fuitant ou ayant subi une taille sévère, porteur de noix de plus gros calibre, attirera plus de mouches ; celles-ci semblent aussi préférer les noix les plus grosses au sein du même arbre (Coates 1994). On ne sait toutefois pas si c'est une prise de décision de la mouche qui serait en capacité d'estimer la taille de la noix ou si les grosses noix émettent simplement plus de molécules olfactives ou sont vues comme plus colorées. Par ailleurs, le poids des nymphes est lié au poids du fruit individuellement et à son niveau d'infestation (Guillen et al., 2011). Enfin, l'estimation de la sensibilité variétale à la mouche est un sujet très complexe car **le climat de la zone d'étude, la météo durant l'étude, la conduite ou l'âge du verger peuvent sensiblement modifier cette attractivité variétale** (Coates, 1994). Cela pourrait expliquer les différents résultats des études citées précédemment. Finalement, nous pouvons regretter un manque de normalisation des termes « sensible/tolérant » ainsi que des conditions expérimentales (irrigation), rendant l'usage de ces termes confus.

§ Monitoring :

Le *monitoring*, ou « surveillance de la population du ravageur » est une étape essentielle dans la démarche de lutte raisonnée d'un ravageur, en suivant le cycle du ravageur à l'échelle la plus appropriée. Les bons traitements peuvent alors être appliqués au bon moment. Le *monitoring* limite le sur-traitement mais limite aussi le risque d'intervenir après avoir dépassé le seuil économique de nuisibilité. Le *monitoring* de la mouche du brou fait l'objet de nombreuses recherches et ce, depuis la découverte du ravageur. Comme pour la plupart des diptères, la base des pièges consiste en une **plaque rectangulaire (40x25 cm) engluée et de couleur jaune vif**.

Différentes **formes** de pièges ont été testées (en croix, en cylindre...) mais la plaque seule est suffisante selon les études de la SEnuRA (Mery, 2010). D'autres études mettent en évidence que la forme du piège joue un rôle important selon la densité de mouches présentes : à densité modérée, le piège rectangulaire simple suffit, mais le piège cylindrique est à privilégier en cas de forte pression (Opp et al., 2003b). Les pièges jaunes attirent énormément d'espèces de mouches et d'insectes en général. En se basant sur la biologie du ravageur, qui pond sur des brous de noix c'est-à-dire sur des sphères vertes, des pièges de *monitoring* mimant une noix ont été testés afin de rendre plus **spécifique** le *monitoring*. Cette méthode est moins efficace en termes de nombre de captures mais elle est bien plus sélective (Riedl 1993). Les captures sur cette sphère verte collante sont aussi mieux corrélées avec le début des pontes (Duso et Dal Lago, 2006), les pontes tardives (Verhaeghe et al., 2009) et est à privilégier en cas de traitements larvicides (Riedl et al., 1989) ou ovicides (Verhaeghe et al., 2009). La méthode semble être peu utilisée au profit des plaques jaunes engluées, probablement pour des raisons de facilité d'approvisionnement, les plaques jaunes étant utilisées pour beaucoup d'autres ravageurs et parce qu'aucun traitement ovicide ou larvicide n'est homologué en France. Les rectangles verts sont aussi attractifs pour la mouche, probablement car ils évoquent le feuillage (Riedl & Hislop, 1985). Les firmes de biocontrôle continuent toujours les recherches vers des pièges plus spécifiques et faciles à utiliser. Par exemple, le format bol permettrait de s'affranchir des deux à trois changements de plaques nécessaires pendant la saison mais aussi d'éviter la capture accidentelle d'oiseaux¹¹. Les changements

¹¹ Il n'y a pas d'étude sur l'impact des plaques engluées de *monitoring* sur les passereaux insectivores, mais à défaut, préserver autant que possible les auxiliaires s'inscrit pleinement dans la démarche ECOPHYTO II+. Le groupe DEPHY Noix encourage l'utilisation de grillage

de plaques sont essentiels afin de capturer de manière homogène et non-biaisée pendant toute la période de vol (Verhaeghe et al., 2009) mais cela demande du temps, surtout si les pièges sont en grillage et cloutés comme il est recommandé.



Figure 11: exemple de monitoring spécifique à *R. pomonella* (© Alston et murray, 2013)

On pourrait imaginer le couplage d'une sphère verte avec une plaque engluée jaune, comme cela se fait avec une sphère rouge (mimant une pomme) pour *Rhagoletis pomonella* (fig.11).

Très vite, les pièges ont été complétés avec des **attractifs alimentaires** (acétate d'ammonium, carbonate d'ammonium...) qui améliorent significativement la précision du *monitoring* (Toth et al., 2014). Ces attractifs étaient déjà utilisés dès 1958 aux USA (Barnes et Osborne, 1958).

Dans les années 2015, des **phéromones** d'intérêt émises par la mouche sont caractérisées. Celles retenues dans le but de la lutte sémiochimique sont deux lactones, émises par les mâles, jouant un rôle dans la reconnaissance mâle/femelle (Senura, 2021 ; Larsy 2017 ; Sarles et al., 2018). En 2021, la société M2i obtient l'homologation d'une capsule à phéromone (la delta-heptalactone principalement), pouvant être ajoutée sur les pièges chromatiques. Grâce à l'attractivité de ces phéromones, les pièges *monitoring* capturent jusqu'à dix fois plus que les plaques jaunes et permettent également une détection plus précoce des émergences (Sarles et al., 2018).

L'**emplacement** du piège de *monitoring* est prouvé comme important. Par exemple, l'attractivité des plaques jaunes sur *Rhagoletis indifferens* peut varier selon l'intensité et la direction de la lumière (Yee, 2015). Il y a un consensus sur le fait que les pièges doivent être placés le plus haut possible, en bordure de la canopée (proche des noix), à l'ombre (face nord) et au cœur de la parcelle (Mery, 2010 ; Riedl 1993 ; Bush et al., 2014, Trécé INC., 2021 ; Verhaeghe, 2012). Les pièges sont à positionner de préférence sur les arbres ayant eu de forts dégâts les années précédentes, afin d'exploiter l'effet foyer lors de l'émergence des mouches.

De la méthode de *monitoring* choisie découle le **seuil d'intervention** retenu pour la saison (Duso et Dal Lago, 2006). Avec une plaque chromatique seule, le traitement insecticide peut avoir lieu **dès les premières captures ou la première capture de femelles avec œufs** (Bush et al., 2014). Les seuils utilisés lorsqu'il y a adjonction d'attractifs sont encore en cours d'étude. Avec une plaque jaune seule le seuil recommandé par le BT est de **trois captures successives**, malheureusement l'interprétation de ce seuil est très dépendante du rythme des relevés, point sur lequel les agriculteur·ices ne sont peut-être pas assez informé·es ou ne pas assez de disponible. Avec les phéromones, après concertation avec le groupe Technique Noix Sud-Ouest et la société M2i, le seuil d'un total de **quinze captures sur trois relevés successifs** (au rythme de 2 relevés par semaine), a été retenu pour la campagne 2022. Ce choix se base sur les informations communiquées par la firme, les observations de l'année précédente et la bibliographie (Sarles et al., 2018) montrant que les captures de mouches sont augmentées d'un facteur dix avec l'ajout des phéromones. Basculer d'un seuil de trois à trente étant assez risqué pour la récolte, l'étude se base sur un **compromis de quinze captures** pour un premier test.

entourant la plaque tout en laissant un espace entre les deux pour limiter la prise d'appui par les mouches capturées. Si la méthode se diffuse en tant que piégeage massif, avec une forte densité de pièges, l'impact sur la biodiversité devra d'autant plus être étudié et limité.

Le **comportement détaillé de la mouche** n'est pas encore bien connu, or cela peut influencer la méthode de *monitoring*. Par exemple : quelle est la distance d'attractivité des différents pièges ? leurs interférences possibles ? leur niveau respectif d'attractivité ? etc.

Enfin, d'après la bibliographie, se fier à l'intensité de pression des années précédentes et au *monitoring* seul ne renvoie qu'une information sur l'**activité de vol** et ne permet pas de se rendre précisément compte du cycle de la mouche de l'année actuelle. La fiabilité des piégeages n'est pas établie car les premières captures sont très dépendantes de l'effectif de la population sur la parcelle, voire autour de l'arbre portant le piège en cas d'« effet foyer » (Verhaeghe et al., 2015). De ce fait, l'**échantillonnage des noix** est toujours nécessaire pour prédire l'apparition et l'étendue exacte de la ponte (Duso et Dal Lago, 2006 ; Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle). En effet, les données de *monitoring* sont peu corrélées avec le début de l'oviposition chez la mouche du brou (Alinazee et Long, 1997). Cette pratique risque d'être compliquée à mettre en place car son caractère destructif n'est pas adapté à une culture comme la noix qui subit déjà une forte chute physiologique durant la phase de développement et de maturation des fruits. La modélisation est également un atout complémentaire au *monitoring* et à l'observation des dégâts au champ.

§ Modélisation :

Aux USA divers modèles existent et sont toujours en cours de perfectionnement et de remise en question au fur et à mesure que les connaissances sur la biologie de l'insecte se précisent (Emery et Mills, 2019). En France, le modèle de référence est celui développé en 2015 par Christophe ROUBAL en partenariat avec la DGAL et le CTIFL. Le **modèle INOKI « Mouche du Brou »** fait partie des OAD (Outil d'Aide à la Décision) mis à disposition des filières dans le cadre de BSV ou des BT par exemple. Le modèle INOKI fonctionne sur la base d'équations de vitesses de développement pour chaque stade, calculées en fonction des températures moyennes relevées sur les stations météorologiques du réseau et les températures futures sont modélisées sur la base des moyennes saisonnières décennales. Ce modèle ne prend pas en compte l'hygrométrie alors que les études américaines plus récentes semblent indiquer qu'elle change la réceptivité de la mouche aux DJ (Emery et Mills, 2015), tandis que d'autres mettent plutôt en avant le fait que l'humidité du sol ne modifie pas la quantité de DJ nécessaire à l'émergence mais que, en revanche, les pupes sont moins bien conservées dans un sol humide (Alston et al., 2015).

Le développement de la mouche étant principalement dicté par la température, les coopératives utilisent plus simplement des modèles de **somme des degrés-jours**, en base 5 (Alston et al., 2015) et avec un seuil supérieur de blocage de développement (Kasana et Aliniazee, 1997). Ces derniers sont moins précis et ont une capacité prédictive limitée mais sont satisfaisants pour l'usage technique qui en est fait. Ces deux modèles ont été remobilisés dans le PFE, voir **partie III. A. 2.**

§ Prophylaxie

La « **prophylaxie** » désigne l'ensemble des pratiques mobilisables pour prévenir l'apparition de problèmes sanitaires tel que les ravageurs. Il peut s'agir de leviers d'ordre physique, chimique, (micro)biologique ou génétique, qui peuvent être combinés entre eux. La prophylaxie est la pierre angulaire de la protection agroécologique des cultures.

(D'après le Dictionnaire d'Agroécologie, 2022)

Les pupes hivernantes sont de très petites taille, 3-4 mm (Schaub et al., 2003), le travail du sol n'est donc pas un levier utile pour contrôler sa population. Les mesures prophylactiques se concentrent sur le **stade larve** :

- Protection du sol grâce à une **barrière au sol** (type bâche ou textile) sous toute la canopée des arbres pour éviter l'émergence des adultes ou la pupaison des asticots, ainsi que pour faciliter la récolte des noix infestées (Alston et al., 2015 ; Samietz et al., 2012).
- Ramassage immédiat des fruits tombés au sol entre juin-août pour réduire le nombre de larve s'enterrant dans le sol, par un **ratissage ou un broyage très fin** (Schaub, et al., 2003 ; Bush et al., 2014 ; Alston et al., 2015).
- **Destruction** ou enfouissement très profond des déchets de tri et de lavage hors des noyeraies pour limiter l'inoculum (Rapp, 2015).

Il semblerait qu'aucune de ces mesures prophylactiques ne soient mises en place en France. Peut-être pour des raisons de compétitivité : les dépenses supplémentaires associées à ces interventions ne se justifient pas compte tenu de la relative bonne maîtrise du ravageur avec les moyens classiques actuels.

§ Méthodes de lutte actuelles :

- *Insecticides*

La première méthode de lutte classique est l'utilisation d'insecticides tel que les organophosphorés (Alinazee et Long, 1997). Historiquement en France, les molécules homologuées étaient le Thiaclopride (néonicotinoïde interdit en 2018), le phosmet (organophosphoré matière active de l'IMIDAN), la RynaXypyr (chlorantraniliprole mat. active du CORAGEN) et le spinosad (mat. active du SYNEIS Appât et du SUCCESS 4). Aujourd'hui seul l'**IMIDAN**, le **SUCCESS 4** et le **SYNEIS Appât** sont autorisés et l'homologation de l'IMIDAN prend fin à l'automne 2022. Malgré leur efficacité à court terme, le recours à ces insecticides n'est pas exempt d'inconvénients :

- Les produits à base de spinosad sont sous dérogation depuis plus de dix ans : le risque de voir leur renouvellement s'arrêter est réel, ce qui mènerait dans une impasse technique fatale à un très grand nombre d'exploitations.
- Avec seulement deux molécules actives utilisables¹² dont seulement une pour l'AB, l'alternance des molécules est peu réalisable, risquant à terme l'apparition de résistances (Van Steenwyck et al., 2016) ainsi que la dérégulation des populations d'auxiliaires, menant à l'explosion d'autres ravageurs jusque-là maîtrisés naturellement.
- Les produits ne sont efficaces que contre le stade adulte. Leur positionnement requiert une technicité et un suivi assidu du *monitoring* afin de réaliser l'application avant que les femelles n'aient pondu dans les brous.
- Les noyers sont des arbres de grande taille, jusqu'à 25 m, l'application nécessite donc un équipement adapté pour couvrir efficacement toute la canopée. Les insecticides avec appât peuvent répondre en partie à ce dernier point (Bush et al., 2014).
- En plus des conflits de voisinage avec les habitants locaux, les zones de production se chevauchent souvent avec les zones à fort potentiel touristique (ex : Vallée de la Dordogne), rendant conflictuelle l'utilisation de pulvérisateurs.
- Bien évidemment, les impacts écologiques et sanitaires des pesticides. Aucune de ces molécules n'est spécifique aux diptères et elles touchent indifféremment d'autres ravageurs et certains auxiliaires.

¹² Le spinosad et le phosmet pour la fin de la campagne. La deltaméthrine peut être comptée mais elle n'est pas utilisée en plein (cf. § piégeage massif).

La mouche n'ayant pas de prédateurs ou de parasites connus il n'est pas possible de cibler les recherches sur la nocivité des insecticides sur ces auxiliaires spécifiquement. Nous pouvons toutefois chercher à connaître leurs impacts globaux sur les autres auxiliaires présents, la biodiversité en général et l'humain : un état de l'art plus détaillé est proposé Annexes XII et XIII.

Le **spinosad** est un (bio)insecticide à large spectre, non-systémique et agissant par contact et ingestion (sagepesticides.qc.ca). **Il est réputé pour avoir une faible toxicité chronique sur les auxiliaires tout en étant très efficace contre les ravageurs** et se dégradant rapidement dans l'environnement (DeAmicis et al., 1997 ; Kirst et al., 1992 ; Cisneros et al., 2002). Pourtant, **sa faible toxicité pour la biodiversité non-cible est remise en cause par des études plus récentes** (Santos et Pereira, 2020). Selon l'EFSA, **les études sont lacunaires** pour pouvoir se prononcer sur la nocivité ou non du spinosad sur les oiseaux, les mammifères, les arthropodes non-ciblés et d'autres. Par ailleurs, certains **phénomènes de résistance** au spinosad ont été étudiés chez *Drosophila melanogaster*, *Frankliniella occidentalis*, *Thrips palmi* et *Tuta absoluta* (Chaabane et al., 2012), confirmant que c'est un risque à prendre en compte en cas d'usage systématique de cette molécule dans la lutte de la mouche du brou. Heureusement, **l'ajout d'appât alimentaire**, comme dans le SYNEIS Appât¹³ ou équivalent, rend son usage approprié pour la protection intégrée (Mayes et al., 2003 ; Van Steenwyk et al. 2003) car il diminue la concentration de la substance active et les surfaces traitées. Par rapport au SUCCESS 4, le SYNEIS Appât limite l'exposition de la plupart des organismes non-cibles (ANSES, 2011).

En conclusion, bien que ces deux produits phytosanitaires aient un impact « raisonnable » sur l'environnement, il n'en demeure pas moins néfaste si leur usage est la seule méthode de lutte. Ces produits risquant d'être rendus indisponibles dans le futur (ANSES, 2014), **les méthodes de luttés alternatives doivent impérativement être développées dès aujourd'hui**. Cette réduction de l'usage des insecticides peut s'effectuer grâce à un soin accru porté aux seuils d'intervention utilisés, au matériel (antidérive, hyperlocalisation...) ou à l'utilisation d'autres méthodes de lutte, en support ou en remplacement.

L'**hyperlocalisation** désigne le mode d'application d'un produit phytosanitaire par grosses gouttes en « spot » sur une zone de faible étendue sur le houppier d'un arbre. Ce type d'application est particulièrement adapté pour les insecticides avec attractif alimentaire car il maximise l'effet attractif et limite les effets non intentionnels sur les insectes non-ciblés.

- *Piégeage massif*

Le piégeage massif est une option possible grâce au DECIS Trap MB homologué en 2013 (ephy.anses.fr). Le dispositif se compose d'un bol contenant un attractif alimentaire, le tout fermé d'un couvercle dont l'intérieur est recouvert d'une glue imprégnée d'un insecticide de synthèse, la **deltaméthrine**. Après une brève autorisation en AB, ce dispositif est maintenant réservé à l'agriculture dite conventionnelle, malgré la faible interférence du produit phytosanitaire avec l'extérieur du bol. Par sa simplicité d'usage (pas de changement des composés durant la campagne) et par sa double action, de captage et d'élimination, le bol est parfois utilisé en tant qu'outil de *monitoring* bien qu'il ne soit pas homologué pour cet usage. Certain-es agriculteur-ices utilisent même la structure du bol en remplaçant le sachet attractif par les phéromones, preuve que les firmes n'ont pas encore répondu à tous les besoins de praticité qu'exigent les producteur-ices. Aujourd'hui encore il y a des zones d'ombre sur les bonnes pratiques du piégeage massif pour la mouche du brou. Par exemple, l'intensité

¹³Homologué en 2006 pour la mouche de l'olive et dérogation autorisée depuis 2012 pour la mouche du brou de la noix.

de la concurrence des noix sur l'attractif, la densité de pièges nécessaire ou encore le risque d'attraction de mouches provenant de l'extérieur de la parcelle (Verhaeghe, 2012).

- *Barrière physique*

Plusieurs produits sont disponibles sur le marché qui, une fois appliqués sur le feuillage de l'arbre, servent de barrière physique contre le ravageur. Les produits à base de Kaolin sont utilisés aux USA depuis l'essor du ravageur (Coats and Van Steenwyk 1992). En France, sont utilisables le BNA (hydroxyde de calcium), le CALCIBLANC (Hydroxyde de calcium), le SOKALCIARBO (Kaolin, argile calcinée, homologué dès 2012), le CALIAMU (Carbonate de calcium) et maintenant le Cle'flo (Smectite, Illite et Kaolinite). Les trois premiers ont été prouvés, par des scientifiques indépendants, comme **efficaces pour protéger jusqu'à 1 ha** d'arbres contre la mouche du brou (Station expérimentale de Creysse, essais confidentiels). Toutefois, leur **mode d'action** exact sur la mouche du brou n'est pas encore élucidé. L'hypothèse première est que la couleur blanche de ses produits perturbe la mouche dans sa recherche de noix vertes. Toutefois, l'apparition du Cle'flo, un produit incolore et réputé efficace contre la mouche de l'olive et la mouche du brou (Vivagro, communication personnelle), remet en cause cette hypothèse unique. Comme vu dans la bibliographie, la mouche repère également les noix par leur brillance, l'odeur et le toucher. Le Cle'flo agirait alors sur ces paramètres-là, en rendant le brou terne et en limitant l'oviposition grâce à son triple feuillet d'argile.

Les produits de type barrière physique auraient comme **avantages** d'être sans impact écologique et sanitaire (ANSES, 2012), sans risque d'apparition de résistance, parfois biosourcés localement et doublement utiles pour protéger des coups de soleil/chaleur.

Cependant, ces produits **ne permettent pas de diminuer directement la population du ravageur**, les mouches pouvant trouver refuge dans les bordures ou des noyeraies non traitées et re-infester le verger (Verhaeghe, 2012 ; Mery, communication personnelle) ou même passer outre la protection et pondre. Ce cas de figure est facilité par l'**application souvent imparfaite** dans les noyeraies âgées (avec des arbres de 15-20 m de haut) où le pulvérisateur ne peut projeter le produit que par en dessous de la canopée et n'atteint qu'une seule face des noix (Station expérimentale de Creysse ; Mery ; témoignages agriculteurs). Cette protection inefficace permet à la population de mouche d'augmenter rapidement et dangereusement (Verheggen et al., 2016). C'est un problème majeur auquel aucune innovation de machinisme ne peut actuellement répondre. Par ailleurs, ces produits sont souvent complexes à mettre en suspension ou à garder homogènes dans la cuve (témoignages agriculteurs). Ils sont aussi abrasifs, **abîmant souvent le matériel** lors de l'application (témoignages agriculteurs ; Station de Creysse ; Verhaeghe, 2012). L'Annexe XI propose un comparatif avantages/inconvénients de ces différentes luttes.

§ Perspectives des méthodes de lutte :

En Dordogne la nuciculture se fait en pratiquant la **lutte chimique raisonnée**, notamment grâce à la large diffusion du BSV et de son association avec le BT Noix Sud-Ouest. Néanmoins nous pouvons et devons tendre vers une approche plus holistique et plurielle comme le conceptualise par exemple l'IPM (Integrated Pest Management). L'Annexe XIV explicite les différences entre lutte chimique raisonnée, protection intégrée (IPM) et protection agroécologique des cultures (PAEC). Plusieurs pistes sont en développement et s'inscrivent dans cette approche plus globale de luttes alternatives. Les réflexes acquis aujourd'hui seront à leur tour utiles pour les ravageurs de demain.

La **protection intégrée** est une approche durable qui consiste à lutter contre les ennemis des cultures au travers de pratiques culturales et d'outils biologiques et chimiques de façon à minimiser l'impact économique et environnemental, et les risques pour la santé humaine

(ENDURE-European Network for DURable Exploitation of Crop Protection, 2010)

- *Lutte sémiochimique*

La **lutte sémiochimique** passe par l'utilisation de composés naturels informatifs (phéromones ou composés allélochimiques) dont l'action est la répulsion des insectes phytophages, la réduction du potentiel reproducteur ou l'attraction des ennemis naturels.

(Université de Gembloux¹⁴)

Des études récentes ont isolé des molécules dont l'hexalactone et l'heptalactone qui seraient les composants majoritaires de **phéromones sexuelles mâles** de *R. completa* (Larsy 2017). Cette découverte ouvre la voie à une lutte par **confusion sexuelle** des femelles, comme cela se fait par exemple avec succès pour le carpocapse (*Cydia pomonella*) en nuciculture. On peut espérer voir se développer des équivalents des PUFFER® ou GINKO® ring afin de permettre aux fermes AB et conventionnelles de lutter durablement contre la mouche du brou. Le travail de caractérisation de ces lactones et de leurs effets sur la mouche est à poursuivre afin d'arriver à une formulation d'un mélange de molécules suffisamment puissant pour être transposable au champ (Larsy, 2017). C'est une piste très attendue par la filière nucicole.

- *Piégeage de masse*



Grâce aux phéromones, le piégeage de masse pourrait aussi être amélioré et surtout rendu accessible aux fermes en AB. Les difficultés pour développer le piégeage de masse sont d'ordre technique : il faut un piège facile à poser, non-encombrant, piégeant en quantité tout en étant le plus spécifique possible, peu cher car mis en grand nombre et empêchant les mouches de s'échapper car celles-ci démontrent une capacité surprenante à s'extraire des plaques engluées ou des bols¹⁵. La fig.12 présente un prototype développé en ce sens.

Figure 12 : prototype d'un piège multi-ravageurs conçu par M2i (© Vrael BERNARD)

- *Sterile Insects Technique (SIT/TIS) ou lutte autocide*

Pour l'instant il n'y a pas de recherche active sur la lutte autocide pour la mouche du brou, mais c'est un **levier prometteur** à développer selon la SENURA (SENURA, 2018). Ce concept est actuellement **utilisé avec succès pour diverses espèces**, notamment parmi les mouches Tephritid (Aliniaze et Long, 1997). Toutefois cette méthode n'est pas utilisable pour tous les ravageurs (Knipling 1979), peut parfois être néfaste pour les prédateurs naturels (Gouagna, 2019), voir **aggraver la situation** (Evans et al., 2019 ; Hernandez, 2019). Afin de ne pas se précipiter sur une solution aussi complexe que la TIS, il est **primordial d'acquérir des connaissances** accrues sur l'écologie, le comportement et la génétique des populations du ravageur (Mouchet, 1971). La TIS pose aussi de nombreux défis techniques comme la **production en masse de mâles suffisamment compétitifs** avec les mâles sauvages. C'est un

¹⁴ <https://www.gembloux.ulg.ac.be/formation-continue/module-lutte-semiochimique-culture-arboriculture/>

¹⁵ Diverses observations terrain personnelle ou d'autres acteurs de la filière.

problème majeur dans le cas de *R. completa* si le phénomène de luttes entre mâles gardant les noix mûres en attendant les femelles est confirmé et d'autre part cette espèce est particulièrement difficile à élever en laboratoire (Campan, 2022).

La TIS ne doit pas être confondue avec la **Technique de l'Insecte Incompatible (TII)** qui utilise l'incompatibilité cytoplasmique causée par une infection bactérienne héréditaire qui entraîne la mort des œufs. Des lâchers de mâles infectés par bactérie *Wolbachia* ont ainsi lieu pour réguler divers moustiques, c'est aussi une technique prometteuse pour *Drosophila suzukii*, *R. cerasi* et *Bactrocera oleae* (Cattell, 2016). Or, 1) il se trouve que *R. completa* possède une structure spécifique entre le cerveau et l'œsophage qui héberge un cortège de bactéries spécifiques à ses différents stades de vie (Tsiropoulos, 1976), 2) *Wolbachia* pouvant se transmettre entre *R. cerasi* et *R. cingulata*¹⁶ (Schuler et al., 2013). La TII n'est pourtant jamais évoqué dans le cadre de la lutte contre *R. completa*.

- *Biocontrôle par nématodes et champignons entomopathogènes*

La lutte par le parasitisme des pupes par des organismes du sol entomopathogènes généralistes est une facette de la **lutte par inondation**. Dans notre cas c'est le stade pupa qui est visé via l'inoculation de nématodes ou de champignons. Les recherches sont en cours depuis 2010 (Mery, 2010) et portent principalement sur des nématodes entomopathogènes comme *Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae* et *Heterorhabditis bacteriophora* qui parasitent la pupa dans le sol (Verhaeghe et al., 2009 ; Campan, 2022). Les essais en laboratoire ont été effectués et des essais en pleine-terre sont en cours (Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle). Les nématodes comme agents de biocontrôle sont aussi connus pour leur mise en pratique complexe (température, humidité précises) et pour des résultats parfois décevants (Verhaeghe, 2012 ; Jaffuel et al., 2018). Un autre axe porte sur des champignons entomopathogènes type *Beauveria bassiana*, qui sont déjà utilisés comme biocontrôle des larves de mouche de la cerise. Les études sont en cours pour tester la transposabilité de cette méthode à *R. completa* (Verhaeghe et al., 2009). Toutefois, une étude récente, menée sur les larves de *R. suavis* a montré que le champignon entomopathogène *Metarhizium brunneum* était 139 fois plus efficace contre les larves que le champignon *Beauveria bassiana*¹⁷ (Nisar et al., 2019).

Par extension, le couplage de noyeraies avec des **systèmes avicoles extensifs** pourrait être un levier pour agir sur le stock de pupes présent dans les premiers centimètres du sol ou les larves tout juste tombées des noix. Les résultats sont encourageants (Alston et al., 2015 ; Samietz et al., 2012) mais encore trop expérimentaux pour être applicables, notamment en termes de densité de volailles nécessaire pour exercer une réelle influence.

- *Lutte biologique par importation*¹⁸

Ce terme désigne l'importation volontaire et l'encouragement de l'établissement d'ennemis naturels exotiques pour la lutte contre les ravageurs (eux-mêmes exotiques).

(D'après DeBach, 1964)

¹⁶ *R. cingulata* a été observée lors du *monitoring*, une transmission secondaire entre elle et *R. completa* est alors envisageable.

¹⁷ Ces deux champignons ont été trouvés en France (USDA, Arsef, 2011)

¹⁸ Par abus de langage, souvent confondu avec la lutte inondative, plutôt réservée à un tandem ravageur-prédateur autochtone (DeBach, 1964)



Figure 13 : lâché de *Torymus sinensis* contre le cynips du châtaignier (© Vrael BERNARD)

La lutte biologique par importation nécessite de trouver un **prédateur naturel hautement spécifique** à la mouche du brou (Rull et al., 2019), la prédatant de manière efficace et pour un coût abordable. Cette méthode est par exemple utilisée avec succès dans le cas du cynips du châtaignier (*Dryocosmus kuriphilus*), parasité par *Torymus sinensis* (fig.13).

R. completa a étonnement très peu de prédateurs connus et ils sont plutôt généralistes : araignées, chrysopides, fourmis (Alinazee et Long, 1997 ; Boyce 1934) ou encore *Pyemotes ventricosus* (acarien prédateur), *Triphleps insidiosus* (Anthocoridae prédateur) (Alston et al., 2015 ; Bush et al., 2014) ou encore *Coptera occidentalis* (Laznik and Trdan 2013). Malheureusement ces prédateurs ont peu d'impact sur la population du ravageur (Riedl 1993). Dans son territoire natal, des parasitoïdes ont aussi été retrouvés dans des pupes mais leur efficacité ne semble pas suffisante non plus pour permettre un contrôle satisfaisant ou bien les essais ont été abandonnés (Alinazee et Long, 1997 ; Verhaeghe et al., 2009 ; Laznik and Trdan 2013). **L'efficacité des parasitoïdes est estimée seulement de 5 à 10%** (Verhaeghe, 2012). Plus récemment, trois espèces parasitoïdes *Aganaspis alujai*, *Diachasmimorpha juglandis* et *Diachasmimorpha mellea* ont été identifiées comme prometteuses pour faire des lâchés (Rull et al., 2019). Outre la problématique de l'efficacité, un autre enjeu fort des luttes biologiques est leur spécificité au ravageur, qui doit être bien déterminée avant d'envisager tout lâchés. L'importation d'un prédateur non spécifique et peu influent sur la mouche est dangereuse pour l'équilibre de l'(agro)écosystème. Il faut donc privilégier autant que possible les prédateurs autochtones. Malheureusement, en Europe (Suisse) aucun parasitoïde local n'a encore été observé (Aluja et al., 2011). **Les recherches européennes doivent se poursuivre** afin d'identifier les auxiliaires et ainsi mettre en place des pratiques ciblées rentrant en synergie avec leur présence.

- Lutte biologique par conservation

La lutte biologique par conservation désigne l'ensemble des modifications de l'environnement et des pratiques existantes mises en œuvre pour protéger et augmenter les ennemis naturels spécifiques d'autres organismes afin de réduire les effets des ravageurs.

(d'après Eilenberg et al. 2001)



Figure 14 : noix avec des dégâts à la cause inconnue (© Vrael BERNARD)

De manière globale, toutes pratiques favorisant les oiseaux insectivores, araignées, chrysopides, fourmis ou punaises prédatrices ne peuvent pas porter atteinte au verger. Par exemple, *Triphleps (Orius) insidiosus* est une espèce présente en Europe (cabi.org) et d'autres espèces d'*Anthocoridae*, de *Braconidae* ou de *Diapriidae* locales pourraient prédateur *R. completa* (Campan, 2022). Enfin, des marques sur les noix infestées laissent supposer que des passereaux pourraient consommer les larves (fig. 14) : **les observations au champ doivent se poursuivre.**

- Protection Agroécologique des Cultures (PAEC)

Ce concept propose d'étendre les principes de l'agroécologie (optimisation des interactions entre les communautés vivantes) à la protection des cultures. Ces trois axes directeurs sont : la prophylaxie, la

biodiversité de l'agroécosystème et la santé du sol. Dans le cas de la mouche du brou, la prophylaxie est mobilisée de manière insuffisante ; la biodiversité des auxiliaires locaux ne semble pas pouvoir réguler ce ravageur exotique et enfin, la santé du sol bien qu'en cours d'amélioration grâce à la démocratisation des couverts végétaux sur l'inter-rang, n'est pas encore au centre des préoccupations. Le « Walnut Husk Fly Project » du Dietrick Institute a ainsi mené des essais prometteurs visant à reconstituer le réseau trophique du sol. La stratégie consiste en : 1) l'implantation d'un couvert diversifié de graminées et de légumineuses pérennes et s'auto-ressamant, 2) tondu bas et séché sur place pour permettre la récolte mécanique, 3) en présence toute l'année de tas de paille/fumier à chaque arbre afin d'augmenter la quantité d'araignées, coléoptères, acariens prédateurs et champignons. Après plusieurs années d'études les dégâts de mouche du brou restaient à un niveau acceptable. Ce type d'initiative est à poursuivre, car non seulement cela pourrait être un levier pour la gestion de la mouche du brou, mais au-delà, c'est toute la résilience de l'exploitation qui pourrait être augmentée (moins de dépendance financière aux intrants, RU du sol augmentée etc.).

§ Conclusion :

Les données biologiques connues à ce jour datent des années 1990 et proviennent d'un nombre restreint de chercheurs dont les travaux sont repris et cités. Une actualisation de ces connaissances, à l'aide des moyens modernes, pourrait permettre d'ôter l'incertitude sur certaines caractéristiques considérées comme acquises. De même, la généralisation fréquente de connaissances d'autres espèces de *Rhagoletis* à *R. completa* et la confusion possible avec *R. juglandis*, toutes deux appelées *Walnut Husk Fly*, renforcent le besoin de recherche spécifique. Enfin, les connaissances semblent encore lacunaires pour des référentiels européens : sensibilité variétale, seuils biologique et économique, conditions de vie optimales, raisons de non-émergence du ravageur, prédateurs naturels etc. Des découvertes essentielles sont en cours (phéromones, prédateurs) et la filière doit faire son possible pour accompagner ces études et permettre à la nuciculture périgourdine et française de se développer durablement. Les avancées acquises aujourd'hui seront à leur tour utiles pour les ravageurs de demain.

§ Les besoins identifiés du groupe DEPHY liés à la mouche du brou :

Le groupe DEPHY Noix a pour ambition d'être moteur d'innovation et de montrer qu'un autre type de gestion des ravageurs, plus durable¹⁹, est possible. Les techniques nouvelles mises à l'épreuve au champ peuvent ensuite servir d'exemple et inspirer l'ensemble de la filière noix, voir d'autres espèces fruitières (olive, pomme, ...). Les trois principaux défis techniques à relever concernant la mouche du brou sont les suivants :

- Mieux comprendre la dynamique de vol de la mouche afin d'appliquer un seuil d'intervention scientifiquement validé protégeant les noix avant les premières pontes, c'est-à-dire détecter le plus efficacement le pic de vol, comme l'illustre la fig. 15.
- Développer le piègeage massif de la mouche et le rendre accessible en AB.
- Comparer l'efficacité des différentes barrières physique (argile ou autre) disponibles sur le marché.

¹⁹ Le mot « durable » est employé dans ce mémoire selon le sens défini par le Rapport Brundtland sur le Développement durable, c'est-à-dire, englobant à la fois les trois dimensions sociales, économiques et écologiques.

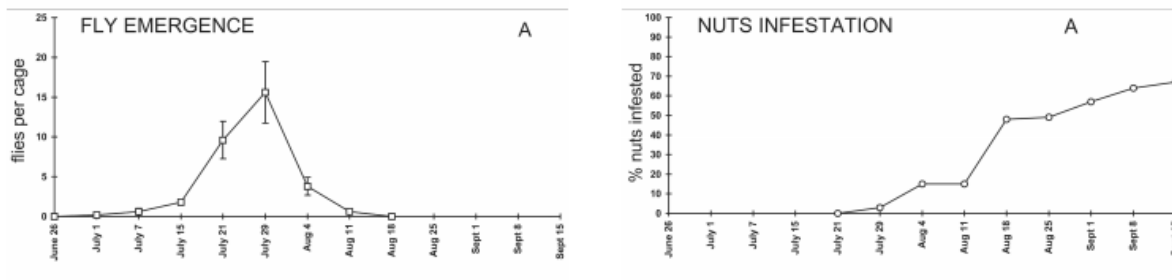


Figure 15 : graphique illustrant l'importance d'avoir un seuil d'intervention sensible (© Duso et Dal Lago, 2006)

II/ PROTOCOLE DES ESSAIS AU CHAMP DE LUTTE ALTERNATIVE PAR « PUSH-PULL » ATTRACTICIDE²⁰

A. PROBLÉMATIQUE

Nous avons mis en évidence le contexte difficile dans lequel s'inscrit cette étude : absence de produit phytosanitaire homologué, solution partielle amenée par les barrières physiques, nécessité de réduire l'usage des insecticides (y compris ceux à base de spinosad) et marché concurrentiel de la noix. Afin d'éviter une impasse technique, nous avons voulu étudier l'efficacité d'une lutte associant stratégie *push-pull* et *attract-and-kill*. Ces deux types de lutte alternative ont déjà fait leur preuve en arboriculture (El-Sayed et al., 2006 ; Larose et al., 2017) et sont encouragés par Ecophytopic (Fiche Technique n°15).

La lutte par **Push-Pull** consiste à introduire dans la parcelle une plante répulsive (*push*) éloignant les ravageurs et à l'accompagner d'une plante-piège (*pull*) les attirant en dehors de la culture.

Seule la plante-piège est traitée et au moment opportun

(d'après Ecophytopic)

La technique d'**Attract-and-Kill** repose sur l'association d'un attractif (phéromone ou alimentaire) à un insecticide à action « choc », souvent de contact (type pyréthrinocide)

(d'après ANSES et fytoweb.de)

L'association de stratégies combinées que nous proposons est la suivante : (fig. 16)

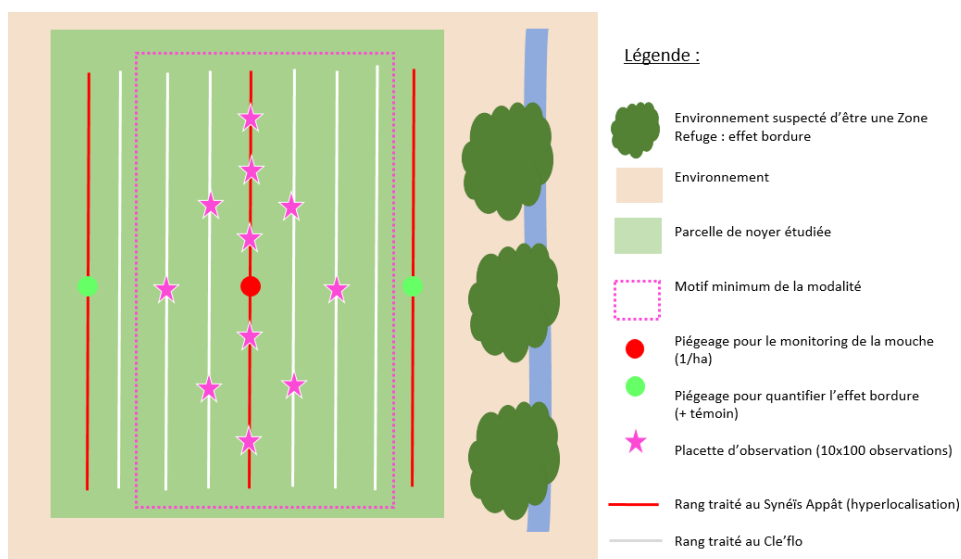


Figure 16 : schéma théorique de la disposition de l'essai push-pull (© Vrael BERNARD)

²⁰ Ce terme est directement inspiré des travaux de Larose M., Chouinard G. et Pelletier F. (2017).

B. OBJECTIFS DE L'ESSAI

Objectif 1 : évaluer l'efficacité de la méthode de lutte alternative, en condition d'infestation naturelle, par rapport aux pratiques usuelles des agriculteurs : quantification des dégâts entre l'essai et le témoin, quantification des dégâts entre les rangs de l'essai protégés à l'argile et ceux servant d'*attract-and-kill*. Les « pratiques usuelles » désignent les pratiques effectives sur la campagne 2022 des agriculteurs volontaires. Elles ne sont pas identiques, il y a donc trois essais complémentaires avec chacun deux modalités : l'essai et le témoin producteur.

Objectif 2 : valider ou non le nouveau seuil d'intervention fixé à quinze captures successives pour le *monitoring* employant des phéromones.

Objectif 3 : approfondir les connaissances sur l'attractivité sexuelle des phéromones nouvellement synthétisées pour la mouche du brou : ces lactones sont synthétisées par les mâles et vouées à être utilisées en tant qu'agent de confusion sexuelle des femelles (Larsy, 2017 ; Sarles et al., 2018) et le *sex-ratio* au sein de la population de *R. completa* est de 50-50 (Verhaeghe et Prunet, 2011). Or, selon d'autres sources, ces phéromones attireraient majoritairement les mâles tandis que les plaques chromatiques fonctionnent indifféremment sur les deux sexes. Consolider ces connaissances est essentiel pour affiner le *monitoring* en cas d'utilisation de ces phéromones.

Objectif 4 : mettre à l'épreuve l'idée-reçue que la proximité de cours d'eau/milieu humide ou de noyeraies sans gestion effective de *R. completa* accentueraient la pression du ravageur.

Objectif 5 : Identifier les freins et leviers de l'utilisation de l'insecticide hyperlocalisé afin de pouvoir communiquer et démocratiser efficacement cet usage plus écologique. En effet, cet usage est le centre de la stratégie *attract-and-kill* défendue ici, or encore beaucoup d'agriculteur-ices sont peu enclins à utiliser cette méthode, il faut comprendre pourquoi.

C. HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

Objectif 1 : i) la combinaison spatiale de pulvérisation d'argile et d'insecticide à base de spinosad permettrait de limiter les dégâts de la mouche du brou à un **seuil raisonnable d'env. 2%** (seuil utilisé par la Station Expérimentale de Creysse) et de réduire sa population tout en diminuant la quantité d'insecticide nécessaire par rapport aux pratiques usuelles ; ii) les dégâts seraient supérieurs sur les rangs attractifs sans barrière physique mais compensés par l'efficacité de la lutte à l'échelle parcellaire.

Objectif 2 : le seuil de quinze captures successives correspondrait au début du pic de vol observé grâce au *monitoring* et au moment où la maturité des femelles est prévue par les deux modèles mobilisés.

Objectif 3 : les pièges de *monitoring* possédant les capsules de phéromones attireraient une majorité de femelles.

Objectif 4 : il y aurait plus de captures de mouches sur les pièges et/ou de dégâts sur les fruits en bordure de ripisylves ou de noyeraies que sur les témoins en bord de champs et/ou au cœur des parcelles (*monitoring* classique).

Objectif 5 : i) la quantité de matière active utilisée par hectare serait moindre dans le cas de la stratégie *push-pull* avec application hyperlocalisée d'insecticide attractif, pour la même efficacité de protection du verger ; ii) l'utilisation de l'insecticide hyperlocalisé présenterait des avantages en termes de temps de travail comparé aux autres techniques alternatives.

D. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Période de l'essai

L'essai débute avant la date habituelle des premières émergences et se termine trois semaines avant la récolte des noix, qui est le moment idéal pour réaliser les comptages de dégâts depuis le sol (Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle), soit du 20 juin au 10 septembre.

2. Dispositif expérimental

L'étude est réalisée chez trois agriculteurs volontaires et membres du réseau DEPHY Noix, dans le Sud-Est du Périgord (24). Le producteur A. est en Agriculture Biologique depuis 2009, le producteur P. en 2ème année de conversion AB et le producteur G. en Agriculture Conventionnelle. Il y a deux modalités pour chaque agriculteur : l'essai et le témoin. La **modalité « essai »** est semblable pour les trois producteurs tandis que le **témoin correspond aux « pratiques usuelles »**, donc différent pour chacun. Les résultats seront pour cette raison analysés indépendamment mais aussi agrégés avec précaution afin d'augmenter l'échantillonnage et de tester la robustesse de l'analyse. Par ailleurs, deux agriculteurs n'ont pas respecté le protocole jusqu'au bout par peur des dégâts occasionnés par le grand nombre de mouches capturées par le *monitoring* avec phéromones. La méthodologie et l'analyse ont donc dû être adaptées. Le dispositif expérimental mis en place précisément chez les producteurs est visible Annexe XVI. Les relevés de *monitoring* et le suivi des seuils sont effectués deux fois par semaine, comme préconisé par Verhaeghe et al. (2009). Les quatre modalités de l'essai effectif sont les suivantes :

Tableau 4 : caractéristiques des quatre modalités de l'essai

Modalité	Traitement utilisé	Matières actives et concentrations	Doses produits et quantité bouillie/ha
Témoin pratique agriculteur A.	Cle'flo en plein (x2)	Smectite, Illite et Kaolinite à 42% soit 600 g/L (1)	Argile : 20 L de produit pour 300L à 800L de bouillie (1')
Témoin pratique agriculteur G.	SYNEIS Appât en bande, sur les 2 faces des arbres (x2)	Spinosad : 0.24 g/L	1.5 L/ha (<u>15</u> L bouillie/ha)
Témoin pratique agriculteur P.	SUCCESS 4 (x2) SYNEIS Appât hyperlocalisé (x2)	Spinosad : 480 g/L Spinosad : 0.24 g/L (2)	0.2 L/ha (800 L bouillie/ha) 1.5 L/ha (5 L bouillie/ha) (2')
Lutte Alternative (Essai)	Cle'flo (3/4) + SYNEIS Appât (1/4) hyperlocalisé	(1) (2)	(1') (2')

La surface réellement traitée au SYNEIS sur l'essai chez le producteur A. est de trois rangs de 450 m sur 8 m soit **0.36 ha**. La dose d'insecticide nécessaire à chaque passage est donc de **0.6 L/ha** seulement.

Enfin, le calendrier effectif d'application des traitements chez le producteur A. est le suivant²¹ :

²¹ Le calendrier est différent pour chaque agriculteur car les interventions étaient déclenchées selon les seuils de chaque parcelle.

Tableau 5 : calendrier effectif des interventions dans le cadre de la lutte contre la mouche du brou

Date	06/07	23/07	04/08	23/08	01/09
Témoin	Cle'flo (15 L pour 500 L de bouillie)	Cle'flo (20 L pour 600 L)	X	X	X
Essai		Cle'flo (id.) + SYNEIS Appât (2 L pour 10 L)	SYNEIS Appât (3 L pour 20 L)	SYNEIS Appât (3 L pour 20 L)	SYNEIS Appât (3 L pour 18 L)

3. Matériel expérimental

Verger(s) : Pour le producteur A., AB, Fernor de 8 ans, sur *regia*, en densité 8x8 m, sur fulviosol sableux. Irrigation par microaspersion, enherbement spontané broyé avant les interventions. Témoin de 1.3 ha et Essai de 1.4 ha. Les caractéristiques des deux autres vergers sont détaillées Annexe XV.

Monitoring : le suivi est fait à l'aide de plaques engluées jaunes équipées d'une capsule de 100 mg de phéromone sexuelle (δ -Heptalactone, Completa Pro Drop®) de la société M2i. La plaque a été grillagée afin de limiter la capture d'oiseaux et chauves-souris. Les bonnes pratiques telles qu'énoncées dans la partie I. D. 3. § Monitoring, ont été respectées. La capsule ayant une durée de vie de 12 semaines (M2i, communication personnelle), elle n'a pas été renouvelée. Sa fiche technique est consultable Annexe XVII.

Barrière physique à base d'argile : le produit utilisé est le Cle'flo (une spécialité nouvelle induisant moins d'usure sur les appareils de pulvérisation que l'argile classique, c'est un choix et une demande des agriculteurs). Classé dans la catégorie « barrière physique », sans AMM, il n'est pas colorant mais son efficacité répulsive serait prouvée sur la mouche de l'olive (*Bactrocera oleae*, Tephritidae) grâce à son action matifiante qui gênerait la reconnaissance du végétal par l'insecte et son triple feuillet d'argile qui empêcherait la ponte (communication personnelle, Vivagro). Les recommandations fabricants ont été respectées. Sa fiche technique est consultable Annexe XVIII.

Insecticide : le produit utilisé est le SYNEIS Appât (0.02% de spinosad + attractif alimentaire), formulé spécifiquement pour être utilisé en faible volume (5 à 30 L/ha) à haute concentration et se prêtant particulièrement bien à l'hyperlocalisation (cf. I.D.3 § Méthodes de luttés actuelles). Sa fiche technique est en Annexe XIX. Le but est de projeter de grosses gouttes de produit en petit nombre et bien localisées pour faire appât et non pas de pulvériser en brouillard comme c'est le cas avec la plupart des produits phytosanitaires (CA Alpes-Maritimes, 2020). Ce type de pulvérisation permet d'atteindre plus facilement le haut de la frondaison (la hauteur d'application améliore l'efficacité du produit). Le pulvérisateur utilisé est par exemple une cuve reliée à une lance télescopique, le tout monté sur un quad (fig. 17).



Figure 17 : exemple de pulvérisateur pour l'hyperlocalisation (© Vrael BERNARD)

Modélisation : le modèle INOKI (v. 3.7.0.9184) a été mobilisé ainsi qu'un modèle de Degré-Jours inspiré de celui d'une coopérative mais en appliquant le seuil supérieur de 34°C et non 30°C suite à la recherche bibliographique.

Analyse statistique : L'étude statistique des résultats est faite grâce au logiciel *R* via l'interface *Rstudio* ainsi qu'aux packages *tidyverse*, *ggplot2*, *infern*, *lattice*, *car* et *agricolae*.

4. Échantillonnage pour la notation des dégâts sur fruits

Pour la mouche du brou, **le taux de capture sur les pièges ne semble pas clairement corrélé avec le taux de dégât réel sur fruit**, il est donc essentiel de compléter l'étude par une notation de dégât sur noix (Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle).

Objectif 1 : Dans la zone où le motif du protocole testé est le mieux respecté, dix placettes d'observation (pseudo-réplicats) sont retenues au sein de la parcelle témoin et essai. De là, 100 noix seront observées. Ces dix placettes sont distinguées en deux groupes : cinq par parcelle observant le rang traité au SYNEIS Appât et cinq par parcelle observant le rang protégé avec l'argile Cle'flo. Le témoin a dix placettes réparties de manière homogène.

La variable mesurée pour chaque modalité est la proportion de noix présentant des symptômes de dégât par la mouche du brou (constat visuel puis vérification par ouverture du brou) et si cette noix est localisée sur le rang SYNEIS Appât ou Cle'flo. Afin de limiter le biais causé par la face de l'arbre, les comptages se dérouleront de la même manière : situés sur l'inter-rang orienté vers l'Est.

Objectif 4 : Afin d'être représentatif sans être chronophage, la méthode d'échantillonnage utilisée est différente de celle de l'essai. Quatre arbres en bordures sont sélectionnés et sur chaque, l'intégrité ou non de 25 noix est relevée (soit 100 noix par bordure). Cette méthode présente un biais observateur et les réplicats ne seront pas assez nombreux pour établir un résultat statistique robuste. Elle permettra toutefois d'avoir une première idée de la tendance sur l'influence ou non des bordures sur l'apparition de foyers de ravageurs.

III/ BILAN DE L'ÉTUDE ET PERSPECTIVES

A. RÉSULTATS DES ESSAIS

1. Objectif 1 : observation des dégâts sur les parcelles témoins et essais

Les données brutes des notations sont visibles Annexe XX.

Tableau 6 : synthèse du taux de dégâts entre le témoin et l'essai (argile et SYNEIS Appât)

	Témoin : taux de dégâts	Essai : taux de dégâts
Producteur A.	1 %	0.8 % Dont sur les rangs au Cle'flo : 2% Dont sur les rangs au SYNEIS Appât : 14%
Producteur P.	1.7 %	1.5 % Cle'flo : 8% ; SYNEIS : 22%
Producteur G.	5.2 %	3.8 % Cle'flo : 32% ; SYNEIS : 44%

Malgré le protocole modifié, la tendance empirique suggère un effet autant voire légèrement plus protecteur du *push-pull* comparé au témoin (Cle'flo ou insecticide en plein) et semble confirmer l'hypothèse que les rangs avec SYNEIS Appât ont plus de dégâts que ceux avec Cle'flo.

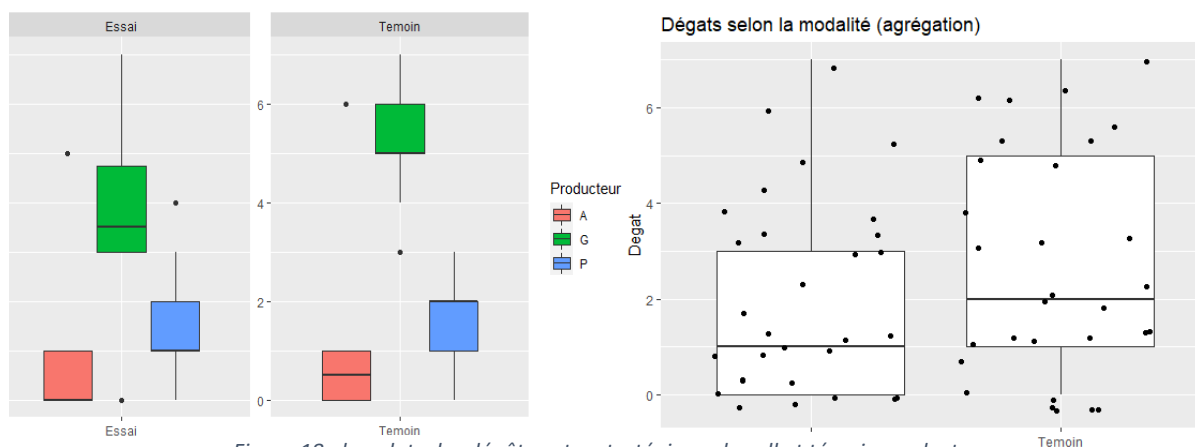


Figure 18 : boxplots des dégâts entre stratégie *push-pull* et témoin producteur

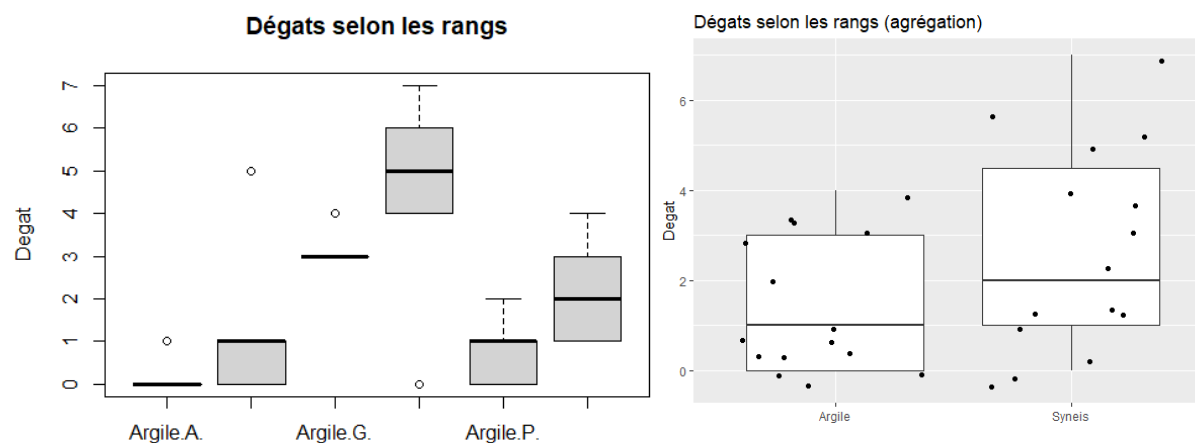


Figure 19 : boxplots des dégâts au sein de la stratégie *push-pull*

2. Objectif 2 : seuil d'intervention, prévision des modèles d'émergence DGAL et degrés-jours

§ Seuil d'intervention

Le seuil retenu pour ces essais est de quinze captures successives obtenues en au moins trois relevés. Une fois la première intervention faite, il est calculé séparément pour l'essai et le témoin, l'Annexe XXIII détaille le calcul effectué. Le tableau 7 résume la situation :

Tableau 7 : récapitulatif des seuils atteints lors du monitoring (© Vrael BERNARD)

Producteur	Date du 1 ^{er} franchissement du seuil	Valeur du seuil le relevé précédent	Valeur du seuil sur la parcelle lors du dépassement
A.	15/07 (Essai) 19/07 (Témoin)	Essai : 10.5 Témoin : 11	Essai : 16.5 Témoin : 22
P.	13/07	Essai : 8.75 Témoin : 7.6	Essai : 23 Témoin : 32
G	Jamais atteint. Seuil d'une valeur de 13 le 12/08 pour les deux parcelles		

Pour les producteurs P. et A., **le seuil a été largement dépassé durant la majorité de la saison**. Pour le producteur P., entre le 13/07 et le 26/08 le seuil moyen a été de 36.7 (min : 16, max : 67). De même pour le producteur A., chez qui le seuil moyen sur la période du 19/07 au 01/09 est de 31.5 (min : 16.5 ; max : 42).

§ Modèle INOKI

Trois stations du réseau disponibles, les plus proches de la zone étudiée, ont été sélectionnées afin de réaliser une triangulation de la zone géographique telle qu'illustrée figure 20.

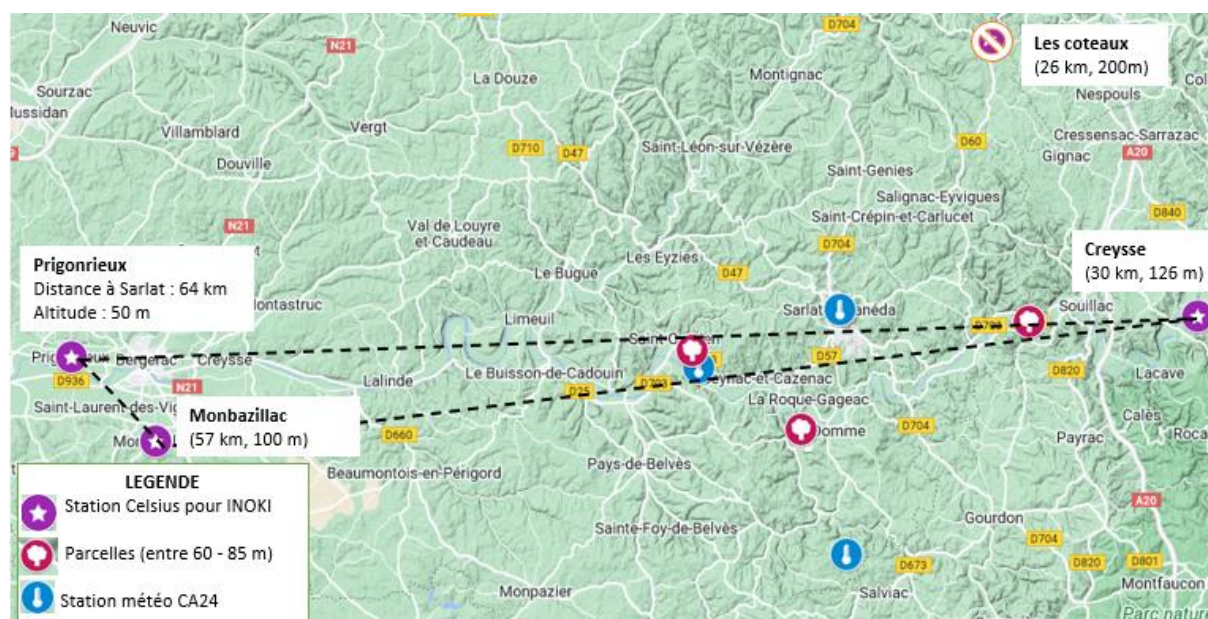


Figure 20 : cartographie des stations météorologiques utilisées pour la modélisation (© Vrael BERNARD)

Les trois stations fournissent des prévisions très proches, la station de Creysse étant plus tardive du fait de son altitude supérieure (les sorties de modèles sont fournies Annexe XXII). La station de Prignonrieux propose des prévisions moyennes, son altitude et latitude sont les plus similaires à celles des parcelles. La fig. 21 est la sortie du modèle INOKI correspondante :

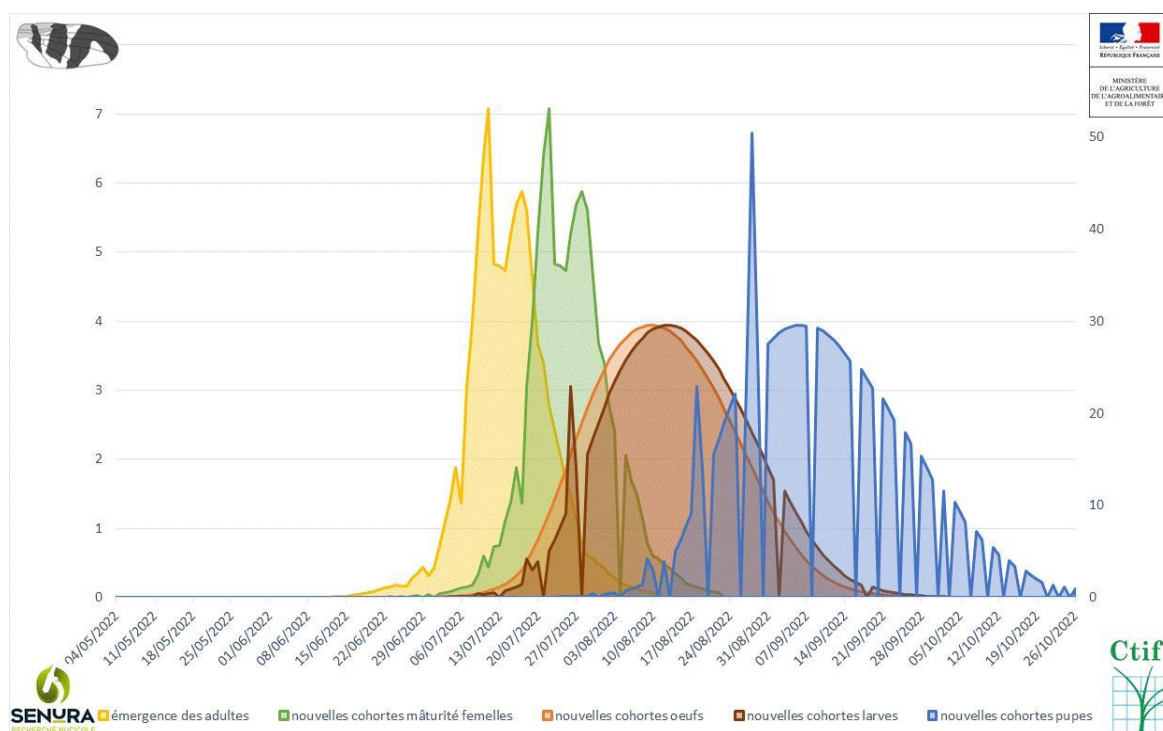


Figure 21 : sortie du modèle INOKI pour la station de Prignonieux (au 06/07/22)

§ Modèle degrés-jours

Suite à l'état de l'art réalisé, le modèle aimablement fourni par une coopérative a été légèrement modifié, en remontant par exemple le seuil supérieur à 34°C et non plus à 30°C. Le modèle a utilisé les données climatiques de la CA24, sur les stations de Castels et Sarlat. La synthèse des résultats de la modélisation pour Sarlat est la suivante :

Tableau 8 : récapitulatif du modèle DG (© Vrael BERNARD)

Station Sarlat : Modèle Degrés-Jours (°C/j)				
Date	Somme des DJ	Stade atteint selon le modèle	DG exact pour atteindre le stade	Observation terrain
07-juin	880	pose des pièges recommandée	871	Pose effective le 20/06
16-17-juin	1030-1050	1ères émergences	1038	1ere capture sur parcelle : 01/07
27-28-juin	1210-1223	1ères femelles mûres	1216	
07-08-juil	1355-1373	Début ponte	1360	
13-14-juil	1472-1494	Début éclosion	1482	période fortes chaleurs (T° Moy journalières entre 27 et 31°C) pdt 8j.
26-27-juil	1728-1744	50% émergence adultes	1732	

§ Synthèse

Le dépassement du premier seuil selon le *monitoring* avec phéromones, se situe entre le 13/07 et le 19/07, puis tout au long de la période de juillet-août. Le pic d'émergence est prévu entre le 06/07 et 13/07 par le modèle INOKI, autour du 26/07 par le modèle DJ et il est observé sur le terrain entre le 19/07, 01-05/08 et 12/08. Les premières femelles mûres sont annoncées le 27/06 selon le modèle DJ et entre le 13/07 et le 03/08 pour INOKI.

3. Objectif 3 : attractivité sexuelle des pièges de monitoring avec phéromones

En cumulant les captures effectuées sur les 17 pièges répartis chez les trois agriculteurs, **2058 mouches** (1154 femelles et 904 mâles) ont été capturées, avec un **sex-ratio de 1.3 en faveur des femelles** sur la période 01/07 au 06/09 et de **1.6** sur la période 01/07 au 17/08 (fig. 22 et 23). Les données brutes sont consultables Annexe XXI.

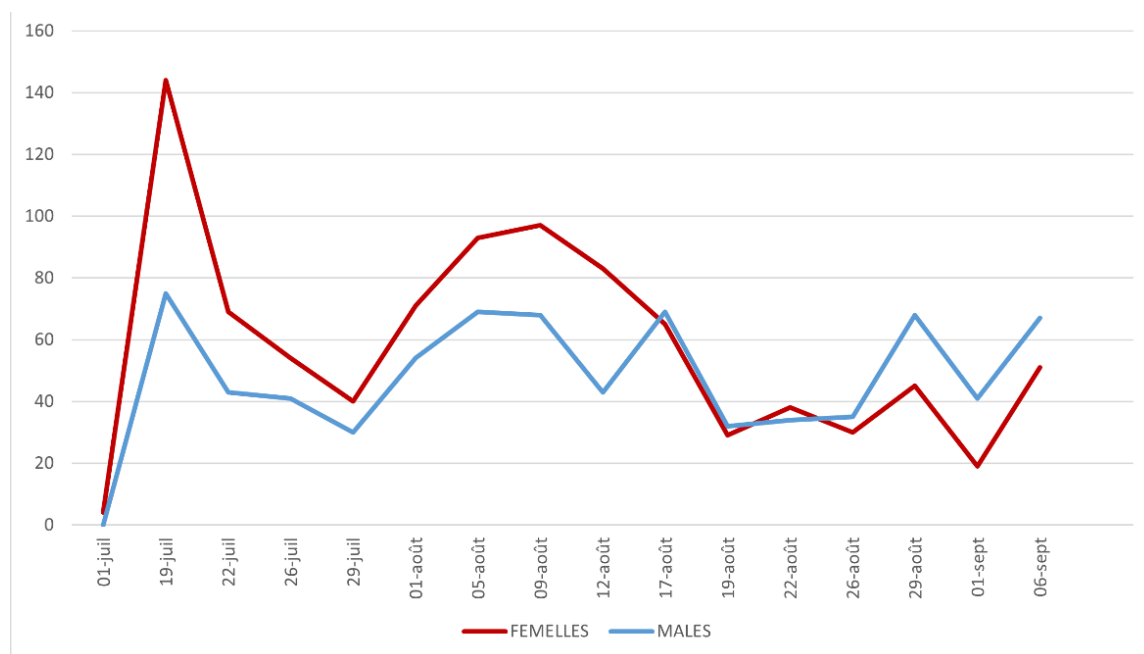


Figure 22 : courbe de capture des mouches selon le sexe

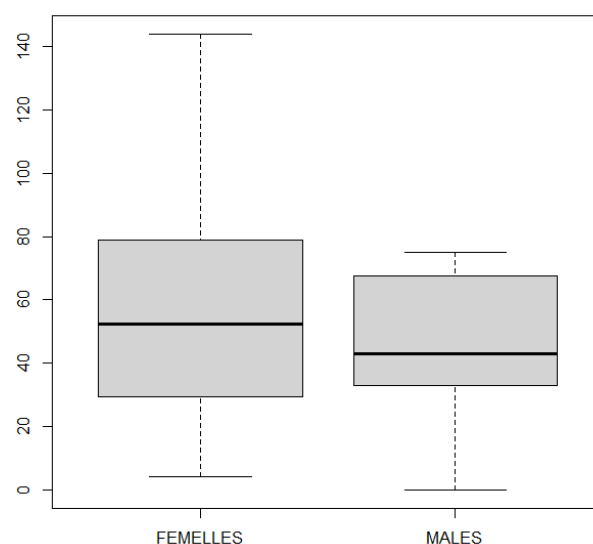


Figure 23 : boxplot de la distribution du sex-ratio des captures de monitoring

4. Objectif 4 : observation des dégâts sur les bordures

Les données brutes des notations de dégâts sont visibles Annexe XX, les courbes de vol sont Annexe XXIV et la figure 24 représente succinctement l'activité de vol autour de chaque piège.

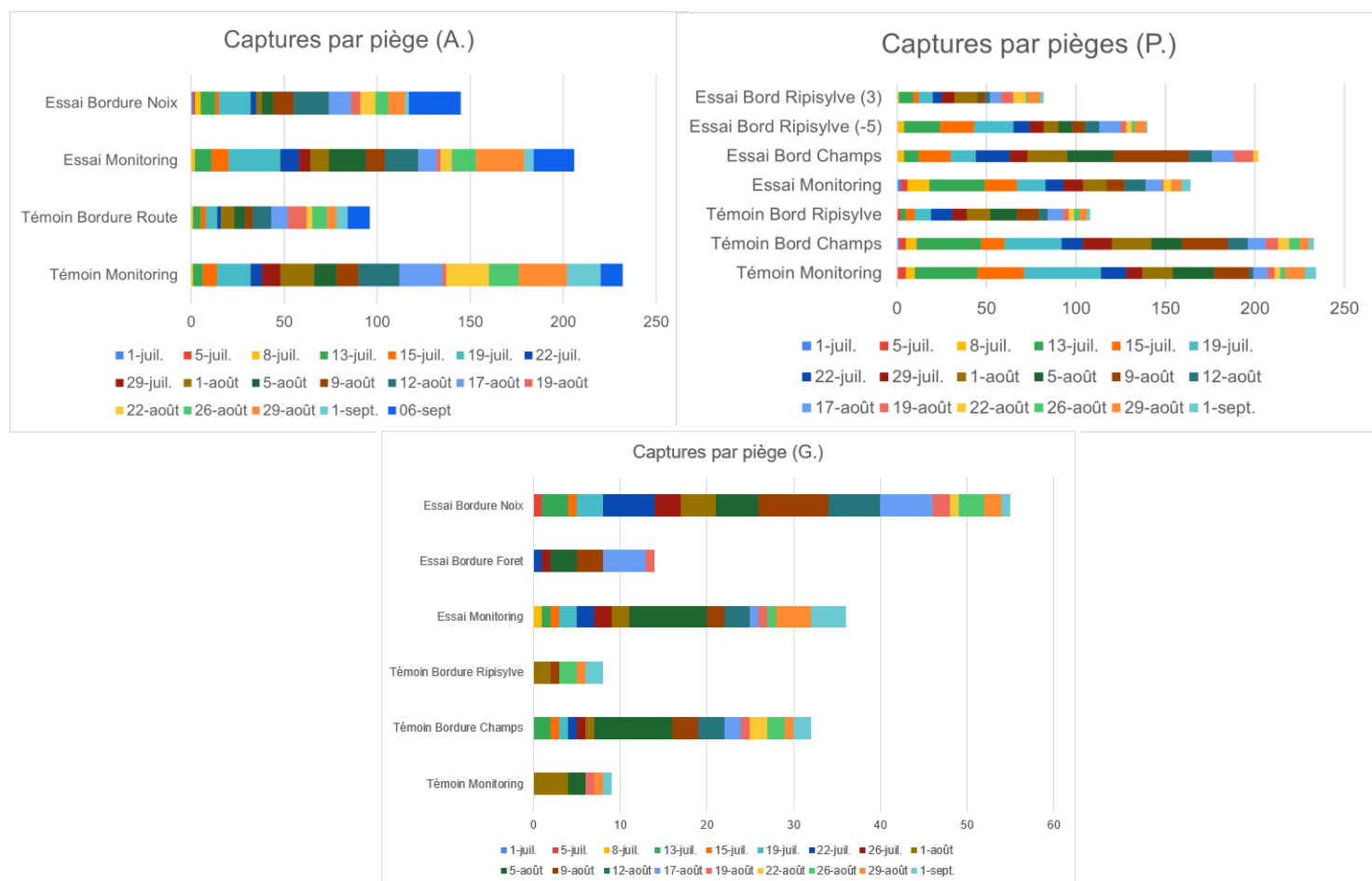


Figure 24 : cumul des captures de chaque piège pour les trois producteurs

Selon cette activité, les tendances de dégâts attendus sont :

- Pour le producteur A., plus de dégâts au centre des parcelles qu'en bordure, et peut-être plus de dégâts à proximité de l'autre noyeraie qu'en bordure de route.
- Pour le producteur P., plus de dégâts en bordure de champ qu'en bordure de ripisylve, et peut-être plus de dégâts au centre des parcelles qu'en bordure de ripisylve également.
- Pour le producteur G., plus de dégâts en bordure de noyeraie, au centre de la parcelle d'essai et en bordure de champ qu'ailleurs.

Le taux de dégâts effectifs selon les bordures est visible figures 25 et 26. Une agrégation des comptages entre parcelle essai et témoin se justifie suite à l'analyse des résultats de l'essai ne montrant pas de différence franche. Cela permet d'augmenter la taille des échantillons observés pour

chaque nature de bordure et donc la robustesse des résultats obtenus au préalable au sein de chaque système « producteur » pris indépendamment.

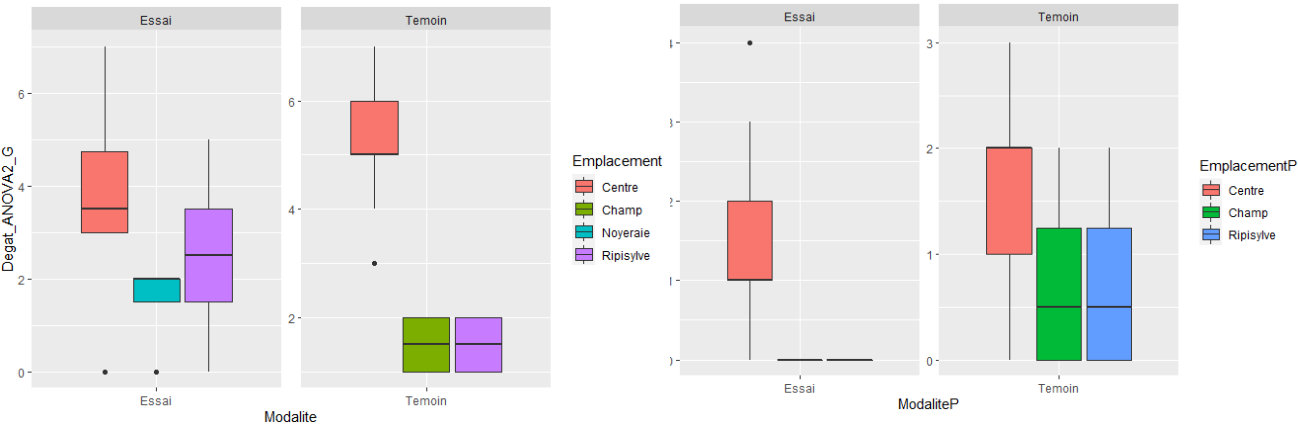


Figure 25 : intensité des dégâts selon l'emplacement au sein de la parcelle (producteurs G. et P.)

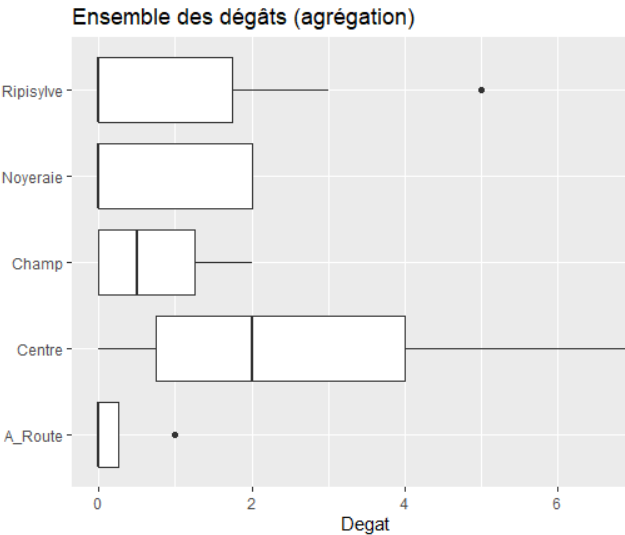


Figure 26 : boxplots des dégâts selon la nature de la "zone refuge" à proximité

5. Objectif 5 : quantité de matière active et temps de travail nécessaire

Comme le met en évidence le tabl.9, la **quantité de matière active nécessaire pour réaliser cette lutte push-pull a été divisée par deux voire plus** comparée à l’usage maximal autorisé de 1.2 g/ha de spinosad pour une saison (Soit 0.24 g/L à hauteur de 1.5L/ha par passage et en considérant 4 passages, comme dicté par l’ANSES) :

Tableau 9 : comparaison technique entre pratiques usuelles et lutte alternative

	Témoin (g matière active/ha)	Push-Pull (g matière active/ha)	Push-Pull (L de Cleflo /ha)
Producteur A.	0 g (argile seule)	0.576 g spinosad (SYNEIS)	35 L
Producteur G.	0.504 g spinosad (SYNEIS)	0.504 g spinosad (SYNEIS)	24 L
Producteur P.	192.648 g spinosad (SUCESS 4 + SYNEIS)	96.648 g spinosad (SUCESS 4 + SYNEIS)	60 L

Après enquête auprès des agriculteurs du groupe DEPHY, l’utilisation de SYNEIS Appât en hyperlocalisation nécessite, par passage, entre **30 mn à 1 h de travail pour préparer la cuve et la nettoyer**, et un temps d’application compris entre 15 à 30 mn/ha (ou 4 ha/h) pour une dose à chaque

arbre, soit, dans le cas de notre essai où seul un rang sur quatre reçoit une dose, une **vitesse théorique de 16 ha/h**. Pour l'application en plein d'un insecticide tel que le SUCCESS 4 ou l'IMIDAN, le débit de chantier descend à **2 ha/h** pour un temp de préparation d'1 h également. Enfin, l'épandage d'argile nécessite aussi 1 h de préparation de la cuve (+/- selon la formulation du produit) et s'effectue à une vitesse de **1 à 2 ha/h**.

Enfin, dernier paramètre déterminant, le prix d'intrant nécessaire pour cette stratégie alternative est de **73 à 100 €/ha** par passage (SYNEIS Appât + Argile) : 25 €/L pour le SYNEIS (soit 15 € pour 0.6 L), 4.20 €/L pour le Cleflo (soit 84 € pour 20 L), voire moins pour une argile type SOKALCIARBO pour laquelle le coût hectare est autour de 42 €²²). Avec une protection au SUCCESS 4 seul, un passage revient à 108€/ha²³. En fonction du lessivage, le coût à l'hectare de la lutte par *push-pull* est compris entre la lutte par insecticide en plein et la lutte par barrière physique seule. Mais qu'en est-il de l'efficacité agronomique du *push-pull* ?

B. ANALYSES DES RÉSULTATS

1. Objectif 1 : efficacité de la lutte alternative comparée aux pratiques usuelles

§ Efficacité globale de la lutte par *push-pull* comparée au(x) témoin(s)

Après réalisation d'une ANOVA2, nous pouvons confirmer que le taux de dégâts est différent selon les agriculteurs, le producteur G. est particulièrement touché et le producteur A. significativement moins, malgré une tendance de vol laissant supposer l'inverse. Enfin, **il n'y a pas de différence de taux de dégâts entre les modalités « essai » et « témoin » pour chaque producteur respectivement** (fig. 27).

Analysis of variance Table							\$groups	
Response: transfo							transfo	groups
Producteur	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Témoin:G	0.7852019 a
Modalite	1	0.09953	0.09953	2.0387	0.1591		Essai:G	0.6332519 ab
Producteur:Modalite	2	0.03815	0.01908	0.3907	0.6785		Témoin:P	0.4015695 bc
Residuals	54	2.63639	0.04882				Essai:P	0.3459392 bc
---							Témoin:A	0.2049218 c
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1							Essai:A	0.1681241 c

Figure 27 : sortie de l'ANOVA2 et du test de Tukey

Néanmoins, en réalisant les tests de comparaison de moyennes indépendamment, la parcelle « Témoin » du producteur G. pourrait être considérée comme légèrement plus impactée avec un seuil de confiance de 90% au lieu de 95%.

Producteur	Normalité (Shapiro)	Homoscédasticité (Bartlett)	Comparaison (Anova)	Puissance (1-β) ²⁴
G.	P_value : 0.1	P_value : 0.1289	P_value : 0.1 > 0.0637 > 0.05	1-β : 45%

Nous pouvons conclure que dans le cadre limité de notre étude, **la stratégie par *push-pull* est aussi efficace qu'une protection intégrale à l'argile** (témoin A.), qu'une protection avec deux passage de SYNEIS Appât en bande (témoin G.) et même autant qu'une protection avec deux passages de SYNEIS Appât + deux passage de SUCCESS 4 (témoin P.).

²² <https://www.produire-bio.fr/articles-pratiques/protéger-efficacement-oliviers-contre-mouche-de-lolive-bio/>

²³ Avec un prix autour de 270 €/0.5L selon www.agrilisa.com

²⁴ Calcul selon : Pierre DAGNELIE, Statistique Théorique et appliquée t.1. La puissance du test, liée à la méthode d'échantillonnage, est discutée partie III. C. 1.

§ Différence de protection entre le *push* (Cle'flo) et le *pull* (SYNEIS Appât hyperlocalisé)

Producteur	Normalité (P_value)	Homoscédasticité (P_value)	Comparaison Puissance (1-β)	Conclusion
A.	3.062e-5	0.2256	Mann-Whitney P_value : 0.232 1-β : 24,4 %	Il n'y a pas de différence de taux de dégâts entre les rangs <i>push</i> et les rangs <i>pull</i> , au seuil de 95%
P.	0.2375	0.4103	Anova P_value : 0.1> 0.078 > 0.05 1-β : 41,5%	
G	0.4628	0.0045	Welch P_value : 0.38 1-β : 16,6%	
Agrégation des trois producteurs	2.192e-3	0.058	Mann-Whitney P_value : 0.1213 1-β : 67%	

Malgré la tendance empirique, les rangs avec le SYNEIS Appât, c'est-à-dire attractifs et non protégés par l'argile, n'ont pas significativement plus de dégâts causés par les larves de mouches, ce qui est encourageant pour l'utilisation de cette méthode et doit motiver d'autres études.

2. Objectif 2 : retour sur le seuil de quinze captures successives

Dans le cas d'un *monitoring* avec Sticky Trap (plaque jaune engluée) + Completa Pro Drop® (capsule de phéromones M2i), nous remarquons que le **seuil de quinze captures** est obtenu pour la 1^{ère} fois **aux alentours du pic d'émergence** prévu par le modèle INOKI, selon le secteur de précocité de la parcelle mais une dizaine de jour avant les prévisions du modèle DJ. Les **1^{er} œufs** sont également vus au moment où le seuil est atteint (13/07), un peu en avance par rapport aux prévisions INOKI. Par la suite, le seuil est constamment dépassé sur les parcelles en AB. Nous observons aussi un **emballement rapide** de la population, avec un saut du seuil dès que le vol débute (passage de 7.6 à 32 captures en trois jours). En contexte estival la chaleur peut être un facteur bloquant pour réagir vite et traiter dès que le seuil est dépassé. Pour toutes ces raisons, **le seuil de 15 semble adapté** (dégât < 2%), **mais sans laisser de marge de sécurité contrairement à l'hypothèse de départ** qui considérerait que les phéromones augmentaient d'un facteur 10 la détection du vol et qu'un seuil de 30 était envisageable afin de ne pas sur-traiter. Cela est flagrant dans le cas du **producteur G.**, où le seuil n'a jamais été dépassé, contrairement aux deux autres agriculteurs, et chez lequel pourtant le taux de dégâts est bien supérieur au seuil tolérable (4.5 % > 2%). Comme supposé déjà dans l'état de l'art, l'activité de vol ne semble effectivement pas refléter l'importance des dégâts. Le problème réside-t-il dans le choix du seuil d'intervention ou est-il dû à d'autres facteurs liés aux pratiques culturales et/ou à l'environnement par exemple ?

3. Objectif 3 : quel avenir pour le monitoring et/ou la lutte sémiochimique ?

Après vérification de la normalité (p_value ♀ : 0.6827 ; p_value ♂ : 0.1248) et de l'homoscédasticité (p_value = 0.04434 < 0.05), un test de Welch est effectué. Sa p_value est de **0.1924 > 0.05**, nous pouvons en conclure qu'il n'y a pas de différence significative en termes de captures moyennes femelle/mâle. C'est-à-dire que **la présence des phéromones n'attire pas plus un des sexes que l'autre**. Dans l'hypothèse où cela serait la conséquence d'un vieillissement prématuré de la capsule dû aux très fortes chaleurs de l'été, le même test est refait sur les captures de la période antérieure au 17/08. La

p_value est alors de **0.07417 > 0.05**, ce qui est « mieux » mais toujours non significatif pour un seuil de confiance à 95%.

Pour l'instant ce produit ne semble donc **pas adapté pour une lutte sémiochimique par confusion des femelles** comme souhaité par Larsy (2017) et Sarles et al. (2018), malgré effectivement un piégeage légèrement plus précoce et plus important de ces dernières. Nous pouvons aussi nous demander dans quelle mesure le rassemblement des femelles sur les plaques de *monitoring* n'attire à leur tour les mâles sur cette zone, contre-carrant ainsi l'effet sélectif des phéromones. Par ailleurs, la plaque chromatique attire de base indistinctement les mouches mâles et femelles. Une lutte par **confusion globale** des deux sexes pourrait être envisageable mais nécessiterait aussi d'autres recherches sur la formulation et le relargage des molécules. Toutefois, cette attractivité supplémentaire grâce aux phéromones peut déjà permettre un début de lutte sémiochimique par **piégeage massif** mais des recherches sur son efficacité, la densité de piège, le coût, l'impact sur les auxiliaires (prises collatérales) et surtout la praticité (changement régulier des plaques) d'une telle méthode restent encore à mener.

Dans l'optique de seulement **affiner la détection des mouches** au sein de la parcelle pour déclencher le traitement, l'ajout des phéromones semble une plus-value. Des études sur le rayon d'action des phéromones sont néanmoins attendues car les agriculteur·ices craignent, à juste raison, d'attirer les mouches d'autres parcelles sur celle avec la capsule, comme cela s'est produit au tout début du piégeage massif de zeuzère (Mery, communication personnelle).

4. Objectif 4 : évaluation de l'influence des zones refuges sur la pression du ravageur

Au vu de l'absence de différence entre les parcelles « témoin » et « essai », les comptages peuvent être regroupés par type de bordure, indifféremment de la modalité de la parcelle.

Le comptage des dégâts en bordure n'est **pas exploitable** chez le producteur A., malgré une **intensité de vol** visuellement plus forte en bordure de noyeraie. Statistiquement, la seule différence est l'intensité de vol au cœur de la parcelle témoin qui est supérieur à celle en bordure de cette même parcelle, côté route (P_value : 0.002307 < 0.05), mais cela ne se traduit pas par plus de dégât au centre de la parcelle (P_value : 0.593).

Pour le producteur P., la comparaison des moyennes de dégâts entre « bordure de champ » et « bordure de ripisylve » aboutie à une p_value **non significative** (0.5765 > 0.05). De même, l'activité de vol qui semblait plus importante en bordure de champ (foyer identifié sur la parcelle « essai ») n'est statistiquement pas différente entre bordure de champ, ripisylve et centre des parcelles (P_value 0.1171). Finalement, l'ANOVA²⁵ nous révèle **plus un effet « parcelle²⁶ » que « bordure » tout en mettant en évidence que le centre des parcelles est le plus touché** (fig. 28).

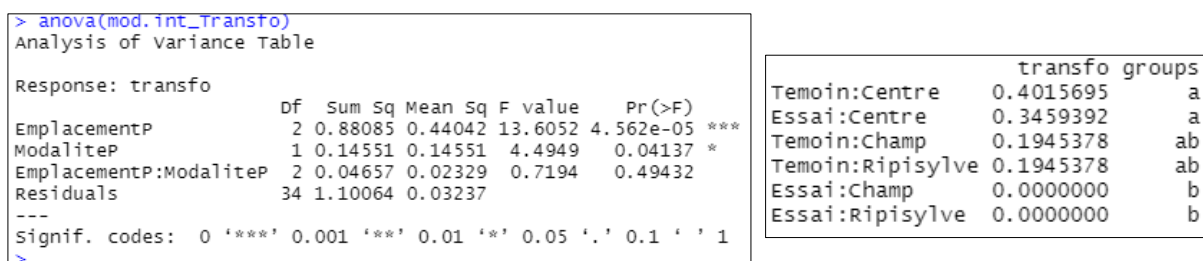


Figure 28 : sortie de l'ANOVA2 pour le producteur P.

²⁵ Après transformation des résidus par un log10 pour parfaire la normalité.

²⁶ Nous avons démontré précédemment que la modalité Essai/témoin n'influence pas le taux de dégâts, le facteur mis en évidence ici est donc la parcelle elle-même plus que sa modalité de lutte.

De même, nous pouvons affirmer que chez le producteur G. :

- le cœur de la parcelle témoin est l'emplacement avec le plus de dégâts (P_value : 3.06e-9)
- il y a autant de dégâts en bordure de ripisylve de la parcelle d'essai qu'au cœur de cette même parcelle
- les autres modalités d'emplacement (bordure de ripisylve et bordure de champ de la parcelle témoin, bordure de noyeraie de la parcelle essai), ont moins de dégâts que le cœur de la parcelle de l'essai.

Nous voyons ici un effet de la bordure de **ripisylve**, mais uniquement sur une des parcelles. Au vu des analyses précédentes, l'expérience doit être refaite pour confirmer cette tendance qui est peut-être due à un foyer déjà installé indépendamment de la nature de la bordure. Néanmoins, nous retrouvons bien que le **centre des parcelles** est systématiquement plus touché par les infestations de mouches. Une ANOVA2 confirme ces résultats (fig. 29) :

Analysis of Variance Table									
Response: Degat_ANOVA2_G							Degat_ANOVA2_G groups		
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)		Témoin:Centre	5.2	a
Emplacement	3	68.222	22.7407	10.7947	5.644e-05 ***		Essai:Centre	3.8	ab
Modalite	1	3.571	3.5714	1.6953	0.20281		Essai:Ripisylve	2.5	b
Emplacement:Modalite	1	8.229	8.2286	3.9060	0.05737 .		Essai:Noyeraie	1.5	b
Residuals	30	63.200	2.1067				Témoin:Champ	1.5	b
---							Témoin:Ripisylve	1.5	b
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1									

Figure 29 : sortie de l'ANOVA2 pour le producteur G.

Après agrégation de tous les échantillons selon la nature de la bordure, nous ne relevons toujours pas de différence significative (P_value : 0.8245 > 0.05), **il n'y a donc pas d'effet selon la nature de la bordure**. Cependant, en y rajoutant les dégâts comptabilisés au centre des parcelles, nous obtenons une significativité (P_value : 0.0179 < 0.05). C'est-à-dire qu'il **y a statistiquement plus de dégâts en centre de parcelle qu'à n'importe quelle proximité de zone refuge hypothétique**, surtout pour le témoin.

5. Objectif 5 : identification des freins et leviers de l'utilisation du SYNEIS Appât en hyperlocalisé

Nous avons mis en évidence que la quantité de matière active peut être diminuée sans porter préjudice à l'intégrité de la récolte et c'est une tendance qui peut encore s'accroître si l'efficacité de la technique du *push-pull* s'améliore encore : identification des seuils d'intervention, de la proportion et de l'emplacement des rangs *push* et *pull*, nature de la barrière physique, adaptation du matériel etc. De même, le temps de travail nécessaire pour une application de SYNEIS Appât est bien moindre qu'un passage de pulvérisateur en plein. La préparation/nettoyage de la cuve est l'étape la plus chronophage du processus, c'est-à-dire que le gain de temps pourrait être « exponentiel » avec la surface traitée.

L'emploi de l'insecticide en hyperlocalisation est une caractéristique clef de la stratégie alternative présentée dans ce PFE et plus largement, un élément sur lequel travaille le groupe DEPHY depuis plusieurs années. Toutefois, à travers les différents entretiens avec les agriculteur-ices du réseau et notamment avec les trois réalisant l'essai, il ressort que **l'utilisation de ce produit n'est pas encore entrée dans les habitudes**. Cette étude, par le non-respect du protocole d'essai, a mis en lumière la **méfiance** (légitime) qui subsiste quant à l'efficacité de l'application du SYNEIS en hyperlocalisation : ce dernier n'est utilisé qu'en cas de faible pression. Les premiers éléments de compréhension tirés de cette expérience sont à approfondir à travers des enquêtes plus formalisées et centrées sur ce sujet.

Le **manque d'études scientifiques** ne facilite pas la démocratisation de ce type d'application non plus. Les principales ressources françaises proviennent du CIRAD à propos des mouches des cucurbitacées (Deguine et al., 2021a ; D'avout, 2011) ou de la chambre d'agriculture des Alpes-Maritimes à propos

de la mouche de l'olive. Un état des lieux des freins et leviers sur lesquels agir a donc été mené, en croisant témoignages d'agriculteur·ices et d'acteur·ices de la filière ainsi que bibliographie.

Le tabl. 10 synthétise les différences entre utilisation de SYNEIS Appât en hyperlocalisation et utilisation d'insecticide en plein (type SUCCESS 4 ou IMIDAN), du point de vue agriculteur. Il ressort de ce tableau que 1) des **études terrain comparatives** supplémentaires doivent être menées afin de servir de support de communication (ex : efficacité, temps travail) et 2) qu'il est nécessaire de poursuivre la **diffusion** de cette méthode ainsi que son explication, auprès des agriculteur·ices et technicien·nes comme réalisée lors des journées techniques. Outre les verrous techniques, le **verrou psychologique** ne doit pas être négligé : les producteurs tendent à lier efficacité d'un produit et surface recouverte, or, dans le cas du SYNEIS Appât, c'est précisément l'inverse : cela peut mener à des utilisations non-optimale et donc créer de la méfiance pour l'année suivante. C'est par exemple ce qui risque de se passer pour le producteur G. qui a traité « en bande » et non « en spot ».

Tableau 10 : freins et leviers pour la démocratisation du SYNEIS Appât en hyperlocalisation (© Vrael BERNARD)

	POSITIF	NEGATIF
INTERNE	FORCES <ul style="list-style-type: none"> - Très faible quantité de matière active nécessaire - Faible toxicité pour l'humain - Peu d'effet sur les auxiliaires (afidol.org) - Praticité : faible volume de bouillie à manipuler - Moins de tassement du sol (ex : Casotti 7 kg, Doctor Fly 30 kg) (Maud, 2021) - Application rapide - Très peu de dérive possible - Tolérance au lessivage (voire + en hyperlocalisation) - Utilisable en AB - Maniabilité supérieure à un tracteur - Se prête bien à une utilisation de précision adaptable à chaque situation (<i>push-pull</i> varié, autour d'un foyer...) - Application « ludique » ou automatisable 	FAIBLESSES <ul style="list-style-type: none"> - Matériel spécifique (+/- cher) (ex : Casotti 420€, Dr. Fly 1600€) (Maud, 2021) - Selon le matériel : risque de douleurs de l'épaule et du bras générées par la manipulation d'une lance. - Technicité de l'application (en grosses gouttes de 4-6 mm de diamètre contrairement aux autres PPP) (Maud, 2021 ; afidol.org) - Technicité du moment d'application : action « choc » de courte durée nécessitant un seuil d'intervention fiable - Action contradictoire avec l'argile en tant que protection solaire (pas d'étude) <p><u>Dans le cadre d'une utilisation en <i>push-pull</i> :</u> Nécessité de faire deux types d'intervention (SYNEIS et argile) au lieu d'une unique</p>
EXTERNE	OPPORTUNITES <ul style="list-style-type: none"> - Autoconstruction possible (faible coût) - Méthode innovante et séduisante - Moins de conflits de voisinage, meilleure image en période touristique 	MENACES <ul style="list-style-type: none"> - Doute vis-à-vis efficacité (nécessité de faire des études, de convaincre agriculteur·ices et technicien·nes) - Fin de la dérogation (la filière noix nationale doit porter le projet d'homologation)

C. DISCUSSION DES RÉSULTATS

1. Objectif 1 : un *push-pull* prometteur mais à confronter et améliorer

§ Efficacité globale de la lutte par *push-pull* comparée au(x) témoin(s)

Concernant le traitement statistique, le jeu de données est difficile à analyser par sa taille réduite qui dégrade la **qualité des données** (valeurs aberrantes, distribution non normale etc.). Le choix a été fait de laisser tous les *outliners* afin de ne pas réduire encore plus le nombre de valeurs. La puissance des

tests réalisés est parfois faible mais correspond aux limites du terrain : dans le cas du producteur P., pour une même valeur d'écart-type et de différence de moyenne, il aurait fallu un échantillon de 650 arbres (soit 65.000 observations de noix) par modalité, pour avoir une puissance de 90%. Une piste serait de traiter les données de **manière qualitative**, afin de mettre à profit les observations réalisées par noix (soit déjà un échantillon de 1000 par modalité). La réalisation d'un test du khi2, réalisé sur les données du producteur G. confirme alors notre précédent résultat, c'est-à-dire que l'intégrité de la noix vis-à-vis de la mouche est indépendante de la réalisation ou non du *push-pull* ($0.05 < p_value : 0.1608 < \text{value du Khi2} : 1.9663$)

Un **bias d'échantillonnage est envisageable** à deux niveaux : 1) une saison très précoce ayant pu faire tomber une proportion de noix attaquées avant le comptage 2) le comptage chez le producteur G. a eu lieu une semaine après les producteurs A. et P., or chez ces derniers les noix comptabilisées présentaient souvent des dégâts récents et des noix moins marquées de l'extérieur, le comptage chez G. a pu être facilité et ceux chez A. et P. en deçà de la réalité. Globalement, bien qu'observés depuis le sol, les dégâts n'ont pas pu être sur-comptés car chaque noix a été prélevée et vérifiée.

Enfin le principal biais à l'étude est le **non-respect du protocole** sur les parcelles de l'essai, qui ont parfois reçu une dose supplémentaire de phytosanitaire (identique au témoin) ou moins de renouvellement de l'argile que prévu. L'expérience doit donc être renouvelée et les résultats exposés ici ne doivent être pris que comme des tendances et non des résultats fiables, bien qu'encourageants pour la suite.

Néanmoins ce premier test terrain a mis en lumière **différents points à prendre en compte** pour mieux réaliser les prochains essais :

- Sous accord des producteurs, privilégier une même modalité « témoin » (ex : trois passages de SYNEIS Appât à 30 L/ha).
- S'assurer de l'application de l'argile au tout début du vol et traiter rapidement dès que le seuil d'intervention est dépassé pour éviter des pontes précoces (prévenir les producteurs en amont pour qu'ils puissent s'organiser selon leurs tâches ou la météo).
- Ne pas hésiter à renouveler le *push-pull* même sans pic de vol.
- Tester le *push-pull* avec un produit insectifuge prouvé scientifiquement (ex : SOKALCIARBO).
- Etudier l'impact du brassage de l'air dû à la pulvérisation de l'argile sur la pression

d'anthracnose (frein pour le *push-pull* pour les variétés sensibles telle que fernor ?).

- Le producteur G (en conventionnel, 24 L/ha de Cleflo) est celui qui a eu le plus de dégâts et le producteur A. (AB, 35 L/ha de Cleflo) celui en ayant eu le moins. Il s'agit d'une coïncidence pour l'instant mais la tendance est à rechercher dans d'autres vergers (fertilisation augmentant le calibre et donc la pression en mouche ? moins d'auxiliaires comme pressenti sur les pièges de *monitoring* ? ou simplement lié à la moindre quantité d'argile ?).

- Le producteur G. est aussi celui-ci ayant appliqué le SYNEIS Appât en bande et non en hyperlocalisation, ce qui pourrait aussi expliquer ce taux de dégât supérieur.

§ Différence de protection entre le *push* (Cle'flo) et le *pull* (SYNEIS Appât hyperlocalisé)

Le mode opératoire, la configuration des essais et la contrainte du temps d'observation ont limité la taille du jeu de données. L'étude doit être reproduite avec idéalement plus de placettes par modalité afin de consolider les résultats. Néanmoins, sachant que l'argile repousse les mouches sur les rangs avec SYNEIS et que ceux-ci n'ont pas d'autre protection, l'absence de différence d'intensité de dégâts entre les deux est prometteuse²⁷. La répartition 1-3-1 (1 rang SYNEIS Appât, 3 rangs d'argile, 1 rang

²⁷ Ou signale une inefficacité de la barrière physique...

SYNEIS), basée sur l'empirisme et l'expérience de la filière est concluante et nous pourrions envisager de la réduire encore ou d'appliquer une configuration *push-pull* classique avec le SYNEIS Appât uniquement sur les bordures. Cela permettrait de limiter les dégâts (plus présents au cœur des parcelles), de faciliter encore plus l'application du produit, de diminuer le temps nécessaire, ainsi que de concentrer les mouches sur une surface plus réduite. Ce dernier point rend peut-être envisageable la prophylaxie par couverture du sol voire l'utilisation de la compétition intra-spécifique à notre avantage en augmentant le nombre de larves par noix et ainsi diminuer le poids des nymphes (Guillen et al., 2011).

2. Objectif 2 : vers un seuil d'intervention plus sensible ?

Comme toute expérience, celle-ci doit être reproduite sur plusieurs années afin d'en obtenir des conclusions fiables. Nous pouvons toutefois discuter de la **fiabilité des modèles**, notamment dans un contexte de bouleversement climatique ou de connaissances lacunaires sur le ravageur. Ainsi nous pouvons relever que la courbe de vol prévue par le modèle INOKI s'arrête le 24/08 alors que les captures se poursuivent au-delà du 16/09. De plus, le modèle INOKI ne prend pas en compte certains facteurs, tels que la pluviométrie, qui sont pourtant utilisés dans les modèles américains. Enfin, sur le terrain, il faut rester conscient du biais potentiel qu'ait pu causer la stratégie *push-pull* en regroupant les mouches autour des rangs possédant l'attractif et les pièges de *monitoring* (bien que les seuils soient dépassés avec peu d'écart de jours entre les parcelles « témoin » et « essai »). Un grand manque de cet objectif est l'**absence de témoin** (plaque jaune seule) sur une parcelle proche afin de comparer statistiquement la sensibilité de ces nouveaux pièges.

3. Objectif 4 : zones refuges et mouche du brou, entre idées reçues et manque d'étude

Le cœur du sujet étant l'objectif 1, le dispositif expérimental pour cet objectif « bonus » n'a pas permis d'avoir un jeu de données aussi qualitatif que souhaité. L'absence de différence de dégâts entre témoin/essai et rangs protégés au Cle'flo/rang protégés au SYNEIS est ici favorable à une agrégation des résultats qui permet de tester la robustesse des analyses faites individuellement pour chaque système. Cela reste néanmoins un choix à la rigueur discutable. Un comptage sur d'autres parcelles des producteurs, hors de l'essai *push-pull*, ou un comptage sur tout le périmètre des parcelles « témoins » aurait pu être des bons compromis entre temps nécessaire et qualité de l'étude. A noter que chez le producteur G. (où une différence peut être interprétée) le biais est moins présent car les deux comptages ont inclus équitablement moitié d'arbres avec Cle'flo et moitié d'arbres avec SYNEIS.

L'exploration de ce paramètre doit être poursuivie notamment en attachant plus d'importance à la **composition des bordures** (la mouche appréciant particulièrement les noyers noirs sauvages²⁸) et en approfondissant la tendance surprenante à une plus forte activité de vol en **bordure de champ**²⁹ que sur les autres bordures. Par ailleurs, la bibliographie évoque peu la mobilité de la mouche mais celle-ci pourrait aisément traverser la bordure pour aller pondre au centre des parcelles. Le résultat de l'étude n'est donc pas « les bordures de ripisylves ne sont pas des zones refuges du ravageur » mais seulement que l'idée reçue « les rangs à proximité immédiate de ripisylve ont plus de dégâts » est fausse. Une origine de cette idée reçue peut être que les **parcelles les plus âgées**, c'est-à-dire les plus humides et sombres, sont historiquement en bordure de ripisylves.

En conclusion, une meilleure connaissance de l'effet bordure permettrait de développer un schéma d'application insectifuge/insecticide le plus pertinent pour contrôler la population du ravageur, mieux

²⁸ Seuls trois noyers hybrides ont été repérés dans la ripisylve limitrophe aux parcelles chez le producteur P. et aucun chez les deux autres producteurs.

²⁹ Une hypothèse pourrait être un réchauffement précoce du sol sur ces zones.

préserver la production et ainsi limiter l'impact sur les auxiliaires ou la faune commensale. Les dégâts étant significativement plus élevés à l'intérieur des parcelles, l'application de l'argile insectifuge devrait y être accentuée et le SYNEIS relégué plus en bordure. L'efficacité de ce deuxième schéma de *push-pull* doit néanmoins être testée car sur les grands arbres l'application d'argile est souvent insatisfaisante.

D. POUR ALLER PLUS LOIN ...

1. Etude de la multiperformance de la stratégie par *push-pull*

La protection de l'environnement grâce à la réduction des phytosanitaires est l'entrée principale de mon Projet de Fin d'Étude. Toutefois la définition de l'agroécologie inclut de manière inséparable les dimensions économique et sociale, d'ailleurs le concept de multiperformance est un thème travaillé par les réseaux DEPHY³⁰. Initialement une enquête post-campagne sur la multiperformance apportée par cette lutte *push-pull* était envisagée afin de prendre du recul et d'avoir une approche plus holistique. Les indicateurs envisagés pour cette enquête sont consultables Annexe XXV. Toutefois, le protocole n'ayant pas été respecté jusqu'au bout et par manque de temps, cette enquête s'est transformée en une analyse SWOT plus simple sur l'hyperlocalisation du SYNEIS Appât (Objectif 5).

2. Autres variables explicatives de la pression du ravageur sur une parcelle

L'état de l'art pour le contexte français présentant des lacunes, l'exploration des autres variables explicatives de la pression du ravageur sur une parcelle aurait pu être un axe de travail pertinent : l'influence du milieu environnant (réalisé partiellement via l'objectif 4), les pratiques culturales (fertilisation, irrigation, gestion inter-rangs, type de sol, variétés...) ou la météorologie (pluviométrie hivernale etc.). Une telle étude pourrait se faire via une analyse multidimensionnelle (type ACM) en prenant les caractéristiques des douze fermes du réseau DEPHY par exemple, voire à l'échelle plus large de tout le département.

Un tel travail peut se poursuivre grâce à la modélisation qui permet d'aborder cette complexité, comme par exemple via la démarche de modélisation IPSIM (Injury Profile SIMulator) Mouche du brou, inspirée d'IPSIM *Cydia pomonella* ou encore d'IPSIM Dépérissement du noyer (Projet ODACE, travaux en cours). Ce dernier, encore en cours de conception, est issu d'un partenariat entre CTIFL, SENUA et INRAE. Outre l'intérêt final de modéliser les risques et d'aider à la diminution des phytosanitaires, la construction d'un tel modèle est aussi un excellent prétexte pour réaliser un travail de bibliographie approfondi, réunir les experts du domaine et confronter leurs avis. La filière nucicole tirerait un grand bénéfice à mettre à plat l'étendue et les manques des connaissances existantes sur le ravageur et les interactions multifactorielles entre son cycle, l'itinéraire technique et l'environnement pédoclimatique et paysager. Les modèles IPSIM s'appuient sur un ensemble de fonctions d'agrégation basées sur des règles « si [facteur] alors [niveau de risque] » qui s'agrègent jusqu'à renseigner sur le niveau d'infestation global du ravageur pour l'agroécosystème défini. L'ajout d'une interface ludique et accessible, comme cela a été fait pour IPSIM Chouchou (Deguine et al., 2021b), pourrait rendre ce modèle facilement utilisable aux technicien-nes et conseiller-es agricoles et ainsi leur permettre de mieux comprendre le fonctionnement du ravageur dans l'agroécosystème afin de lutter plus durablement.

IV/ ANALYSE RÉFLEXIVE SUR LE DÉROULÉ DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE

Le tableau suivant synthétise l'analyse réflexive menée sur le PFE :

³⁰ <https://ecophytopic.fr/dephy/quest-ce-que-le-reseau-dephy>

Situation concrète du PFE	Connaissance acquise ou en cours	Savoir-faire acquis ou en cours	Savoir-être acquis ou en cours	Autocritique et pistes d'améliorations
Rédaction du BT	Conduite du noyer	Prendre des notes synthétiques et rapides	Relationnel (COM 2.1) Travail en équipe Patience	Qualité orthographique améliorée
Participation aux RDV de conseil	Notions diverses en arboriculture (ITK, ravageurs, installation)	Tailler des noyers et châtaigniers Faire des lâchers de <i>Torymus</i> Effectuer une analyse pédologique	Empathie Capacité d'écoute Ouverture à différents points de vue	
Mener la recherche bibliographique	Connaissances sur <i>R. completa</i> , sur l'entomologie et la protection des cultures	Référencer précisément chaque information Prendre contact avec des experts y.c internationaux (COM 2.1) Utiliser Zotero	Curiosité Esprit critique Rigueur	Difficulté à faire le tri dans les informations, esprit de synthèse amélioré
Concevoir le protocole	Réflexions sur les méthodes d'échantillonnage et sur les biais expérimentaux	Identifier des experts pouvant me renseigner	Etablissement d'un lien avec les agriculteurs	Méthodologie scientifique à perfectionner
Mise en place de l'essai		Fabriquer des pièges de <i>monitoring</i> , manier la perche pour les poser. Identifier les parties prenantes et leur influence sur le projet (GER 3.1) Co-construire entre conseiller/agriculteur en allant chercher les ressources appropriées (CONS 2.2) Exécuter le protocole en s'organisant et en planifiant (PROD 1.1)	Esprit d'initiative (sexage des mouches)	L'identification des acteurs a permis des synergies avec M2i
Suivi de l'essai (relevé de pièges, déclenchement des interventions)		Encadrer les agriculteurs réalisant l'essai Identifier les prises/auxiliaires et observer l'environnement des parcelles de l'essai	Autonomie sur le terrain Capacité de décision Pédagogie auprès des agriculteurs et des locaux Capacité d'adaptation	Accentuer le cadrage des agriculteurs pour éviter les écarts au protocole (Gérer les changements techniques PROD 3.2) Sentiment d'illégitimité
Utilisation d'Agrosyst	Notions agricoles diverses (produits, machinisme...)	Utiliser et remplir une base de données nationale	Force de proposition Sérieux	

Utilisation des modèles	Fonctionnement d'un modèle Degrés-Jours et d'INOKI	Identifier des experts pouvant me fournir des outils	Esprit critique et pensée autonome	Plus de sollicitation auprès des experts aurait été un plus
Création de documents de vulgarisation et leur présentation. Participation à la réalisation d'une vidéo officielle pour la CA24.	Utilisation d'outil de design	Préparer des supports visuels et réaliser une présentation orale (COM 1.2 et 1.3) Défendre un travail (COM 2.3) Informé un public extérieur (COM 3.1), le sensibiliser à des questions d'avenir (COM 3.2)	Créativité Originalité	Qualité de représentation des résultats complexes à améliorer.
Co-organisation des événements		Savoir s'organiser et organiser un événement Evaluer un groupe de personnes en vue d'induire un changement (VAL 3.3)	Aisance relationnelle Fiabilité Bonne gestion du stress lors des présentations orales.	Aisance relationnelle professionnelle à poursuivre
Etude du seuil d'intervention	Connaissance sur le <i>monitoring</i>	Identifier le domaine de validité des résultats produits (VAL 2.1) Choisir et appliquer des indicateurs pertinents (VAL 2.2)	Prise de recul Appréhender un problème complexe	Méthodologie scientifique améliorée
Analyses statistiques des résultats	Traitement statistique sur R	Analyser des données expérimentales et les synthétiser (VAL 1.1)	Rigueur	Compétences sur R améliorables
Rédaction du PFE	Approfondissement de la maîtrise d'outils de traitement de texte	Organiser et planifier les tâches (GER 1.1), Faire un bilan du projet (GER 1.3) Enoncer des pistes de développement et les justifier (DIAG 3.2)	Gestion du stress Gestion du temps	Temps nécessaire pour réaliser les objectifs auto-rajoutés sous-estimé. Compétences de cadrage (GER 2.2) et de suivi du projet (GER 2.3) à mobiliser davantage

En définitive, ces six mois de travail ont été intenses, diversifiés mais aussi extrêmement épanouissants et formateurs. Synthétiser l'information pour perdre en exhaustivité m'est encore difficile, c'est une compétence à travailler. Mener de A à Z des essais au champ fut complexe mais aussi une première expérience riche en enseignements. Ce PFE a nourri mon intérêt pour l'agroécologie, notamment par le prisme de la protection des cultures qui est un domaine dans lequel j'aimerais me professionnaliser et ce depuis le stage de 1^{ère} année. Aux côtés de Didier MERY j'ai découvert l'arboriculture qui est un sujet passionnant, diversifié dans lequel l'agroécologie a une large marge de manœuvre. Une professionnalisation dans ce domaine est un avenir envisagé.

CONCLUSION

Le but de ce mémoire était d'évaluer l'efficacité d'une lutte par *push-pull* attracticide pour maîtriser la mouche du brou. Le protocole expérimental a été construit autour des attentes et capacités des trois agriculteurs volontaires. Il en ressort que l'alternance de trois rangs protégés au Cle'flo, intercalés d'un rang traité en hyperlocalisation par du SYNEIS Appât, offre une protection aussi efficace que les pratiques usuelles de ces agriculteurs. L'étude a aussi mis en évidence que les rangs à proximité de zones humides n'ont pas plus de dégâts que le centre des parcelles. Enfin, le seuil utilisé pour le nouveau type de *monitoring* avec phéromones, de 15 captures successives sur trois relevés, semble approprié si un suivi régulier et une prise de décision rapide sont mis en place.

Le succès du *push-pull* repose en grande partie sur le soin apporté à sa mise en place et à son renouvellement. Cette technicité requiert de la part des agriculteurs une bonne compréhension et une adhésion au principe. Pour atteindre ces prérequis, les produits utilisables doivent toutefois valider des critères de performance, de praticité, de respect du matériel et de prix. La poursuite des recherches de la part des agro-fournisseurs est essentielle. De même, un état des lieux exhaustif, actualisé, indépendant et applicable en Europe sur les connaissances certaines et les points d'ombre concernant la biologie de *R. completa* semble nécessaire.

En complément des barrières physiques ou des insecticides, une perspective de lutte très attendue, notamment pour les vergers AB, est la lutte sémiochimique telle que la confusion sexuelle ou le piégeage de masse. Pour l'instant les phéromones synthétisées ne permettent que d'affiner la sensibilité du *monitoring* et les travaux de recherches doivent se poursuivre. Enfin, bien qu'encore à ses balbutiements, la protection agroécologique des cultures (PAEC) offre des perspectives d'études stimulantes et peut-être sous-estimées actuellement malgré le contexte actuel propice à l'arrivée de nouveaux ravageurs.

BIBLIOGRAPHIE

Aliniaze M. T., Long L. E., (1997), *Biology and Control of the Cherry Fruit Flies: A Worldwide perspective*.

<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=d0f38f1d3f31eaffJmldtHM9MTY2MzQ1OTlwMCZpZ3VpZD0xZTI3MjRlOS01NGY4LTZkMGQtMmZlZC0zNDIyNTVINjZjMDMmaW5zaWQ9NTIxOQ&ptn=3&hsh=3&fclid=1e2724e9-54f8-6d0d-2fed-342255e66c03&u=a1aHR0cHM6Ly9pci5saWJyYXJ5Lm9yZWdvbnNOYXRlMmVkdS9kb3dubG9hZHMvc2oxMzkyNzcwP2xvY2FsZT1kZQ&ntb=1>

Alston D., Murray M., Barnhill J., (2015), Walnut Husk Fly, *UTAH Pests Fact Sheet*, 173-14, Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory, p. 1-7.
<https://extension.usu.edu/pests/upddl/files/factsheet/walnut-husk-fly.pdf>

Altieri M.A., Kass D.C.L. (1995), Agroecology: The science of Sustainable Agriculture, *Agroforest Syst* (35), p. 111-115.
<https://doi.org/10.1007/BF02345332>

Aluja M., Guillén L., Rull J., Höhn H., Frey J., Graf B., Samietz J., (2011), Is the Alpine divide becoming more permeable to biological invasions as a result of global warming? – Insights on the invasion and establishment of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae) in Switzerland, *Bulletin of Entomological Research*, 101, p. 451-465. DOI: [10.1017/S0007485311000010](https://doi.org/10.1017/S0007485311000010)

Anonyme, (2006, novembre), *Fiche 016 : Franquette*, CTIRL, SENURA.
<https://senura.com/images/DOCUMENTS/DOCUMENTS TECHNIQUES/Fiche Varietale Franquette %202006.pdf>

Anonyme, (2010, 6 mai), *Comité de pilotage Mouche du Brou*, support de présentation, Chambre d'Agriculture de Corrèze, FREDON Limousin, Station Expérimentale de Creysse.

Anonyme, (2020, décembre), *Document d'orientations du Réseau DEPHY pour la période 2021-2025*, ministère de l'Agriculture.
<https://agriculture.gouv.fr/telecharger/126295>

Anonyme, (n.a), *Fiche informative sur les organismes de quarantaine : Rhagoletis completa*, CABI et OEPP.
https://docslib.org/tags/Rhagoletis_completa/

ANSES, (2011, mai), *Synéis Appat (AMM n° 2060130)*.
<https://www.anses.fr/en/system/files/phyto/evaluations/DPR2010ha1428.pdf>

ANSES, (2014, octobre), *Demande d'analyse de risque phytosanitaire portant sur Rhagoletis completa*.
<https://www.anses.fr/fr/system/files/SVEG2013sa0094Ra.pdf>

APCA, (2020, octobre), *Présentation des résultats IFT 2018 du réseau DEPHY Comparaison des IFT du réseau DEPHY avec les IFT issus des enquêtes « pratiques culturelles »*.
[https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2020-10/Evolution IFT DEPHY FERME 2018 VF.pdf](https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2020-10/Evolution%20IFT%20DEPHY%20FERME%202018%20VF.pdf)

Ashcroft M. B., Gollan, J. R., (2012), Fine-resolution (25 m) topoclimatic grids of near-surface (5 cm) extreme temperatures and humidities across various habitats in a large (200× 300 km) and diverse region, *International Journal of Climatology*, 32(14), 2134-2148.
<https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=4124&context=smhpapers>

Aubert J-M., (2021, juin), *la noix en 2021-2022 : bilan de campagne*, RNM et FranceAgriMer, 4 p., ISSN 2428-0119.
https://rnm.franceagrimer.fr/bilan_campagne_noix

Barnes M. M., Osborne H. T., (1958), Attractants for the walnut husk fly., *Journal of Economic*

Entomology, 51(5), p. 686-689.
<https://doi.org/10.1093/jee/51.5.686>

Bouvet G., (2011, novembre), *Le noyer en agriculture biologique*, Fiches technico-économiques, Chambre d'agriculture Rhône-Alpes, 10 p. <https://aura.chambres-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/le-noyer-en-agriculture-biologique/>

Boyce A. M., (1934), Bionomics of the walnut husk fly (*Rhagoletis completa*), *Hilgardia*, 8(11), p. 363-579. DOI: [10.3733/hilg.v08n11p363](https://doi.org/10.3733/hilg.v08n11p363)

Boyce A.M., (1929), The Walnut Husk Fly (*Rhagoletis juglandis* Cresson), *Journal of Economic Entomology*, 22(6), p. 861–866. [doi:10.1093/jee/22.6.861](https://doi.org/10.1093/jee/22.6.861).

Breshears D. D., Nyhan, J. W., Heil, C. E., Wilcox, B. P., (1998), Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: soil temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches, *International Journal of Plant Sciences*, 159(6), p. 1010-1017. DOI:[10.1086/314083](https://doi.org/10.1086/314083)

Brown R. D., AliNiazee M. T., (1977), Synchronization of adult emergence of the Western cherry fruit fly in the laboratory, *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 70(5), p. 678–680. <https://doi.org/10.1093/aesa/70.5.678>

Bush, G.L., (1966), The taxonomy, cytology and evolution of the genus *Rhagoletis* in North America (Diptera: Tephritidae), *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* (134), p. 431-526. <https://archive.org/details/biostor-756>

Bush, M., Olsen J., Antonelli A., (2014), Walnut husk fly, *Washington State University Extension Fact Sheet* FS039E, Pullman, WA. <https://pubs.extension.wsu.edu/walnut-husk-fly>

Campan E., (2022), *Les actions de R&D : lutte biologique contre la mouche du brou*, la noix de demain. <https://www.noixdedemain.fr/rd-lutte-biologique-contre-la-mouche-du-brou/>

Cattel J., (2016), *Utilisation des bactéries Wolbachia pour lutter contre une espèce invasive et ravageur de cultures, Drosophila suzukii*. [Thèse, Université de Lyon]. <https://www.theses.fr/2016LYSE1325>

Chaabane M., Benchaabane S., Aribi N., Kilani-Morakchi S., (2012), Physiotoxicité du spinosad évaluée sur deux générations chez une espèce invasive *Tuta absoluta* et chez un modèle de référence *Drosophila melanogaster*, *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 137, 61-72. https://www.researchgate.net/publication/264549423_Physiotoxicite_du_spinosad_evalue_sur_deux_generations_chez_une_espece_invasive_Tuta_absoluta_et_chez_un_modele_de_reference_Drosophila_melanogaster

Chalaye C., Verhaeghe A., Weydert C., (2009), *Connaissance sur la Mouche du Brou et lutte chimique*, 4 p

Chambre d'Agriculture de Dordogne, (2015) Mouche du brou : l'argile, une alternative à la lutte chimique, *Innov'A*, p.25-27. https://dordogne.chambre-agriculture.fr/?id=2879691&tx_news_pi1%5Bnews%5D=40028&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&chash=7b85e27e52116a39f5203f37c66d9afc

Charpentier A., Chevassus-au-Louis B., Frappa A., (2019, décembre), *Proposition d'indicateurs de l'Observatoire national de la biodiversité pour la thématique « Biodiversité et agriculture »*, ONB. <http://naturefrance.fr/sites/default/files/2020-08/Rapport%20ONB-AGRI%2006122019-V7-CE.pdf>

Cisneros J., Goulson D., Derwent L. C., Penagos D. I., Hernández O., Williams T., (2002), Toxic Effects of Spinosad on Predatory Insects,

Biological Control, 23(2), p. 156-163.
<https://doi.org/10.1006/bcon.2001.1000>.

Coates W. W., (1994), Relating Walnut Husk Fly Damage To Nut Size, *Walnut Research Reports*, p. 190-193.
https://ucanr.edu/repository/fileAccessPublic.cfm?fn=1994_190_ocr.pdf-153901.pdf

Coates W. W., (2004), Walnut Husk Fly: Varietal Susceptibility and Quality Observations, *California Walnut Board Walnut Research Reports*, 3 p.
http://walnutresearch.ucdavis.edu/2004/2004_179.pdf

Coates W. W., (2005). Walnut Husk Fly: Varietal Susceptibility and its Impact in Nut Quality, *California Walnut Board Walnut Research Reports*, University of California, p.157-160.
https://ucanr.edu/repository/fileAccessPublic.cfm?fn=2005_157_ocr.pdf-154395.pdf

Coats W.W., Van Steenwyk R.A, (1992), Evaluation of Kaolin (Surround) for Walnut Husk Fly (*Rhagoletis completa*) Control in English Walnuts, *Walnut Research Reports*.
http://walnutresearch.ucdavis.edu/2002/2002_375.pdf

D'Avout C., (2011), *Modalités d'utilisation du Synéis Appât® en agroécosystème horticole à la Réunion*. [Mémoire de fin d'études : Institut supérieur d'agriculture de Lille].
<https://agritrop.cirad.fr/561771/>

Dambroski H. R., Feder J. L., (2007), Host plant and latitude-related diapause variation in *Rhagoletis pomonella*: a test for multifaceted life history adaptation on different stages of diapause development, *Journal of evolutionary biology*, 20(6), p. 2101-2112. DOI: [10.1111/j.1420-9101.2007.01435.x](https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2007.01435.x)

Damiens M., (2020, 29 juin), *Evaluation d'une stratégie associant Barrières de kaolinite*

calcinée et Insecticide sous forme d'appâts Localisés et Microdosés avec emploi de Matériels de Pulvérisation innovants, Lutter contre la mouche de l'olive en Agriculture Biologique, Chambre d'Agriculture Alpes-Maritimes à Taradeau.
https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/020_Inst_Paca/CA83/Documents/1_actuallites/archives/2020/Strategie_combine_e_Syneis_appat_Maud_Damiens.pdf

De Cozar K., Mirassou A., Fornil J., (2020), Mouche du brou : piégeage dans les noyeraies, *Phytoma*, 739, p. 11. <http://archives.phytoma-ldv.com/archivephytoma/article/mouche-du-brou-piegeage-dans-les-noyeraies-PH73901101.html>

DeAmicis C. V., Dripps J. E., Hatton C. J., Karr L. L., (1997), Physical and biological properties of the spinosyns: Novel macrolide pest-control agents from fermentation, *Phytochemicals for Pest Control*, Symposium Series 658, p. 144–154. American Chemical Society, Washington, DC.

Debard M., (2021, mai), *La noix en 2020-2021 : bilan de campagne*, RNM et FranceAgriMer.
https://rnm.franceagrimer.fr/bilan_campagne_noix

Deguine J-P (ed.), (2011), *Efficacité du Synéis-Appât® en traitement par tâches contre Bactrocera cucurbitae, Dacus demmerezi et Dacus ciliatus*, Séminaire final du projet GAMOUR, Saint-Pierre, Réunion.
<https://agritrop.cirad.fr/562383/>

Deguine J-P, Robin M-H, Corrales D. C., Vedy-Zecchini M. A., Doizy A., Chiroleu F., Quesnel G., Païtard I., Bohanec M., Aubertot J-N, (2021), Qualitative modeling of fruit fly injuries on chayote in Reunion: Development and transfer to users, *Crop Protection*, 139.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105367>

DGAL, (2010, octobre), Plan de surveillance *Rhagoletis completa* Cresson pour l'été 2010, ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire.

<https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-N2010-8205>

Duso C., Dal Lago G.. (2006), Life cycle, phenology and economic importance of the walnut husk fly *Rhagoletis completa* Cresson (Diptera: Tephritidae) in northern Italy, *Annales de la Société entomologique de France*, 42(2), p245-254.

<https://doi.org/10.1080/00379271.2006.10700628>

Ecophytopic, (s.d), Fiche Technique n°15 : push-pull, *guide tropical*, p. 119-122.
https://ecophytopic.fr/sites/default/files/Guide%20CT_FT15_push-pull.pdf

El Oualydy, (2022), *Méthodes de lutte alternatives aux produits phytosanitaires*. [Mémoire de fin d'études : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier]. En cours de publication.

El-Sayed A. M., Suckling D. M., Wearing C. H., Byers J. A. (2006), Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species, *Journal of Economic Entomology*, 99, p. 1550- 1564.
[DOI:10.1603/0022-0493-99.5.1550](https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.5.1550)

Emery S. E., Mills N. J., (2019), Sources of Variation in the Adult Flight of Walnut Husk Fly (Diptera: Tephritidae): A Phenology Model for California Walnut Orchards, *Environmental Entomology*, 48(1), p. 234–244. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy170>

Ephytia, (2014, septembre 22), *Notions de dégâts, dommage et perte*, Ephytia.
<http://ephytia.inra.fr/fr/C/20829/TeSys-Leg-Notions-de-degats-dommage-et-perte#:~:text=Le%20C2%ABdommage%C2%B%20est%20une%20perte,du%20C2%ABd%C3%A9g%C3%A2t%C2%BB%20au%20dommage.>

Ephytia, (2015, octobre 22), *Mouche du brou du noyer*.

<https://ephytia.inra.fr/fr/C/18909/VigiJardin-Symptomes-Degats>

European Food Safety Authority -EFSA, (2018), Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Spinosad.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5252>

Evans B.R., Kotsakiozi P., Costa-da-Silva A.L., Ioshino R. S., Garziera L., Pedrosa M. C., Malavasi A., Virdinio J. F., Capurro M. L., Powell J. R., (2019), Transgenic *Aedes aegypti* Mosquitoes Transfer Genes into a Natural Population, *Scientific Reports*, 9.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-49660-6>

Foot R.H., (1981), The genus *Rhagoletis* Loew south of the United States (Diptera: Tephritidae), *Technical Bulletin of the U.S. Department of Agriculture* (1607), 75 p.
<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT81766149/PDF>

Gardan L., Brault T., Germain E., (1993), Copper resistance of *Xanthomonas arboricola* pv.juglandis : French Walnut orchards and its association conjugative plasmids, *Acta Horticulturae* (311). DOI : [10.17660/ACTAHORTIC.1993.311.33](https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1993.311.33)

Germain E., Prunet J-P, Garcin A., (1999), *Le Noyer*, monographie, Ctifl.

Gibson K. E., Kearby W. H., (1978), Seasonal life history of the Walnut Husk Fly and Husk Maggot in Missouri. *Environ. Entomol.*, (7), p. 81–87.

Giraud M., Prunet J-P., Péroy J-L., Verhaeghe A., (2011), Connaissance et maîtrise de la bactériose du noyer, *le Point sur les maladies et ravageurs* (1), 8 p.
https://www.researchgate.net/publication/271522066_Le_Point_sur_la_bacteriose_du_noyer

Giraud M., Verhaeghe A., (2015), Anthracnose à *Colletotrichum* sp. en vergers de noyer, *fiche*

bioagresseur, 2 p.
https://www.researchgate.net/publication/306393216_Anthracoze_a_Colletotrichum_sp_en_verger_de_noyers

Gliesmann S., (1998), Agroecology: ecological Processes in Sustainable Agriculture, *Ann Arbor Presse*.

Gouagna L-C, (2019), Vers des usines à moustiques, dans *Science et Développement Durable : 75 ans de recherche au sud*, IRD éditions, 224 p.
<https://www.editions.ird.fr/produit/489/9782709927376/Science%20et%20developpement%20durable>

Guillén L., Aluja M., Rull J., Höhn, H., Schwitzer, T., Samietz J., (2011), Influence of walnut cultivar on infestation by *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae): behavioural and management implications. *Entomologia experimentalis et applicata*, 140, p. 207–217. DOI:10.1111/j.1570-7458.2011.01157.x

Guinemer, M. (s. d.). *Mouche du brou de la noix*. Ada-aura. Consulté le 18 juillet 2022.
<https://www.ada-aura.org/vigilance-lors-de-luttes-organisees/mouche-du-brou-de-la-noix/>

Hawkes L. (2019, juin 19), *Is it too late to monitor for walnut husk fly?* Western farmPress.
<https://www.farmprogress.com/tree-nuts/it-too-late-monitor-walnut-husk-fly>

Hébrard M-N, (2019), Evaluation de l'efficacité d'un produit à base de Kaolin contre la mouche du brou : rapport d'essai, station expérimentale de Creysse, 8 p. [confidentiel]

Hébrard M-N, (2021), Evaluation de l'efficacité du BNA Pro contre la mouche du brou Rapport d'essai : rapport d'essai, station expérimentale de Creysse, 8 p. [confidentiel]

Hébrard M-N, (2021), Evaluation de l'efficacité du CALCIBLANC et du PYROSTIM PF contre la

mouche du brou : rapport d'essai, station expérimentale de Creysse, 9 p. [confidentiel]

Jaffuel G., Blanco-Pérez R., Hug A-S, Chiriboga X., Giulio Meuli R., Mascher F., Turlings T., Campos-Herrera R., (2018), The evaluation of entomopathogenic nematode soil food web assemblages across Switzerland reveals major differences among agricultural, grassland and forest ecosystems, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 262, p. 48-57.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.008>.

Kasana, A. (1993). *Developmental biology and phenology of the walnut husk fly, Rhagoletis completa* Cresson (Diptera : Tephritidae) in the Willamette Valley of Oregon [Thèse, Oregon State University].
<http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/10195645.pdf>

Kasana, A., & AliNiazee, M. T. (1997). A thermal unit summation model for the phenology of *Rhagoletis completa* (Diptera : Tephritidae). *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 94, p. 13-18.
<https://archive.org/details/biostor-204812>

Kasana, A., AliNiazee, M. T. (1994). Effect of constant temperatures on development of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 73(3), p. 247-254. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1994.tb01862.x>

Kirst H. A., Michel K. H., Mynderse J. S., Chio E. H., Yao R. C., Nakatsukasa W. M., Boeck L. D., Occlowitz J. L., Paschal J. W., Deeter J. B., Thompson G. D., (1992), Discovery, isolation, and structure elucidation of a family of structurally unique, fermentation-derived tetracyclic macrolides, *Synthesis and Chemistry of Agrochemicals III*, p. 214–225. American Chemical Society, Washington, DC.

Knipling E. F., (1979), The basic principles of insect population suppression and management, *USDA Agriculture Handbook*, 512, 659 p.

<https://naldc.nal.usda.gov/catalog/CAT80732659>

Larose M., Chouinard G., Pelletier F., (2017), *Attract and kill : lutte attracticide au charançon de la prune dans les vergers du Québec*, IRDA. <https://irda.blob.core.windows.net/media/5360/larose-et-al-2017-attract-and-kill-presentation.pdf>

Larsy L., (2017), *Caractérisation de la phéromone sexuelle male chez Rhagoletis completa en vue du développement de la lutte semiochimique*. [Mémoire Gembloux Agro-Bio-Tech]. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/3059>

Laznik Z., Trdan S., (2013), Possibilities of walnuts (*Juglans* spp.) protection against walnut husk fly (*Rhagoletis completa* Cresson) with special emphasis on biological control, *Acta Agriculturae Slovenica*, 101(2), p. 287–292. [DOI:10.2478/acas-2013-0024](https://doi.org/10.2478/acas-2013-0024)

Mayes M.A., Thompson G.D., Husband B., Miles M.M., (2003), Spinosad Toxicity to Pollinators and Associated Risk, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 179. [DOI: 10.1007/0-387-21731-2_2](https://doi.org/10.1007/0-387-21731-2_2)

McPherson B. A., Streck G. J., (2020), *Fruits Fly Pests : A World Assessment of Their Biology and management*, CRC Press. [DOI:10.1201/9780367812430](https://doi.org/10.1201/9780367812430)

Mery D., (2010, 30 juin), *Réunion d'information apiculteurs Mouche du brou de la noix*, support de présentation, Chambre d'Agriculture de Dordogne, 50 p.

Mery D., (2021), Annexe 2 : Le projet du groupe, *Notice dossier réengagement et candidature 2022 Réseau DEPHY-FERME*, 16 p.

MERY D., (2022, 14 Avril), *Rencontre Fermes DEPHY noix Périgord*, support de présentation, Chambre d'Agriculture de Dordogne, 90 p.

Mills N.J., Emery S., Buchner R., (2015), Phenology Model for Walnut Husk Fly, *California Walnut Board*, Walnut Research Reports 2014, p.257-270.

<https://ucanr.edu/repository/fileaccess.cfm?article=156258&p=FPOBCH>

Mircetich S.M., Rowhani A., (1984), The relationship of cherry leafroll virus and blackline disease of English walnut trees, *Phytopathology*, 74(4), p. 423-428. [DOI 10.1094/Phyto-74-423](https://doi.org/10.1094/Phyto-74-423)

Moraiti C. A., Nakas C. T., Papadopoulos N. T., (2014), Diapause termination of *Rhagoletis cerasi* pupae is regulated by local adaptation and phenotypic plasticity: escape in time through bet-hedging strategies. *J. Evol. Biol.*, 27, p. 43–54. [DOI: 10.1111/jeb.12273](https://doi.org/10.1111/jeb.12273)

Mossler C., Calvignac L., Lecureur L., Dayonnet A., Cazemajou J., Vidal A., Fortun-Lamothe L., Savietto D., Sarthou J-P., (2022), Prophylaxie : Définition, *Dictionnaire d'agroécologie*. <https://doi.org/10.17180/4a8n-4468>

Mouchet J., (1971), La stérilisation par les moyens physiques et chimiques et son utilisation dans la lutte contre les insectes vecteurs, *Annales de Parasitologie*, 46(3), p. 67-89. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_04-05/05049.pdf

Nisar M. J., Behle R. W., Dunlap C. A., Goett E. J., Iqbal M., Gogi M. D., (2019), Susceptibility of *Rhagoletis suavis* Maggots to Entomopathogenic Fungi, *Southwestern Entomologist*, 44(2), p. 431-436, <https://doi.org/10.3958/059.044.0208>

OEPP/EPPO, (2011), Diagnostic: *Rhagoletis completa*, Bulletin OEPP/EPPO, 41, p. 357–362. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&e_src=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwil8urW6rb5AhUI-hoKHUGXCLEQFnoECAGQAQ&url=https%3A%2F%2Fgd.eppo.int%2Fdownload%2Fstandard%2F2

[31%2Fpm7-107-1-en.pdf&usg=AOvVaw3McLAymW25YC5tqK9_sqIf](#)

Opp S., Heyd J., McLaughlin J., (2003b), Development of Killing Stations for Control of Walnut Husk Fly, *Walnut Research Reports*, p. 209-2012.

https://ucanr.edu/repository/fileAccessPublic.cfm?fn=2003_209_ocr.pdf-154335.pdf

Opp S., Zermeno J., Garrick C., Mooney B., Wilkerson C., (2001), Timing and Susceptibility of Walnut Cultivars to Walnut Husk Fly Attack – 3 Years of Emergence Patterns, *Walnut Research Reports*, p.379-382.

https://ucanr.edu/repository/fileAccessPublic.cfm?fn=2001_379_ocr.pdf-154254.pdf

Opp S., Zermeno J., Wilkerson C., Durbin M., (2003a), Flight Capacity and Dispersal of Walnut Husk Flies in Laboratory and Field Studies, *Walnut Research Reports*, p. 203-207. http://walnutresearch.ucdavis.edu/2003/2003_203.pdf

Papaj D. R., (1994), Oviposition site guarding by male walnut flies and its possible consequences for mating success, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 34 (3), p. 187–195. [doi:10.1007/BF00167743](https://doi.org/10.1007/BF00167743). [JSTOR 4600930](https://www.jstor.org/stable/4600930).

R Core Team, (2020), R : A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Rapp R., (2015, novembre), *Mouche du brou de la noix*, Fiche Parasite émergent, Chambre d'Agriculture Limousin, 2 p. https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/094_Inst-Nouvelle-Aquitaine/Documents/Ecophyto/Journees_tech_niques_ecophyto/Fiches_techniques/Fiche_tech_nique_Mouche_brou-V2.pdf

Resp. rédactionnels Chambre d'agriculture Tarn-et-Garonne et Lot-et-Garonne, *Guide arbo* 2022, (décembre 2021), l'action agricole n°112, 92 p.

Riedl H. (1993), *Walnut Husk Fly* [en ligne]. <http://treefruit.wsu.edu/crop-protection/opm/walnut-husk-fly/>

Riedl H., Barnett W.W., Coates W.W., Coviello R., Joos J., Olson W.H., (1989), Walnut husk fly (Diptera: Tephritidae): evaluation of traps for timing of control measures and for damage predictions, *Journal of Economic Entomology*, 82, p. 1191-1196. [DOI:10.1093/JEE/82.4.1191](https://doi.org/10.1093/JEE/82.4.1191)

Riedl H., Hoying S.A., (1980), Seasonal patterns of emergence, flight activity and oviposition of the walnut husk fly in Northern California, *Environmental Entomology*, 9, p. 567-571. <https://academic.oup.com/ee/article-abstract/9/5/567/2396600>

Riedl, H., Hislop, R. (1985). Visual attraction of the walnut husk fly (Diptera: Tephritidae) to color rectangles and spheres, *Environmental Entomology*, 14(6), 810–814. <https://www.semanticscholar.org/paper/Visual-attraction-of-the-walnut-husk-fly-%28Diptera%3A-Riedl-Hislop/5b6bf8c13c3f4a4dc75abcb19e31fd64f93bdda8>

Rijal J., (2017), Measuring the Depth of Walnut Husk Fly Overwintering Pupae in Walnut Orchard Floor, *Walnut Research Reports*, 4 p. <https://ucanr.edu/repository/fileaccess.cfm?article=173330&p=VMUVUO>

Rull J., Aluja M., Tadeo E., Guillen L., Egan S., Glover M., Feder J. L., (2013), Distribution, host plant affiliation, phenology, and phylogeny of walnut-infesting *Rhagoletis* flies (Diptera: Tephritidae) in Mexico, *Biological Journal of the Linnean Society*, 110(4), p. 765–779. <https://doi.org/10.1111/bij.12157>

Rull J., Lasa R., Guillén L., Aluja M., (2019), The Effect of Winter Length on Duration of Dormancy and Survival of *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae) and Associated Parasitoids From

Northeastern Mexico, *Journal of Insect Science*, 19(3), 7 p. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez034>

Samietz J., Schwizer T., Höhn H., Linder C., Aluja M., Guillén L, (2012), Noircissement des noix dû aux mouches et aux maladies : importance du choix variétal, *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 44(2), p. 88-93. https://www.revuevitiarbohorti.ch/wp-content/uploads/2012_02_f_270.pdf

Santos V. S., Pereira B. B., (2020), Properties, toxicity and current applications of the biolarvicide spinosad, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 23(1), p. 13-26. <https://doi.org/10.1080/10937404.2019.1689878>

Sarles L., Fassotte B., Boullis A., Lognay G., Verhaeghe A., Markó I., Verheggen F., (2018), Improving the Monitoring of the Walnut Husk Fly (Diptera: Tephritidae) Using Male-Produced Lactones, *Journal of Economic Entomology*, 111(5), p. 2032–2037. <https://doi.org/10.1093/jee/toy169>

Sarles, L., Francis A., Verheggen F., (2015), Semiochemicals of *Rhagoletis* fruit flies: Potential for integrated pest management, *Crop Protection*, 78, p. 114–118. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.001>

Schaub L., Scharer H-J, Hohn H., (2003), Mouche de la noix, *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 35(6). revuevitiarbohorti.ch

Schuler H., Bertheau C., Egan S-P, Feder J-L, Riegler M., Schlick-Steiner B-C, Steiner F-M, Johannesen J., Kern P., Tuba K., Lakatos F., Köppler K., Arthofer W., Stauffer C., (2013), Evidence for a recent horizontal transmission and spatial spread of *Wolbachia* from endemic *Rhagoletis cerasi* (Diptera: Tephritidae) to invasive *Rhagoletis cingulata* in Europe, *Molecular Ecology*, 22(15), p. 4101-11. [doi: 10.1111/mec.12362](https://doi.org/10.1111/mec.12362).

Senura, (2018, juin), *Les méthodes alternatives de* *demain*. https://senura.com/images/DOCUMENTS/DOCUMENTS_TECHNIQUES/plaquette_MA_Demain_0718.pdf

Senura, (2018a, Janvier), *Fiche Reconnaissance : Colletotrichum en vergers de noyers*. https://senura.com/images/DOCUMENTS/DOCUMENTS_TECHNIQUES/FICHE_RECONNAISSANCE_COLLETOTRICHUM.pdf

Smith S. L., Jones V. P., (1991), Alteration of Apple Maggot (Diptera: Tephritidae) Emergence by Cold Period Duration and Rain, *Environmental Entomology*, 20(1), p. 44–47. <https://doi.org/10.1093/ee/20.1.44>

Tóth M., Voigt E., Baric B., Pajac I., Subic M., Baufeld P., Lerche S., (2014), Importance of application of synthetic food lures in trapping of *Rhagoletis* spp. and *Strauzia longipennis* Wiedemann, *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 49(1), p. 25-35. <https://akjournals.com/view/journals/038/49/1/article-p25.xml>

Trécé Inc., (2021), Walnut Husk Fly (WHF): IPM Partner Guidelines for Use, 2 p. https://www.trece.com/wp-content/uploads/WHF_IPM-Partner-Guidelines-for-Use-Final.pdf

Tsiropoulos G. J., (1976), Bacteria Associated with the Walnut Husk Fly, *Rhagoletis completa*, *Environmental Entomology*, 5(1), p. 83–86. <https://doi.org/10.1093/ee/5.1.83>

Van Steenwyk R. A., Leslie C. A., Coates W. W., Grant J. A., Hasey J. K., (2016), Biology and Control of Walnut Husk Fly Using Reduced Risk Products, *Walnut Research Reports*, p1-18. <https://ucanr.edu/repository/fileaccess.cfm?article=165294&p=IEUORX>

Van Steenwyk R.A., Zolbrod S.K., Nomoto R.M, (2003), Walnut Husk Fly Control with Reduced Risk Insecticides, *Proceedings of the 77th Annual Western Orchard Pest and Disease Management Conference*. <http://entomology.tfrec.edu>

wsu.edu/wopdmc/2003PDFs/Rep03%20Chem%20VanSteenwyk-5.pdf

Verhaeghe A., (2012), Bilan de quatre ans d'expérimentation contre la mouche du brou, *Infos-Ctifl*, 283.

Verhaeghe A., Chalaye C., Quincieux A., (2009), La mouche du brou : le point sur la recherche, *Infos-Ctifl*, 252, p. 29-33. <https://plateforme-documentaire.ctifl.fr/Record.htm?idlist=1&record=19456442124912746249>

Verhaeghe A., Prunet J.-P., (2011), Connaissance et maîtrise de la mouche du brou du noyer, *le Point sur les maladies et ravageurs*, (2), 8 p. http://www.ctifl.fr/ecophytopic/point_sur/PSM_RBroudunoyer.pdf.

Verhaeghe A., Prunet J.-P., Roubal C., Viber J., (2015), *Modèle : mouche du brou DGAL*, 20 p. https://inoki.ctifl.fr/XhtmlContent/Modele/Aide/Modele_70.htm

Verheggen, F., Verhaeghe A., Giordanengo P., Tassus X., Escobar-Gutiérrez A., (2017), Walnut Husk Fly, *Rhagoletis Completa* (Diptera: Tephritidae), Invades Europe: Invasion Potential and Control Strategies, *Applied Entomology and Zoology* (52), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s13355-016-0459-7>.

Williams C. M., Henry H. A., Sinclair B. J., (2015), Cold truths: how winter drives responses of terrestrial organisms to climate change,

Biological Reviews, 90(1), 214-235. <https://doi.org/10.1111/brv.12105>

Wu G. L., Liu Q. L., Teixeira da Silva J. A., (2009), Ultrastructure of pericarp and seed capsule cells in the developing walnut (*Juglans regia* L.) fruit, *South African Journal of Botany*, 75, p. 128–136. [DOI:10.1016/J.SAJB.2008.09.001](https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2008.09.001)

Yee W. L., (2013a), Soil moisture and relative humidity effects during postdiapause on the emergence of western cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae), *The Canadian Entomologist*, 145(3), p. 317-326. [doi:10.4039/tce.2013.7](https://doi.org/10.4039/tce.2013.7)

Yee W. L., (2013b), Influence of media type and moisture on adult development and pupal mortality in *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae), *Environmental entomology*, 42(3), 595-604. <https://doi.org/10.1603/EN12346>

Yee W. L., (2015), Ambient light intensity and direction determine relative attractiveness of yellow traps to *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae), *The Canadian Entomologist*, 147(6), p. 776-786. [doi:10.4039/tce.2015.6](https://doi.org/10.4039/tce.2015.6)

Yee W. L., Goughnour R. B., (2008), Host plant use by and new host records of apple maggot, western cherry fruit fly, and other *Rhagoletis* species (Diptera: Tephritidae) in western Washington State, *Pan-Pacific Entomologist*, 84(3), p. 163–178. [DOI:10.3956/2007-48.1](https://doi.org/10.3956/2007-48.1)

WEBGRAPHIE

AFIDOL, (s.d), *Synéïs Appât*, France Olive. [Consulté le 10 juin] <https://afidol.org/oleiculteur/syneis-appat/>

ANSES, (s.d), *Decis Trap*. [Consulté le 25 juillet] <https://ephy.anses.fr/ppp/decis-trap>

ANSES, (s.d), *Synéïs Appât*. [Consulté le 20 juin] <https://ephy.anses.fr/ppp/syneis-appat>

CRAAQ, (s.d), *Toxicologie de la matière active : spinosad*. [Consulté le 20 juillet] <https://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveId=168>

Deluzarche C., (2020, 22 février), *Les pesticides en France devaient baisser de 50 %..., ils ont augmenté de 25 %*, Futura-sciences. [Consulté le 18 juillet 2022]. <https://www.futura->

sciences.com/planete/actualites/agriculture-pesticides-france-devaient-baisser-50-ils-ont-augmente-25-79605/

Dietrick institute, (s.d), Walnut Husk Fly Project. [Consulté le 10 juin]. <https://www.dietrickinstitute.org/new-page>

Hernandez J., (2019, 27 septembre), Expérience des moustiques génétiquement modifiés : les premiers résultats, futura-science. [Consulté le 16 juillet] <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/insectes-experience-moustiques-genetiquement-modifies-premiers-resultats-77698/>

Plan Ecophyto 2+, (s. d.), Chambres d'agriculture France. [Consulté le 30/07/2022] <https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/ecophyto/plan-ecophyto-2/#:~:text=En%20novembre%202018%2C%20le%20plan%20Ecophyto%20II%2B%20a,actions%20collectives%20au%20niveau%20r%C3%A9gional%20%28feuilles%20de%20route%29>

Infographie—Le plan Ecophyto en chiffres, (2020, février 1), ministère de l'Agriculture et de la souveraineté alimentaire. [Consulté le 30/07/2022] <https://agriculture.gouv.fr/infographie-le-plan-ecophyto-en-chiffres>

Les fermes Dephy : Partout en France, des systèmes de production performants et économes en pesticides, (s. d.), ministère de l'Agriculture et de la souveraineté alimentaire.

[Consulté le 30/07/2022] <https://agriculture.gouv.fr/les-fermes-dephy-partout-en-france-des-systemes-de-production-performants-et-economes-en-0>

Les grand chiffres de réseau DEPHY en 2020, (2021), Ecophytopic https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2021-12/DEPHY_Chiffres-cles_2020.pdf

Nos actions, (s. d.), Chambres d'agriculture France. [Consulté 30/07/2022] <https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/ecophyto/nos-actions/>

Physiologie, (s.d), Senura. [Consulté le 18 juillet 2022]. <https://senura.com/index.php/le-noyer/physiologie>

Semiomouche, (2021), Senura. [Consulté le 18 juillet 2022]. <https://senura.com/index.php/travaux/programmes-experimentation/semiomouche>

Variétés, (s.d), Senura. [Consulté le 18 juillet 2022]. <https://senura.com/index.php/le-noyer/varietes>

Xicluna P., (2022, juillet 19), *Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT)*, ministère de l'Agriculture et de la souveraineté alimentaire. [Consulté 30/07/2022]. <https://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift>

INDEX des ANNEXES

I.	FICHE D'ACCORD PRÉALABLE AU STAGE	2
II.	FICHE DE SYNTHÈSE DU STAGE.....	4
III.	FICHE D'ÉVALUATION DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE	5
IV.	FICHE D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES	5
V.	ORGANIGRAMME DE LA CHAMBRE D'AGRICULTURE DE DORDOGNE	6
VI.	FICHE DE SUIVI RÉALISÉE POUR LES PIÉGEAGES MOUCHE DU BROU 2022	7
VII.	INDICATEURS D'ÉVALUATION DU GROUPE DEPHY POUR 2022-2026	12
VIII.	FIL ROUGE DU GROUPE DEPHY FERME NOIX DORDOGNE 2022-2026	12
IX.	TABLEAU COMPARANT LA SENSIBILITÉ DE DIVERSES VARIÉTÉS À DES BIOAGRESSEURS DONT LA MOUCHE DU BROU	13
X.	CONFLIT D'INTÉRÊT DU PROTOCOLE.....	13
XI.	SUPPORTS DE LA JOURNÉE TECHNIQUE (DÉPLIANT ET AFFICHES)	14
XII.	ÉTAT DE L'ART SUR LA TOXICOLOGIE DU PHOSMET	32
XIII.	ÉTAT DE L'ART SUR LA TOXICOLOGIE DU SPINOSAD	32
XIV.	SCHÉMAS EXPLICITANT LES DIFFÉRENCES ENTRE LUTTE RAISONNÉE, PROTECTION INTÉGRÉE ET PROTECTION AGROÉCOLOGIQUE DES CULTURES.....	33
XV.	TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES DES PARCELLES DE L'ESSAI	34
XVI.	PLANS DES PARCELLES AVEC LES MODALITÉS DE L'ESSAI	35
XVII.	FICHE TECHNIQUE COMPLETA PRO DROP®.....	38
XVIII.	FICHE TECHNIQUE DU CLE'FLO	40
XIX.	FICHE TECHNIQUE DU SYNEIS APPÂT.....	42
XX.	DONNÉES BRUTES DE COMPTAGES DE DÉGÂTS	45
XXI.	DONNÉES BRUTES DU SEX-RATIO	46
XXII.	SORTIES GRAPHIQUES DU MODÈLE INOKI.....	46
XXIII.	EXEMPLE DE CALCUL DU SEUIL D'INTERVENTION	47
XXIV.	COURBES DE VOL DE L'ENSEMBLE DES PIÈGES DE MONITORING.....	48
XXV.	DÉBUT DE L'ENQUÊTE POST-CAMPAGNE IMAGINÉE EN VUE DE L'ÉTUDE SUR LA MULTIPERFORMANCE	50

I. FICHE D'ACCORD PRÉALABLE AU STAGE

Fiche d'accord préalable au stage du PFE (2021 - 2022)

Le stagiaire	L'entreprise
Nom et prénom : BERNARD Vräel	Nom : Chambre d'Agriculture de la Dordogne
Spécialisation : AGREST	Adresse, tél, email : Pôle interconsulaire Chambre d'Agriculture de la Dordogne 24660 – COULOUNIEIX CHAMIER 06. 43. 48. 47. 51 didier.mery@dordogne.chambagri.fr
Origine du stage : <input checked="" type="checkbox"/> Offre reçue à l'ENSAT <input type="checkbox"/> Offre trouvée ailleurs <input type="checkbox"/> Offre ou stage antérieur à l'ENSAT <input type="checkbox"/> Candidature spontanée <input type="checkbox"/> Mission Contrat Apprentissage/Alternance	Nom du tuteur : MERY Didier Fonction du tuteur : Conseiller spécialisé en arboriculture fruitière, Ingénieur Réseau Dephy Noix Dordogne
Un descriptif de l'offre a-t-il été rédigé par l'entreprise ? <input type="checkbox"/> non <input checked="" type="checkbox"/> oui (à joindre)	

Intitulé du stage : Protection de l'environnement et agriculture biologique du noyer (Lutte biologique – réseau DEPHY Noix)

Contenu du stage (activités et tâches à détailler) :

- établir un protocole et mettre en place des essais de luttres alternatives contre un ravageur de la noix (mouche du brou ou carpocapse)
- participer à l'animation d'un collectif d'arboriculteurs souhaitant réduire l'usage des produits phytopharmaceutiques dans le cadre d'un réseau de Fermes Dephy Noix (2022-2026) et d'effectuer des suivis.
- participer à la mise en place et à l'organisation de journées techniques
- mettre en place et suivre de réseaux de piégeage dans le cadre de suivi BSV
- réaliser le relevé des pratiques sur 12 fermes du réseau.

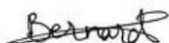
Conditions :

Dates : du 11/04/2021 au 14/10/2022

Rémunération : 3.90€/h

Nom tuteur pédagogique (à renseigner par le responsable de la spécialisation pour les FISE uniquement) : Jean-Pierre SARTHOU

Signature étudiant



Signature Responsable Spécialisation



Date : 25/11/2021

PROCEDURE AVANT DEPART EN STAGE

1. Pour tous, vous devez remplir la fiche d'accord préalable au stage du projet de fin d'étude au recto puis vous la transmettez à votre responsable de spécialisation.
2. Pour les FISE, vous prenez un rendez-vous avec le responsable de spécialisation pour valider vos missions et obtenir la signature de cette fiche. Il vous attribuera également un tuteur pédagogique.
Pour les FISA, l'accord sur les missions et sur l'encadrement se fera avec le tuteur pédagogique de l'apprentissage ou de l'alternance à l'occasion d'un rendez-vous commun organisé par l'étudiant avant la fin du S9.
3. Pour tous, vous déposez la version définitive et signée de votre fiche au service scolarité ou vous l'envoyez par email à la personne concernée.
4. Pour les FISE, après ce dépôt de fiche, le service de la scolarité vous invite à saisir en ligne les données du stage (envoi d'un lien). Après son édition, le service de la scolarité vous enverra la convention par email pour signature.
Les conventions sont ensuite transmises à votre employeur à l'adresse de l'organisme d'accueil. *Si l'adresse d'envoi doit être différente, merci de le préciser. Votre convention doit être signée par tous avant votre début de stage.*

Pour les FISA, pas de convention spécifique à établir mais vous devez respecter les exigences relatives à votre contrat d'alternance (exemple, rendez-vous bilan de compétences en entreprise du S9...).

II. FICHE DE SYNTHÈSE DU STAGE

**ANNEXE 2 FICHE DE SYNTHESE DE STAGE***

NOM, Prénom : BERNARD Vräel INGENIEUR/ INGENIEUR APPRENTI / MASTER (rayer la mention inutile) SPECIALITE : AGREST	TUTEUR/ RESPONSABLE PEDAGOGIQUE ENSAT (Nom et adresse mail) : Jean-Pierre SARTHOU jean-pierre.sarthou@inrae.fr
NOM DE L'ENTREPRISE : Chambre Départementale d'Agriculture de Dordogne Activités : Agriculture, forêt, environnement, conseil, formation et installation dimension (nb de personnes) : + 100	MAITRE DE STAGE (nom et fonction) : MERY Didier, conseiller arboriculture fruitière et ingénieur réseau DEPHY Noix Sud-Ouest Adresse : didier.mery@dordogne.chambagri.fr Téléphone : 06 43 48 47 51
NATURE DU STAGE EFFECTUE (1 à 2 lignes) : Stage mêlant travail quotidien au côté d'un conseiller arboricole, de co-animation d'un réseau DEPHY ferme, de suivi des ravageurs en partenariat avec la FREDON et travail de recherche au champ	
TITRE DU RAPPORT Étude d'une lutte alternative par Push-Pull sur Rhagoletis completa au sein du groupe DEPHY Ferme Noix du Sud-Ouest : association d'argile insectifuge et d'insecticide hyperlocalisé, avec monitoring sémi chimique	
DIFFUSION DU TITRE DU PROJET oui (<input checked="" type="checkbox"/>) non (<input type="checkbox"/>)	
DIFFUSION DU RAPPORT oui (<input checked="" type="checkbox"/>) non (<input type="checkbox"/>) si non, nombre d'années de confidentialité :	
MOTS CLES : attract-and-kill, phéromone, ravageur invasif, lutte intégrée, nuciculture	
RESUME DU RAPPORT (5 à 10 lignes) : Elaboration du protocole et mise en place d'essais au champ ainsi que l'analyse des résultats et leur diffusion. Points abordés : efficacité de la lutte alternative, étude du seuil d'intervention et de l'attractivité des phéromones, observation de l'effet bordure et enquête sur l'utilisation des insecticides en hyperlocalisation. Participation à l'animation du groupe DEPHY Noix (rédaction des bulletins techniques, suivi des agriculteurs) et à l'organisation de journées techniques (organisation et présentation technique). Suivi de trois réseaux de piégeage pour le BSV (Mouche du brou, carpocapse, pyrale de la caroube) et récolte des données de pratiques culturales pour AGROSYST. PFE réaliser en étroite collaboration avec diverses organismes (Station Expérimental de Creysse, M2i, vivagro, FREDON...).	
VOTRE COMMENTAIRE : Nature des stages que l'entreprise est susceptible de proposer: essai au champ, agroécologie, enquête, changement climatique, élevage, irrigation, arboriculture, myciculture, fraisculture, sylviculture Votre avis et vos conseils pour un étudiant à la recherche d'un stage dans cette entreprise: Très bonne entreprise ayant l'habitude des stagiaires, larges thématiques abordables et nombreux experts. Travail de terrain et/ou de bureaux. Ne pas hésiter à contacter spontanément les employé-es pour chercher un stage.	

* Cette fiche doit être remplie de manière détaillée. ~~Elle doit être tamponnée par le Centre de Documentation~~ et une copie doit être remise au responsable de la spécialisation le jour de la soutenance. Elle doit être accompagnée du rapport sauf pour une confidentialité de plus de 3 ans. En l'absence de la fiche, la soutenance ne sera pas validée.

III. FICHE D'ÉVALUATION DU PROJET DE FIN D'ÉTUDE

Cf. soutenance

IV. FICHE D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES

V. ORGANIGRAMME DE LA CHAMBRE D'AGRICULTURE DE DORDOGNE



VI. FICHE DE SUIVI RÉALISÉE POUR LES PIÉGEAGES MOUCHE DU BROU 2022

**MOUCHE DU BROU (*Rhagoletis completa*, Cresson)***Fiche des relevés de piégeages monitoring 2022*Tableau à remplir en page 4**COORDONNÉES PRODUCTEUR**

Nom, Prénom :

Commune :

N° téléphone / mail :

Personne(s) en charge du suivi du piège :

PIÈGE(s)

Date de mise en place du piège :

Localisation du piège (nom de la parcelle, ref cadastrale etc.) :

IDENTIFICATION DE LA MOUCHE*Rhagoletis completa*

- Taille = 4 à 8 mm
- Traits sur les ailes épais et bien noirs
- Dernier dessin de l'aile = L
- Tache claire sur le dos du thorax brun
- Cycle tardif : juillet / août

Rhagoletis cerasi

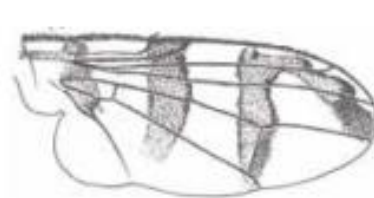
- Taille = 3 à 5 mm
- Traits sur les ailes épais et bien noirs
- Présence d'une tache = i
- Tache jaune sur le dos du thorax noir
- Cycle plus précoce : mai / juin



Mouche des fruits



Mouche de la cerise



Mouche de l'asperge



Mouche du céleri



Mouche du Jujubier

Dimorphisme sexuel de la mouche du brou :



Phagoletia completa femelle



Phagoletia completa mâle

Les femelles ont leurs fémurs marron clair tandis que les mâles ont les fémurs de marron à noir.

MISE EN PLACE DU PIÈGE DE MONITORING

Le kit de piégeage est composé d'un tube Completa Pro Drop® (hormone sexuelle) + Sticky trap (plaque engluée jaune). Il a une durée d'efficacité d'environ 12 semaines (moins en cas de forte chaleur).

Mise en place de fin-Juin à Octobre

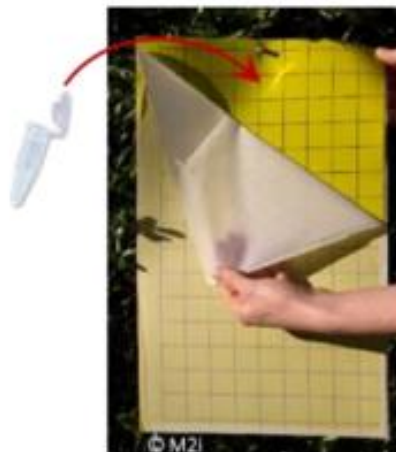
Au centre de la parcelle

Dans le tiers supérieur de la canopée de l'arbre choisi

À une densité de 1 à 3 piège(s) / ha.

Pensez à mettre du grillage autour de la plaque engluée pour éviter la capture de chauves-souris (auxiliaires des cultures) !

Décoller le film de la plaque adhésive.
Ouvrir le tube contenant la phéromone.
Placer/attacher le tube ouvert sur la plaque collante. Les mouches attirées par la phéromone viennent se coller à la plaque engluée.



COMPTAGE : à effectuer 1 à 3 fois / semaine.

Enlever les mouches collées après chaque comptage.

Changer la plaque engluée dès que nécessaire (env. 2-3 fois par campagne).

SEUIL D'INTERVENTION

Le recul sur les phéromones n'est pas encore suffisant pour avoir un seuil d'intervention fiable.

Les applications d'argile doivent se faire **AVANT l'émergence** ou au tout début (dès la 1ère mouche capturée) car l'argile est seulement un répulsif.

Les traitements adulticides sont à déclencher entre :

- Seuil bas : dès 3 captures sur 3 relevés successifs. (ex : lundi 1 mouche, mercredi 1 mouche, vendredi 2 mouches → attendre 8-10 jours puis traiter). C'est le même seuil que pour les plaques engluées seule.
- Seuil modéré : dès 10-15 captures sur 3 relevés successifs (ex : lundi 3 mouches, mercredi 6 mouches, vendredi 6 mouches → attendre 8-10 jours puis traiter).
- Seuil personnalisé à la parcelle : traiter dès l'augmentation brutale des captures. (ex : lundi 1 mouche, mercredi 3 mouches, vendredi 5 mouches, lundi 15 mouches → traiter immédiatement).

⇒ Contactez Didier MERY ou Vrael BERNARD en cas de doute.

SUIVI DES RELEVÉS DE PIÉGEAGE

[illegible]

Traitements faits contre la mouche du brou : (y compris argile)

Date	Produits et dose/quantité	Parcelle	Commentaire

TRANSMISSION DES DONNÉES

1 fois par semaine (y compris en cas de 0 capture !) à :

Elisa VIGNAUD - Animatrice filière BSV Noix Sud-Ouest

FREDON Nouvelle Aquitaine

Tél. : 05.55.04.64.06 ; Port. : 06.24.47.05.07 ;

Email : elisa.vignaud@fredon-na.fr

ET

Vrâel BERNARD - Stagiaire agronome, Chambre d'agriculture Dordogne

DEPHY Noix

Port. : 06.03.65.53.21 (SMS) ; Email : vrael.bernard@gmail.com

Merci pour votre participation !

VII. INDICATEURS D'ÉVALUATION DU GROUPE DEPHY POUR 2022-2026

Tableau 1 : indicateurs d'évaluation du groupe DEPHY pour 2022-2026 (© Didier MERY, 2021)

Indicateur	Méthode de calcul	Valeur cible
IFT	Nouvelle méthode de calcul	- IFT du Groupe de 60 à 80 % inférieur à l'IFT national
Utilisation du biocontrôle dans la protection totale	% IFT Biocontrôle / IFT Total	30 % d'IFT biocontrôle sur l'IFT total
Gestion des ravageurs	% d'ha utilisant le piégeage massif et / ou produits de biocontrôle (mouche du Brou et carpocapse)	80 %
	Nombre de pratiques propres à l'AB utilisées dans des vergers conventionnels	2 par verger
Echanges entre AB et conventionnel	Nombre de pratiques propres à l'AB utilisées dans des vergers conventionnels	2
Conversion en Bio	Nombre de nouvelles conversions en Bio	1 à 2
Activité du sol	Nombre et diversité d'espèces de vers de terre au m2	Progression de 30% sur 5 ans

VIII. FIL ROUGE DU GROUPE DEPHY FERME NOIX DORDOGNE 2022-2026



Figure 1 : Fil rouge du groupe DEPHY sur 2022-2026 (d'après Didier MERY, 2021)

IX. TABLEAU COMPARANT LA SENSIBILITÉ DE DIVERSES VARIÉTÉS À DES BIOAGRESSEURS DONT LA MOUCHE DU BROU

Tableau 2 : Sensibilité des variétés de noix aux maladies et à la mouche de la noix à Breitenhof (d'après Samietz et al., 2012)

1. Variété, comportement phytosanitaire ■ = bon ■ = moyen ■ = mauvais	2. Sensibilité aux maladies des feuilles 1997–2010 (0 = pas de symptômes, 10 = dégât total)	3. Sensibilité aux maladies des feuilles Années humides 1997–2010 (0 = pas de symptômes, 10 = dégât total)	4. Dégâts de mouche de la noix Moyenne des échantillons (asticots/kg de fruits)	5. Dégâts potentiels de mouche de la noix sur fruits infestés (asticots/kg de fruits infestés)
Shelnovo	0,15	0,25	13,8	97,2
Ralnuss Kläusler	1,25	1,94	7,8	134,0
Fernette	0,66	0,54	77,1	165,6
Scharsch	1,00	1,44	36,1	215,7
Gelsenheim 26	0,88	1,25	101,5	75,5
Meylannaise	1,64	2,39	49,7	124,3
Fernor	0,60	0,83	76,6	244,7
Ronde de Montignac	1,21	1,75	25,4	238,0
Wirz	0,75	1,00	93,2	221,7
Ferjean	1,95	2,92	13,5	142,9
Gelsenheim 1247	2,07	2,78	58,2	67,0
Parislène	(2,76)	(2,76)	9,3	147,0
Franquette*	0,63	0,96		
Nyffenegger	1,02	1,53	45,5	401,0
Tehama	1,34	1,94	83,5	237,5
Wolti*	1,45	2,33		
Esterhazy III	1,34	1,83	121,3	232,8
Dryanovsky	1,60	2,25	177,2	197,2
Gelsenheim 1049	2,57	3,42	61,8	215,8
Mayette	1,84	2,61	57,3	342,7
Pedro	3,59	4,64	49,5	170,3
Esterhazy II	2,74	3,42	91,5	210,7
Gelsenheim 120	3,57	4,50	75,9	146,3
Hugnuss	1,63	2,25	106,2	314,9
Uster	1,45	2,11	107,9	376,2
Gustino	2,68	3,44		
Sibisel	1,56	2,43	242,5	262,6
Gelsenheim 139	2,93	4,11	94,1	225,3
Weinsberg 1	3,05	4,28		
Gelsenheim 268	3,71	4,67	58,2	227,7
Gelsenheim 175	1,75	2,44	159,9	331,8
Royal de Lützel	3,23	4,50		
Juckernuss	2,07	2,78	171,9	266,4
Kalif. Nuss Leuthold	3,60	5,00		
Roggenmoser	3,71	4,96	115,2	229,7
Werner Kieser	4,20	5,36	93,8	236,3
Gisluss	2,61	3,56	185,0	327,8
Marchetti	4,54	5,28	172,2	201,0
Würms	2,71	3,39	258,5	424,9
Gelsenheim 1239	3,25	4,22	186,8	398,2
PP XI/25	(6,14)	(6,14)	122,0	256,5
Eigenmann	4,54	5,78	127,4	289,3

*Pas de données pour la mouche de la noix. Echelle des colonnes 2 et 3: 0–7. Valeurs entre parenthèses: enquête 1986–1991 (en échelle 0–10 transformée).

X. CONFLIT D'INTÉRÊT DU PROTOCOLE

L'étude menée durant ce Projet de Fin d'Etude est entièrement indépendante de toutes entreprises ou organismes. Les produits utilisés sont ceux déjà achetés par les agriculteurs avant l'initialisation de l'étude, qui n'a fait que se construire autour. Les interactions avec l'entreprise Vivagro et M2i ont été strictement limitées à l'échange de données nécessaires pour la bonne mise en œuvre du protocole (fiches techniques distributeurs) ou à l'avancée de la recherche (échange des résultats). L'entreprise M2i a aimablement fourni une partie des phéromones pour les pièges de monitoring, sans contrepartie autre.

L'étude menée étant faite sur seulement une année et sans contrôle des biais aussi exigent qu'en station, aucune des conclusions ou observations ne peuvent être utilisées de manière certaines.

XI. SUPPORTS DE LA JOURNÉE TECHNIQUE (DÉPLIANT ET AFFICHES)




Journée Technique DEPHY Noix Sud-Ouest Mardi 30 Août 14h-17h





**LUTTES ALTERNATIVES
MOUCHE DU BROU ET CARPOCAPSE**

Chez Jean ARPAILLANGE
Pech Gaubert
24370 PEYRILLAC-et-MILLAC
GPS : 44.882416, 1.415829





DÉMONSTRATIONS

Drone, Casotti, Lance-quad, Piégeage, et d'autres !







INTERVENTIONS



STATION EXPERIMENTALE DE CREYSSE
Perrical - 46600 Creysse - FRANCE
+33 (0)5 65 32 22 22 - station.creysse@orange.fr
www.noixsudouest.fr



CUMA DORDOGNE
LA PUISSANCE DU GROUPE



COMPO
EXPERT



mii
Let's Lead the Change



CORTEVA



DRONE INTEC



Vivagro

CONTACTS

<p>Didier MERY Tél. 06 43 48 47 51 didier.mery@dordogne.chambagri.fr</p>	<p>Vrâel BERNARD (stagiaire) Tél. 06 03 65 53 21 vrael.bernard@gmail.com</p>
---	---



La Mouche du Brou de la Noix

Synthèse des méthodes de lutte

Journée Technique organisée par le Réseau Fermes DEPHY Noix Sud-Ouest

CONTEXTE



La mouche du brou de la noix, *Rhagoletis completa* [1929, Cresson] est originaire du **Mexique** (Rull et al., 2013 ; Guillén et al., 2011) et d'**Amérique du Nord** (Alston et al., 2015 ; Riedl, 1993), où elle est appelée *Walnut Husk Fly*. Cette espèce, membre de la sous-famille des *Tephritinae*, cible **quasi-uniquement les noyers** (*Juglans sp.*), de toutes les espèces, sauvages ou cultivées (Foote, 1981) ; mais d'autres cibles collatérales comme les pêchers (*Prunus persica*) tardifs (Alston et al., 2015 ; Bush, 1966, Boyce 1934) et l'aubépine (*Crataegus monogyna*) (Yee et Goughnour, 2008) ont été observés aux USA. Encore non présentes en Europe, deux autres espèces très proches de la mouche du brou et s'attaquant aux noix existent : *Rhagoletis suavis* (*Walnut Husk Maggot*) et *Rhagoletis juglandis* (*Walnut Husk Fly* également).

La diffusion à travers le monde de *R. completa* s'est faite par le transport des fruits et la faculté de dissémination naturelle des adultes (ANSES, 2014). Elle est arrivée en France en 2007 puis en **Dordogne en 2011** (Rapp R., 2015) où elle est maintenant bien installée sur **toutes les communes** (CA24, 2015).

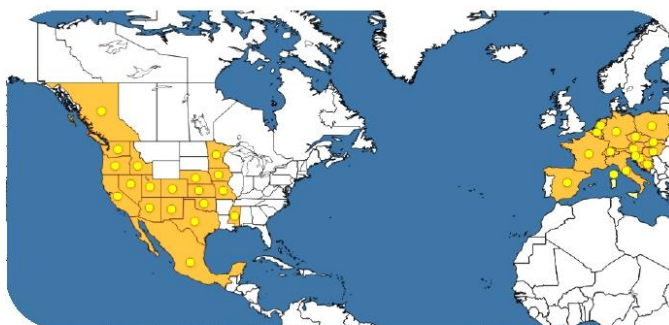


Figure 1 : carte de présence de *R. completa*, au 25/03/2021 (© EPPO)

Dans son territoire d'origine, **très peu de prédateurs** ont été identifiés et il s'agit de généralistes comme des araignées, des chrysopides, des fourmis, qui prédatent les adultes (Alinazee et Long, 1997 ; Boyce 1934), mais aussi des acariens (*Pyemotes ventricosus*) et des punaises (*Orius insidiosus*) qui peuvent consommer les œufs (Alston et al., 2015 ; Bush et al., 2014). La filière nucicole française a vite réagi à la présence de ce ravageur et bien qu'il soit présent dans beaucoup de verger **la situation est pour l'instant globalement maîtrisée** grâce à l'utilisation de produits phytosanitaires avec moins de 10% de perte de rendement (Verheggen et al., 2016). Toutefois, les insecticides ont des **impacts négatifs** prouvés sur la santé humaine, la faune

non-cible et représentent des **dépenses supplémentaires**. Par ailleurs, avec seulement trois produits utilisables, le risque de se retrouver dans une **impasse technique** en cas d'évolution de la réglementation est majeur. Enfin en **2023, il n'y aura plus que deux molécules** disponibles pour lutter contre la mouche (delthaméthrine, spinosad), dont seulement une en AB et une réservée au piégeage massif : l'alternance des matières actives est impossible et l'**apparition de phénomènes de résistance** au spinosad est à craindre (Chaabane et al., 2012). Les efforts doivent se poursuivre pour un monitoring plus pertinent et pour des méthodes de biocontrôle (Verheggen et al., 2016).



IDENTIFICATION de la MOUCHE du BROU

Le stade adulte est le plus facilement observable et identifiable.



Figure 2 : *Rhagoletis completa* (© P.J. Bryant)

Taille : 4-8 mm

Couleur du corps : jaune à marron foncé, abdomen rayé et point jaune clair sur le thorax.

Dimorphisme sexuel : marqué. Fémurs du mâle marrons foncés/noirs tandis que ceux de la femelle sont clairs (Verhaeghe et Prunet, 2011). L'ovipositeur est également visible chez la femelle.

Dessins alaires : caractéristiques. Trois bandes épaisses dont la dernière en L, touchant le bord de l'aile.

Yeux : turquoise/vert avec du rouge



Figure 4 : *Rhagoletis completa*, femelle (à gauche) et mâle (à droite) vue de dessous (© Ctifl, 2011)

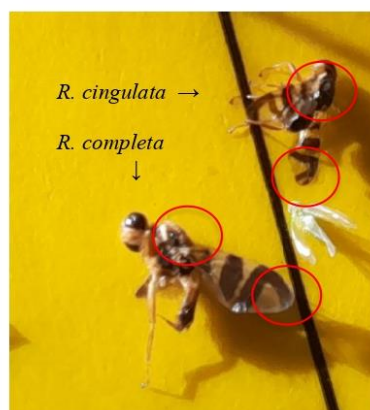


Figure 3 : *R. completa* sur plaque engluée à côté de *R. cingulata* (non ravageur du noyer, rare en France) (© Vrael BERNARD)

A ne pas confondre avec :



Figure 5 : *Rhagoletis cingulata* (© Ilona L.)



Figure 6 : *Rhagoletis cerasi* (© Ephytia)



IDENTIFICATION des DÉGATS

La mouche ne porte pas atteinte à l'arbre lui-même, mais uniquement aux fruits. C'est le stade larvaire (asticot) qui, en se nourrissant du brou, cause des ravages.

Selon la quantité d'asticots par brou et la précocité de l'infestation, les conséquences sont de gravité croissante :

- Des **tâches noirâtres** et spongieuses apparaissent sur le brou, correspondant aux zones de nutrition des asticots (Senura, 2018). Le brou devient alors humide, collant et difficile à séparer de la noix après la récolte (Bush et al., 2014). Le cerneau reste toutefois consommable (Schaub, et al., 2003 ; Verhaeghe et al., 2009).
- Si l'attaque est plus marquée, **la coque peut être tachée** ce qui altère la qualité visuelle de la noix et déprécie le lot (Ephytia, 2015).
- Si l'attaque est précoce, le **poids du cerneau est amoindri** (Samietz et al., 2012), la noix elle-même tachée par le brou et le **cerneau peut être amer**. Plus rarement, la présence des asticots peut totalement couper l'alimentation du cerneau en cours de formation, faire flétrir puis pourrir la noix (Bush et al., 2014 ; Schaub, et al., 2003). Enfin, les noix trop abîmées pour murir correctement vont **chuter précocement**.

Selon le contexte pédoclimatique et l'intensité d'infestation, si aucune méthode de lutte n'est mise en place, **la récolte peut être réduite de 80% dès la 1^{ère} année** (Verhaeghe, & Prunet, 2011 ; Duso et Dal Lago, 2006 ; Ephytia 2015)



Figure 7 : exemples de symptômes d'attaques de la mouche du brou (© Schaub et al., 2003 ; Alston et al., 2013, SENURA 2018, Vrael Bernard)



Les tâches noires causées par les **asticots de *R. completa*** sont :

- Noires intenses
- Luisantes et humides
- Suintantes à l'ouverture (liquide noir)
- Le brou reste accroché
- Sauf attaque précoce, le cerneau n'est pas déformé
- Les asticots ne sont JAMAIS dans la noix



Figure 8 : asticots de *Rhagoletis completa*, 17 Aout
(© Vrael BERNARD)

A ne pas confondre avec :

- 1) Des dégâts de ***Colletotrichum*** ou de **bactérioses**, qui sont eux :
 - Noir clair, avec des sporulations brunes possibles
 - Ternes et sèches
 - Le brou se décolle facilement
 - Le cerneau est noir et recroquevillé



Figure 9 : confusions possible : *colletotrichum* (haut et bas gauche), *anthracnose* (bas droite)
Notez l'absence d'humidité, de pourriture ou de coque tachée ; le cerneau est atteint (© Vrael BERNARD)



En cas de blessure, des **mouches saprophytes « classiques »** peuvent pondre dans le brou :

- Une forte odeur de décomposition est présente
- Les asticots sont de petite taille
- Des pupes brunes peuvent être présentes

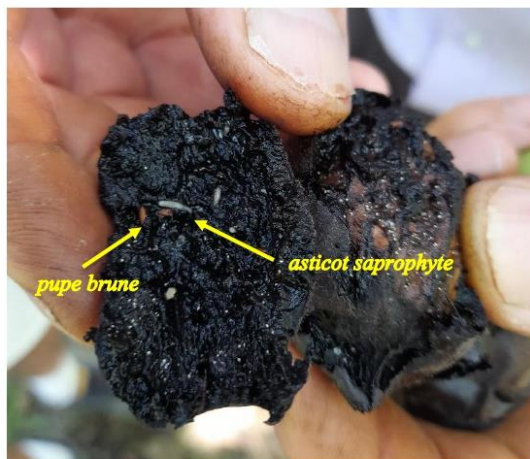


Figure 10 : asticots de mouche saprophyte dans un brou pourrissant (© Vrael BERNARD)



Figure 11 : (à gauche) asticot de mouche du brou ; (à droite) asticot de mouche saprophyte (© Vrael BERNARD)

DONNÉES BIOLOGIQUES

Les adultes de *R. completa* se nourrissent de miellat, levures et exsudats de feuilles (Chalaye et al., 2009) mais les asticots consomment le brou de noix. Le cycle du ravageur s'étend sur tout l'été, de mi-Juin à Octobre.

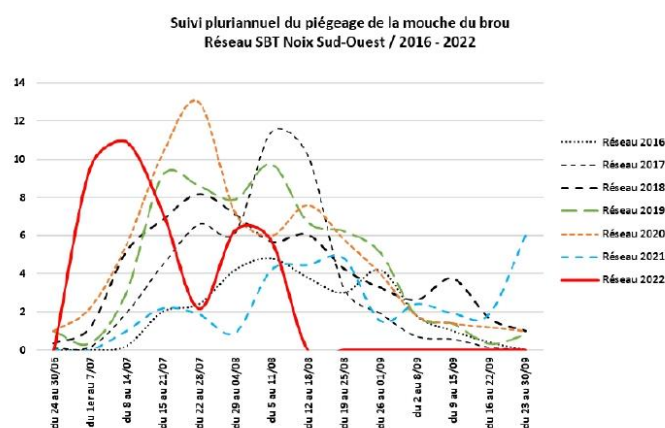
La durée de vie de l'adulte est de **65 jours** à 20°C mais tombe à 18 jours en condition de chaleur continue (32 °C) (Kasana, 1993). Globalement toutes **les étapes de son cycle s'accroissent avec la chaleur** mais un blocage du développement de l'adulte, de la larve et de l'œuf apparaît à **34°C** (Kasana & AliNiazee, 1994 et 1997).

Son développement est extrêmement lié aux températures printanières (Aluja et al., 2011) et dans des mesures encore floues, au froid hivernal (AliNiazee et al. 1988 Emery & Mills, 2019 ; Smith et Jones 1991, Moraiti et al. 2014), à la pluviométrie (Mills et al., 2015 ; Rull et al., 2019), à l'alimentation des larves (Mills et al., 2015), à l'altitude (Aluja et al. 2011 ; Verhaeghe et al., 2015), à la latitude (Emery & Mills, 2019) et aux caractéristiques du verger (âge, variété, irrigation ...) (Emery & Mills, 2019 ; Breshears et al. 1998, Ashcroft et Gollan 2012).

Le **changement climatique**, qui provoque des hivers plus doux et modifie le régime des précipitations, risque d'impacter le développement des mouches ; par exemple en modifiant leur exigence en degrés-jours (et donc leur date d'émergence), leur taux de survie au stade pupes etc. Malheureusement la recherche actuelle n'est pas en état de fournir des tendances. Toutefois, il est très probable que l'évolution du climat permette à la mouche de poursuivre sa progression plus au Nord de l'Europe (Aluja et al., 2011 ; Samietz et al., 2012 ; Dambroski and Feder 2007 ; Verheggen et al., 2016).



L'insecte à un **sexe-ratio équilibré** (Verhaeghe et Prunet, 2011) et le mâle et la femelle peuvent se reproduire plusieurs fois dans la saison (Chalaye et al., 2009 ; Schaub et al., 2003), mais il n'y a qu'**une seule génération par an** (Verhaeghe et Prunet, 2011) bien qu'une deuxième génération ait été observée aux USA (Alinazee et Long, 1997).



Il y a entre **1 à 3 pics de vol** (Verhaeghe et al., 2009), mais il est difficile de séparer la biologie intrinsèque à l'insecte des pics résultant des nouvelles émergences après un traitement insecticide.

Figure 13 : courbe de piégeage de la mouche sur le Sud-Ouest depuis 2016
Notez la précocité des émergences de l'année 2022 (© Elisa Vignaud, FREDON)



Figure 14 : pupa de *R. completa*
(© Marie-Neige Hébrard, Station de Creysse)

R. completa a un fort potentiel de ponte avec des pontes de **300 à 400 œufs** distribués sur une vingtaine de fruit durant la saison (Verheggen et al., 2016). De par son fonctionnement, **l'infestation se fait par « foyer »** au sein du verger (Bush et al., 2014 ; Samietz et al., 2012 ; Verhaeghe, et al., 2015).

En octobre, les pupes s'enterrent dans le sol jusqu'à 15 cm de profondeur mais la majorité (+85%) sont **dans les dix premiers cm** (en situation de limon-sableux fin) (Rijal, 2017).

La bibliographie semble incertaine concernant certaines caractéristiques de l'espèce, qui pourraient pourtant aider dans sa lutte : comportement de défense des noix par les mâles, marquage ou non des noix par des phéromones, influence de la météo et du climat sur les émergences etc. **Les capacités de la mouche du brou ne doivent pas être sous-estimées** : infestation rapide des parcelles (Opp et al., 2003a ; Verhaeghe & Prunet, 2011), adaptation au climat local comme *R. pomonella* (Dambroski et Feder 2007), capacité d'évasion des pièges de monitoring ou du piégeage massif (observations et témoignages terrains).



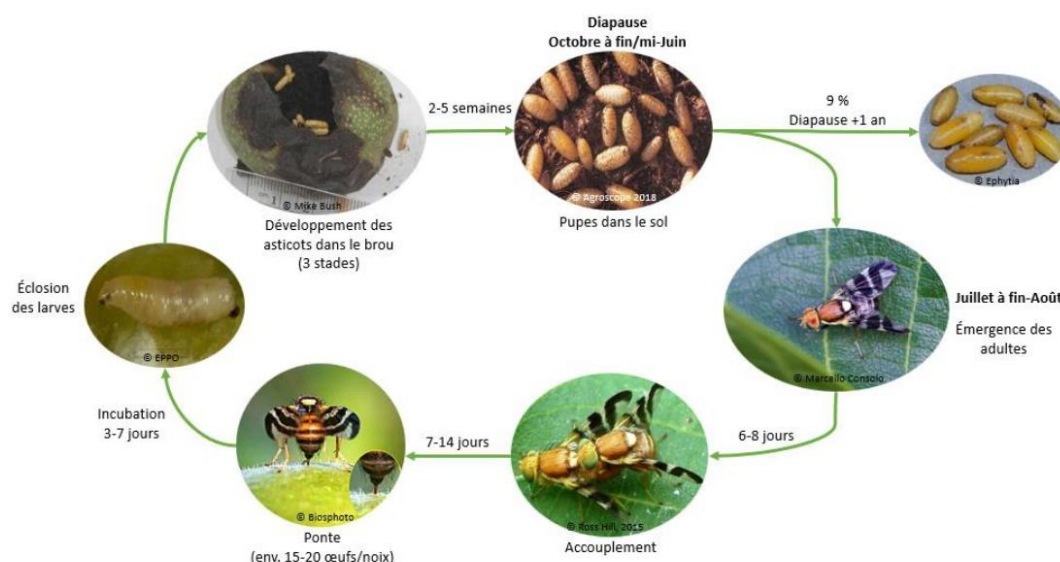


Figure 15 : cycle de vie de *Rhagoletis completa* (© Vrael BERNARD)

INFLUENCE de la VARIÉTÉ

Il y a consensus sur le fait que le noyer *Juglans nigra* (originaire d'Amérique du Nord) et *Juglans major* (originaire du Mexique et du Sud-Ouest des États-Unis), au brou souple, sont extrêmement attractifs pour la mouche du brou ; bien plus que *Juglans regia* (originaire d'Europe et d'Asie) (Boyce 1934 ; Riedl et Hoving 1980). Au-delà de l'espèce, la variété au sein de *Juglans regia* a aussi son importance (Samietz et al., 2012 ; Mills et al., 2015 ; Alston, 2015). La variété sur laquelle se développe l'asticot influence le poids des pupes, la longévité des adultes, la durée de la diapause (Mills et al., 2015).

Les études internationales sont peu transposables en Europe car les variétés cultivées, les modes de conduites et surtout le climat sont différents. Il est certain que **la variété peut influencer le choix de ponte de la mouche** car selon les cultivars les noix ont un calibre, une couleur, une précocité, une texture de brou, une densité de trichomes ou encore, des odeurs différentes (Riedl et Hoving, 1980 ; Van Steenwyck et al., 2016 ; Guillén et al., 2011 ; Mills et al., 2015). Parmi les variétés cultivées en France il semblerait que les **pollinisateurs** tel que « Ronde de Montignac », « Meylanaise » ou encore des anciennes variétés comme « Bijou » ou « Pedro » soient très sensibles (Verhaeghe & Prunet, 2011). Les variétés précoces et à gros calibre telle que « Lara » semblent empiriquement aussi plus sensibles.

Toutefois, la variété ne fait pas tout dans l'attractivité et celle-ci peut être compensée ou accrue par d'autres facteurs comme une **irrigation intensive** (augmentant le calibre des noix), l'âge ou la conduite du verger telle que la taille (Coates 1994). La composition multivariétale des vergers pourrait être une piste de meilleure résilience au ravageur mais aucune n'étude n'a à ce jour étudié cet effet et les observations terrain semblent plutôt aller à contre-sens (Verhaeghe, 2012). Néanmoins, varier les variétés cultivées au sein de l'exploitation permet d'augmenter la résilience face aux aléas climatiques (gel) ou aux autres ravageurs (le carpocapse semble par exemple plutôt attiré par les variétés tolérantes à la mouche).



MONITORING

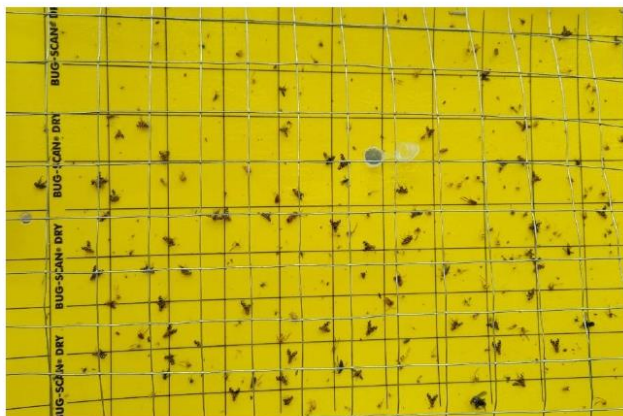


Figure 16 : plaque de monitoring (saurez-vous compter les mouches ?)
(© Vrael BERNARD)

Le *monitoring*, ou « surveillance de la population du ravageur » est une étape essentielle dans la démarche de lutte raisonnée. En suivant le cycle du ravageur à l'échelle la plus appropriée (parcelle, commune ...) les bons traitements peuvent être appliqués au bon moment. **Le *monitoring* limite le surtraitement mais évite aussi d'intervenir trop tard**, alors qu'un grand nombre de mouche ont déjà pondu dans les brous (il n'existe pas d'ovicide ou de larvicide homologué en France).

Le *monitoring* est particulièrement important car la densité de population de *R. completa* varie fortement selon les années, ce qui rend **l'estimation de la pression pour l'année suivante, compliquée** (Opp et al., 2001). Le suivi se fait grâce à une **plaque chromatique engluée** (40 x 25 cm) seule, avec un **appât alimentaire** ou avec une **capsule de phéromones**. Des recherches sur d'autres support de *monitoring*, notamment sous forme de bol sont en cours en France. Aux USA, d'autres techniques existent : cylindre englué jaune (Opp et al., 2003b), sphère verte engluée (Riedl 1993 ; Duso et Dal Lago, 2006 ; Verhaeghe et al., 2009), plaque verte engluée (Riedl et Hislop, 1985).

Le seuil d'intervention retenu dépend du type de *monitoring* mis en place car il doit prendre en compte l'attraction plus ou moins forte du dispositif (Duso et Dal Lago, 2006).

Type de monitoring	Seuil d'intervention conseillé pour l'insecticide dans le cas de 2 relevés de pièges par semaine :
Plaque seule engluée (capture aléatoire)	3 mouches capturées sans interruption (ex : 1-2 ou 1-1-1)
Plaque + attractif alimentaire	3 mouches capturées sans interruption <i>Seuil empirique, sans étude scientifique</i>
Plaque + phéromone	15 captures sur 8 jours (ex : 5-4-6) <i>Seuil en cours d'étude par le Groupe Technique Noix Sud-Ouest</i>
Quel que soit le type de monitoring : <ul style="list-style-type: none"> - Les interventions non-chimiques, type barrière physique, doivent être faites avant les premières émergences - Le renouvellement des produits, insecticides ou non, doit être respecté - Le seuil peut être considéré comme atteint si une augmentation claire et nette des captures à lieu (ex : passage de 2 mouche à 10, au relevé suivant) 	





Attention à **bien respecter les recommandations d'usage pour avoir un monitoring efficace** (Riedl 1993 ; Bush et al., 2014 ; Yee, 2015 ; Verhaeghe et al., 2009 ; Verhaeghe, 2012) :

- Avoir conscience de l'effet foyer si le piège est placé sur un arbre repéré comme très infesté l'année précédente
- Placer le piège au cœur de la parcelle, en zone sombre et humide si aucun foyer n'a été repéré
- Changer la plaque au moins 2 fois dans la saison ou en cas de salissement
- Effectuer un suivi régulier (1 à 3 fois / semaine)
- Poser le piège dans le tiers-supérieur de l'arbre, en bordure de la canopée, à proximité des noix et à l'ombre.

Par ailleurs, le monitoring seul est un **indicateur de vol** mais le nombre de capture n'est pas parfaitement corrélé avec l'intensité des dégâts sur noix (Alinazee et Long, 1997 ; Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle). L'**observation des premiers œufs** dans l'abdomen des femelles et l'**échantillonnage des noix** à la recherche des premières pontes/asticots est essentiel (Duso et Dal Lago, 2006 ; Verhaeghe et al., 2015 ; Station Expérimentale de Creysse, communication personnelle).



Figure 17 : exemple de piège de monitoring. Notez la capsule de phéromone et le grillage bien éloigné (© Vrael BERNARD)

Conseils :

- La pose d'un grillage à maille large, entourant la plaque engluée (sans la toucher pour éviter l'évasion des mouches), permet de protéger oiseaux et chauve-souris, grands auxiliaires des cultures.
- Un système de corde en va-et-vient facilite les relevés de piège.



MÉTHODES de LUTTE ACTUELLE

Prophylaxie

A cause de la petite taille des pupes, le travail du sol n'est pas un levier efficace. Toutefois, des mesures peuvent être mises en place telles que :

- La destruction ou enfouissement profond des déchets de tri et de lavage hors des noyeraies pour limiter l'inoculum (Rapp, 2015).
- La protection du sol par une bâche ou un textile, sous toute la canopée des arbres pour éviter l'émergence des adultes ou la pupaison des asticots, ainsi que pour faciliter la récolte des noix infestées (Alston et al., 2015 ; Samietz et al., 2012)
- Le ramassage ou le broyage fin des fruits tombés au sol entre Juillet-Septembre afin de réduire le nombre de larve s'enterrant dans le sol (Schaub, et al., 2003 ; Bush et al., 2014 ; Alston et al., 2015)

Barrière physique

En France, sont utilisables :

- BNA Pro (hydroxyde de calcium)
- CALCIBLANC (Hydroxyde de calcium)
- SOKALCIARBO WP (Kaolin)
- CALIAMU (Carbonate de calcium)
- Invelop® (Talc)
- Cle'flo (Smectite, Illite et Kaolinite)

Les trois premiers ont été prouvés efficaces pour protéger jusqu'à 1 ha d'arbre contre la mouche du brou (Station Expérimentale de Creysse).



Figure 18 : application d'argile (© Didier Mery, CA24)

Le mode d'action exact de ces produits sur la mouche du brou n'est pas encore élucidé. L'hypothèse première est que la couleur blanche de ses produits perturbe la mouche dans sa recherche de noix vertes. La mouche repère également les noix par leur brillance, l'odeur et le toucher ; des paramètres sur lesquelles influent également ces produits.

Avantages	Inconvénients
Pas d'impact sur la santé humaine, les auxiliaires et l'environnement	Ne régule pas directement la population de la mouche sur l'année n
Efficace aussi sur les coups de soleil/de chaud	Complexité d'application uniforme sur la canopée*
Pas d'apparition de résistance	Technicité de préparation de la bouillie
(Pouvoir asséchant sur les maladies cryptogamiques ???)	Usure possible du matériel
	Lessivage

*En cas d'application non homogène et sans autre intervention, la population du ravageur vas augmenter (Verheggen et al., 2016)



Piégeage de masse

Pour l'instant, seul le Decis ® Trap MB existe.



Avantages	Inconvénients
Très faible impact sur la santé humaine, les auxiliaires et l'environnement.	Prix
Pas de renouvellement pour toute la campagne	Efficacité variable selon la pression du ravageur
	Non utilisable en Agriculture Biologique
	Difficulté et temps de pose (100 pièges/ha)



Le Decis Trap MB n'est pas homologué pour le *monitoring*.

Insecticides

L'autorisation de l'IMIDAN 50 WG, à base de phosmet s'arrête en fin de campagne 2022 !



Le SUCCESS™ 4 et le SYNEIS Appât, à base de Spinosad, sont en dérogation et autorisés en AB. Les produits phytosanitaires disponibles pour lutter contre *R. completa* ont un impact « raisonnable » sur l'environnement, les auxiliaires et la santé humaine par rapport à d'autres insecticides (Pree, 1979 ; Biddinger 2013, Laurin et al., 2007 ; ANSES, 2012 ; ANSES, 2011).

Il n'en demeure pas moins que les études sont lacunaires ou que des impacts nocifs sont eux, bel et bien démontrés. Les produits à base de Spinosad, un bioinsecticide, sont efficaces contre la mouche du brou, tout en étant moins nocif pour l'humain, les auxiliaires et l'environnement que le Phosmet (DeAmicis et al., 1997 ; Kirst et al., 1992 ; Cisneros et al., 2002). Malgré tout, le Spinosad a lui-aussi des effets négatifs sur le cortège d'auxiliaire (Santos et Pereira, 2020 ; EFSA, 2018).

L'utilisation excessive des produits phytosanitaires peut nuire aux auxiliaires, provoquant l'apparition de nouveaux ravageurs (ex : cochenilles), compliquant la gestion du ravageur initial et ainsi occasionnant des surcoûts.



Il faut réfléchir leur utilisation et ne pas les utiliser en préventif.

Avantages	Inconvénients
Efficacité immédiate	Impact sur la santé humaine, les auxiliaires et l'environnement
Application facile	Lessivage
	Risque d'apparition de résistance
	Technicité pour appliquer le produit au bon moment (ni sur-traiter, ni sous-traiter)
	Pas d'AMM pour les produits à base de Spinosad



SYNEIS Appât en hyperlocalisation :



Figure 19 : Mouche du brou près de gouttelettes de SYNEIS Appât. Notez la taille des gouttes projetées !
(© SENUA, 2018)

Le SYNEIS Appât, grâce à son **effet attractif** sur la mouche s'inscrit parfaitement dans une démarche de **lutte intégrée** car cette formulation permet de **réduire la dose de matière active**, pour une **efficacité équivalente** ! (Mayes et al., 2003 ; Van Steenwyk et al. 2003 ; ANSES, 2011). Par ailleurs, son application en **hyperlocalisation** permet de réduire encore son impact sur la faune auxiliaire et l'environnement.



Attention, les autres produits non formulés spécialement pour une application hyperlocalisée peuvent ne pas être efficace si appliqués ainsi (ex : pas d'étude sur les mélange à base de mélasses) !



Le SYNEIS Appât est efficace **UNIQUEMENT** s'il est appliqué à haute concentration sur une zone réduite et avec des grosses gouttelettes. S'il est appliqué trop dilué, en plein, ou en brouillard, il n'est pas attractif et ne réglera pas efficacement le ravageur.

ESSAI du GROUPE DÉPHY Noix Sud-Ouest 2022

Des essais ont été mis en place sur l'été 2022 afin de tester une protection du verger alliant technique du « push-pull » et « attract-and-kill ». Le but est de proposer une **solution efficace contre la mouche du brou tout en diminuant les doses d'insecticide nécessaire**. L'application d'argile sur trois rangs permet d'éloigner les mouches et de protéger les noix de la ponte. La 4^{ème} rangée reçoit qu'en à elle du SYNEIS Appât en hyperlocalisation, les mouches sont attirées préférentiellement sur cette rangée, exempte d'argile et attractive par l'appât, et sont tuées par l'insecticide pendant les temps forts du vol.

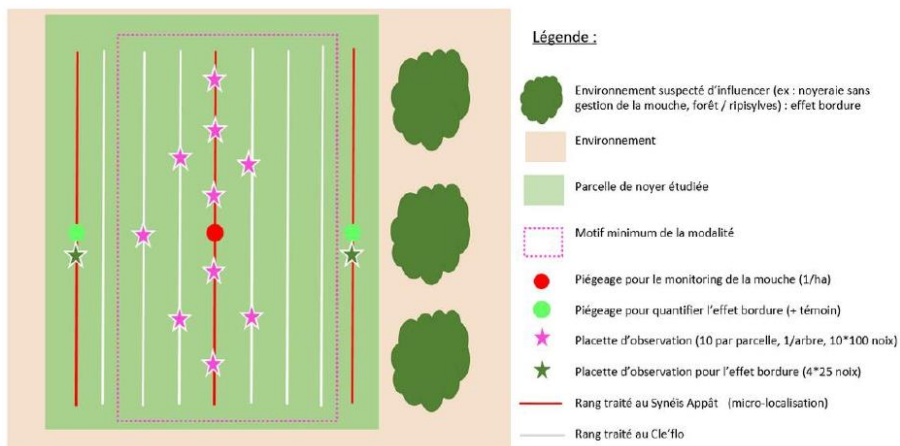


Figure 20 : schéma du dispositif expérimental (© Vrael BERNARD)



L'essai de 2022 a aussi pour **sous-objectifs** de mettre à l'épreuve le seuil utilisable pour un *monitoring* avec phéromones, de relever le sexe-ratio attiré par les phéromones, d'analyser l'influence des abords de la parcelle sur la pression du ravageur ainsi que d'étudier les avantages et désavantages globaux de l'utilisation du SYNEIS Appât en hyperlocalisation.

PERSPECTIVES de LUTTES ALTERNATIVES

Les différents organismes de recherches (CTIFL, Station expérimentale de Creysse, SENUra ...) mènent de nombreux travaux de recherches sur les luttes alternatives pour la mouche du brou sur noyer et leur travail doit être soutenu par l'ensemble de la filière afin d'être efficace, rapide et au plus près des besoins du terrain.

Actuellement, les deux axes majeurs sont :

- La **lutte semiochimique** (Larsy, 2017). L'isolation récente de phéromones sexuelles de la mouche ouvre la voie au développement à un autre type de piégeage de masse, plus efficace ; ainsi qu'à de la confusion sexuelle sur le même modèle que ce qui est actuellement fait pour le carpocapse (*Cydia pomonella*).
- Le **parasitisme des pupes par des nématodes** (ex : *Steinernema carpocapsae*) et **champignons entomopathogènes** (ex : *Beauveria bassiana*). Le parasitisme de ce type est une technique fréquente en biocontrôle mais dont l'efficacité est variable selon le ravageur et les conditions d'application. Les essais sont en cours en France et les études se poursuivent afin de trouver le meilleur candidat (Nisar et al., 2019).

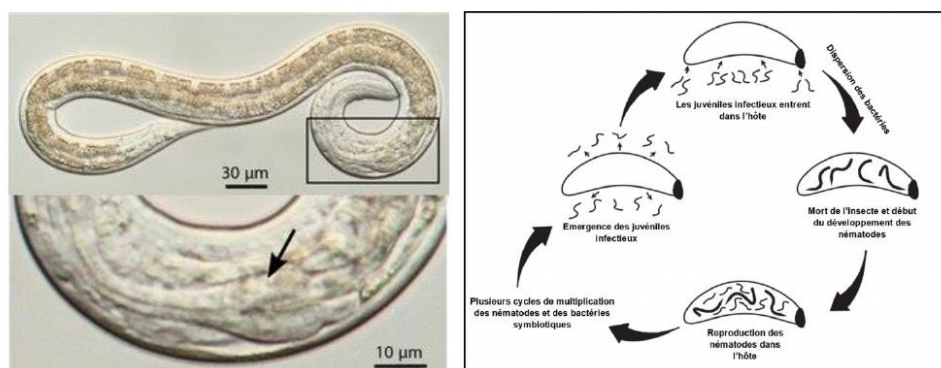


Figure 21 : lutte biologique par les nématodes (d'après Shapiro-Ilan et al., 2017)

Cependant d'autres pistes existent et pourraient être étudiées dans le futur :

- La **lutte autocide** ou *Sterile Insects Technique*. Cette technique est efficace pour plusieurs mouches des fruits (Aliniaze et Long, 1997) mais pose de nombreux défis techniques (Knipling 1979 ; Mouchet, 1971) et écologiques (Gouagna, 2019 ; Evans et al., 2019).
- La **Technique de l'Insecte Incompatible**. Basée sur une infection bactérienne héréditaire (*Wolbachia*) qui entraîne la mort des œufs, elle est utilisée avec succès pour divers moustiques et est prometteuse pour des mouches comme *R. cerasi*, *Drosophila suzukii* ou *Bactrocera oleae* (Cattell, 2016).

- Le **parasitisme des pupes par des prédateurs exotiques** à la France mais hautement spécifiques à la mouche du brou comme par ex : *Aganaspis alujai*, *Diachasmimorpha juglandis* et *Diachasmimorpha mellea* (Rull et al., 2019).
- Le couplage de noyeraies avec un **système avicole extensif** pourrait être un levier pour agir sur le stock de pupe présent dans les premiers centimètres du sol ou sur les larves tout juste tombées des noix. Les résultats sont encourageants (Alston et al., 2015 ; Samietz et al., 2012) mais encore très expérimentaux.
- La **lutte biologique par conservation**, c'est-à-dire mettre en œuvre toutes les pratiques favorisant et augmentant le nombre d'ennemis naturels de *R. completa*. Les leviers peuvent porter sur l'amélioration du fonctionnement du sol, là où le ravageur passe 8 mois de sa vie, ou encore sur la mise en place de couverts végétaux spécifiques (comme étudié par le « Walnut Husk Fly Project » du Dietrick Institute).



Figure 22 : punaise prédatrice (*Orius insidiosus*)
(© CABI)



Figure 23 : couvert de féverolle (© Didier MERY, CA24)

Les couverts végétaux comme ceux à base de féverolle, améliorent la santé du sol, apportent de l'azote et augmentent la biodiversité. Parlez-en à votre technicien !

Pour citer ce document :



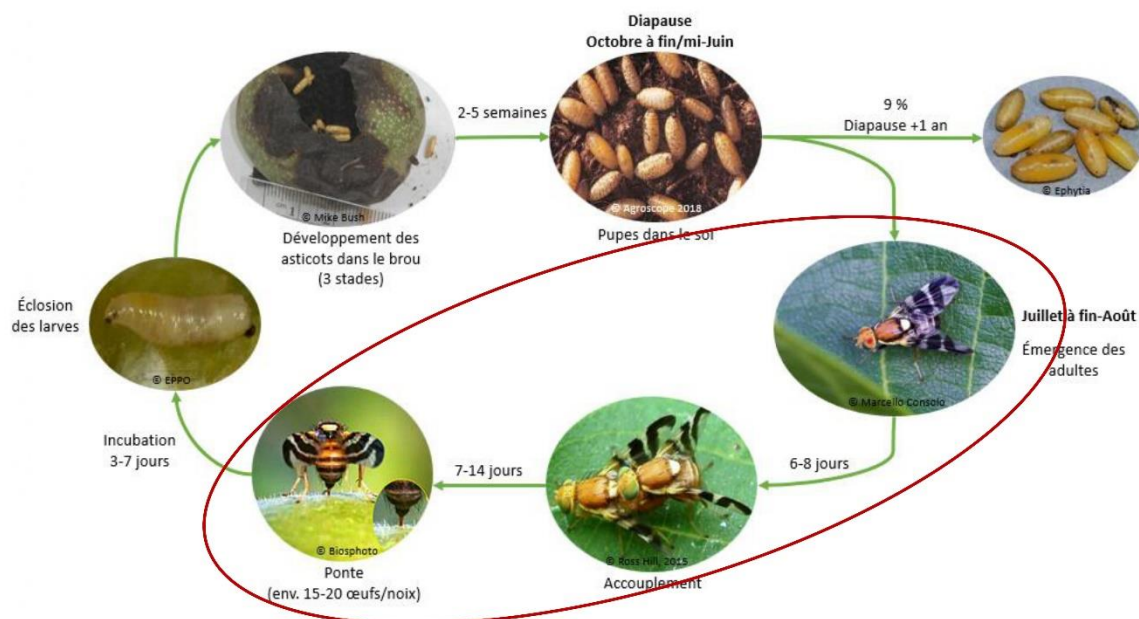
BERNARD V., (2022), *La mouche du brou de la noix : synthèse des méthodes de lutte*, journée technique Noix Sud-Ouest, 30 août 2022, 14 p.

Texte et conception : Vraël BERNARD
Stagiaire Ingénieur
Réseau DEPHY Noix Sud-Ouest
Tél : 06.03.65.53.21
Mail : vrael.bernard@gmail.com



Figure 2 : Dépliant de 14p. distribué à la Journée Technique (© Vraël BERNARD)

Journée Technique : Lutte alternative Mouche du Brou



PUSH-PULL (Ecophytopie.fr)

Introduction d'une plante répulsive (push) éloignant les ravageurs ET d'une plante-piège (pull) les attirant en dehors de la culture. Traitement de la plante-piège au moment adapté

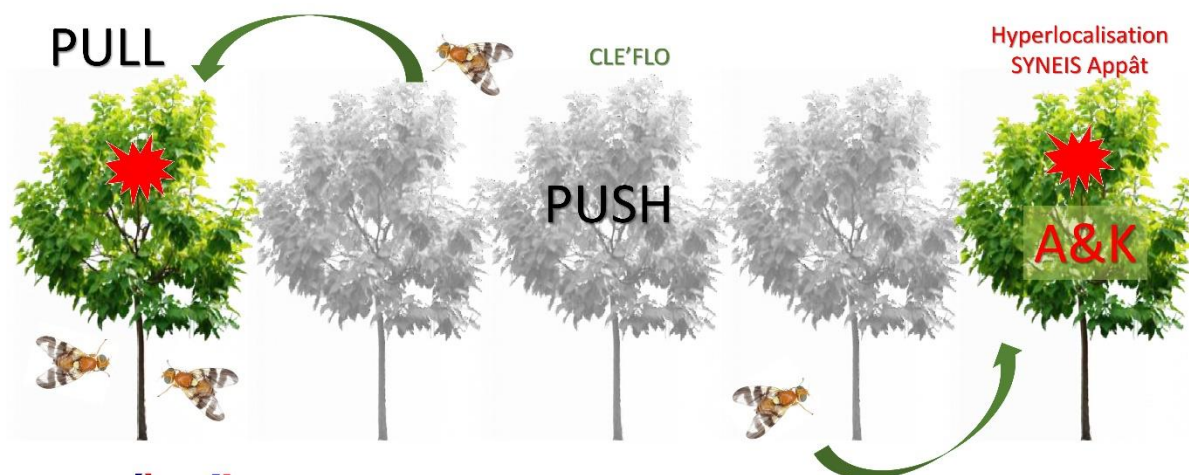
Carpocapse (Charmillot et al., 2000)
Charançon de la prune (Larose et al., 2017)

ATTRACT-and-KILL (ANSES, fyrtoweb.de)

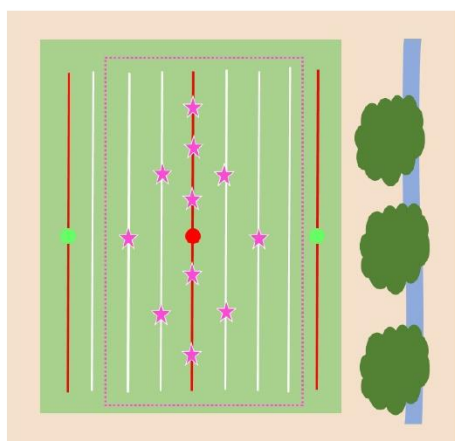
Association d'un attractif (phéromone ou alimentaire) ET d'un insecticide à action « choc », souvent de contact

Lépidoptère, mouches des fruits (El-Sayed et al., 2006)
Mouche du brou (Mayes et al., 2003 ; Van Steenwyk et al. 2003)

Objectif : diminuer la quantité d'insecticide pour un résultat similaire !



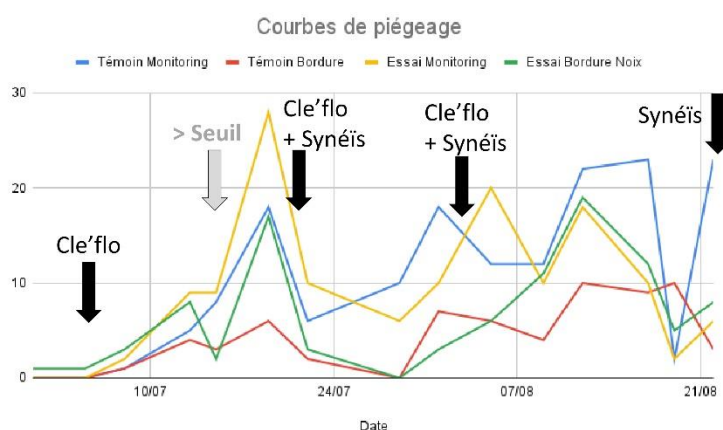
Journée Technique : Lutte alternative Mouche du Brou



Témoin : cle'flo en plein

Essai : push-pull X attract-and-kill

Synéis en quantité proportionnelle : 1,5 L/ha or 0,36 ha traité réellement → **0,6 L/ha**



Nb de captures ≠? Dégâts

Total : 464 mouches

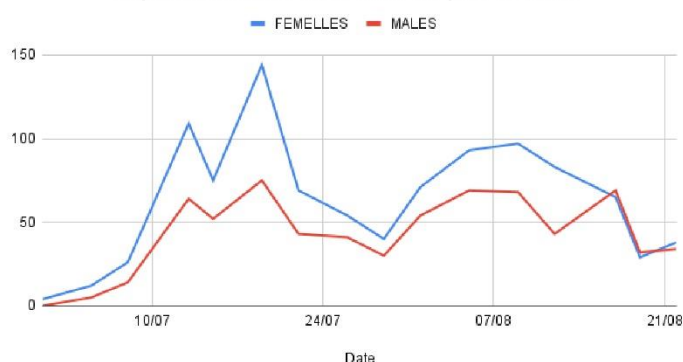
- Témoin : 225

- Essai : 239

Visuellement :

- La bordure Noix est une source modérée de mouches
- Efficacité équivalente Témoin/Essai

Captures selon le sexe avec les phéromones



Total : 1702 mouches

- Femelles : 1009

- Mâles : 693

Ratio : 1,5

17/08 : évolution ?

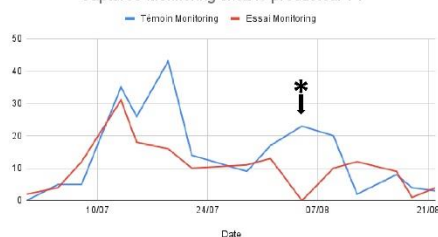
Quel **seuil** avec les capsules à phéromones : 15, 30 ... ?
Quelle **proportion** de rangs au Synéis Appât : ¼, +, - ?

Journée Technique : Lutte alternative Mouche du Brou



**Graphiques sans analyses statistiques, seulement descriptifs !
et protocole modifié ***

Captures Monitoring chez le producteur P.



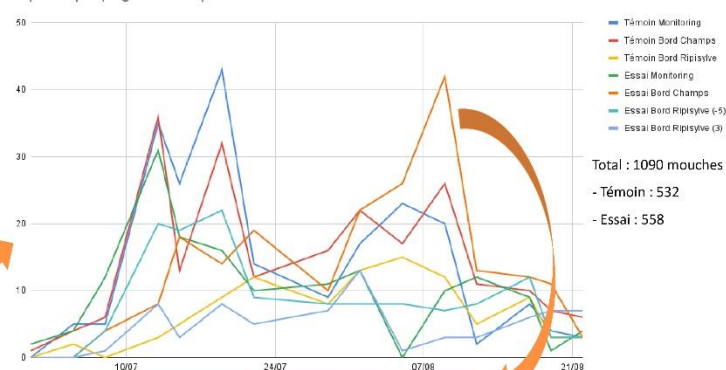
Captures totales chez le producteur P.



Captures totales chez le producteur P., sans le piège "FOYER"



Captures par pièges chez le producteur P.



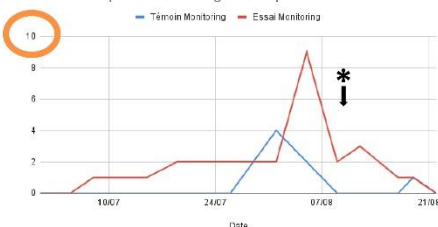
Total : 1090 mouches
- Témoin : 532
- Essai : 558



Visuellement :

- Captures des pièges en bords de champs >> ripisylves
→ Composition de la ripisylve ?
→ Réchauffement du sol + rapide ?
→ Pollinisateur ?
- Efficacité de l'essai à confirmer en refaisant le protocole
→ Push-Pull = Success 4 + Cle'flo ?
- Il faut adapter la configuration du Push-Pull aux foyers présents

Captures Monitoring chez le producteur G.



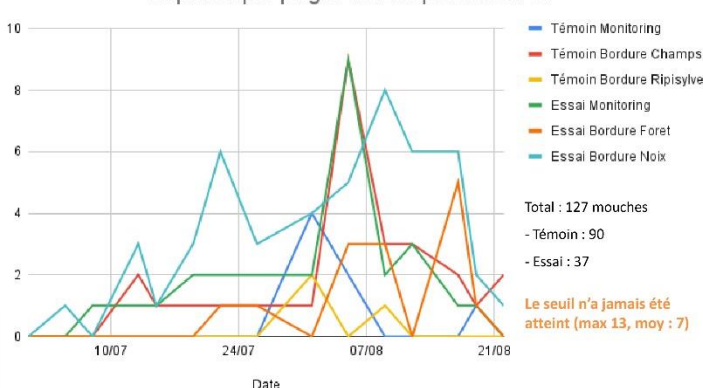
Emplacement du piège de monitoring :

- Concurrence phéromone VS DECIS Trap (Témoin) ?
- Trop faible nb de captures

Visuellement

- La noyerie voisine semble être source de mouches :
COORDINATION de la LUTTE !
- La ripisylve ne semble pas être source de mouches (mais peu de captures d'insectes en général)

Captures par pièges chez le producteur G.



Total : 127 mouches
- Témoin : 90
- Essai : 37

Le seuil n'a jamais été atteint (max 13, moy : 7)

XII. ETAT DE L'ART SUR LA TOXICOLOGIE DU PHOSMET

Le phosmet agit par contact, par ingestion et par inhalation sur un grand nombre d'insectes. Il est absorbé par les feuilles mais non véhiculé par la sève, c'est un produit non systémique (ANSES, 2012). Il n'est pas facilement biodégradable mais n'est pas considéré comme persistant, a un faible potentiel de bioaccumulation et est faiblement mobile à immobile dans le sol et les risques de contamination des eaux de surface par ruissellement sont acceptables (ANSES, 2012).

Il a été prouvé comme mutagène (Vlčková et al., 1993) et tératogène (Bala Murali et al., 2020). Les études le désignent comme toxique sur des Carabidés (Hagley et al. 1980) mais l'ANSES estime que recolonisation potentielle des arthropodes non-cibles à partir de la zone hors champ est possible sous réserve du respect d'une zone non traitée de 20 mètres et que les risques aigus sur les macro-organismes du sol sont acceptables. **Comparé à d'autres produits phytosanitaires, le Phosmet est moins toxique pour certains auxiliaires des vergers** (Pree, 1979 ; Biddinger 2013) **mais il le reste plus que le Spinosad** (Laurin et al., 2007). Le phosmet est classé dangereux pour les abeilles et pollinisateurs (e-phy.agriculture.gouv.fr) mais l'ANSES estime qu'en conditions extérieures, l'impact du traitement est très modéré sur les colonies. Toujours selon l'ANSES : il existe des risques aigus, à court-terme et à long-terme pour des oiseaux insectivores ; des risques aigus et à long-terme pour des mammifères insectivores ; les risques pour l'opérateur sont acceptables. L'ANSES relève un manque d'étude sur le niveau de résidus éventuellement présent les noix après application et qualifie ainsi l'usage sur noix comme « pas acceptable ».

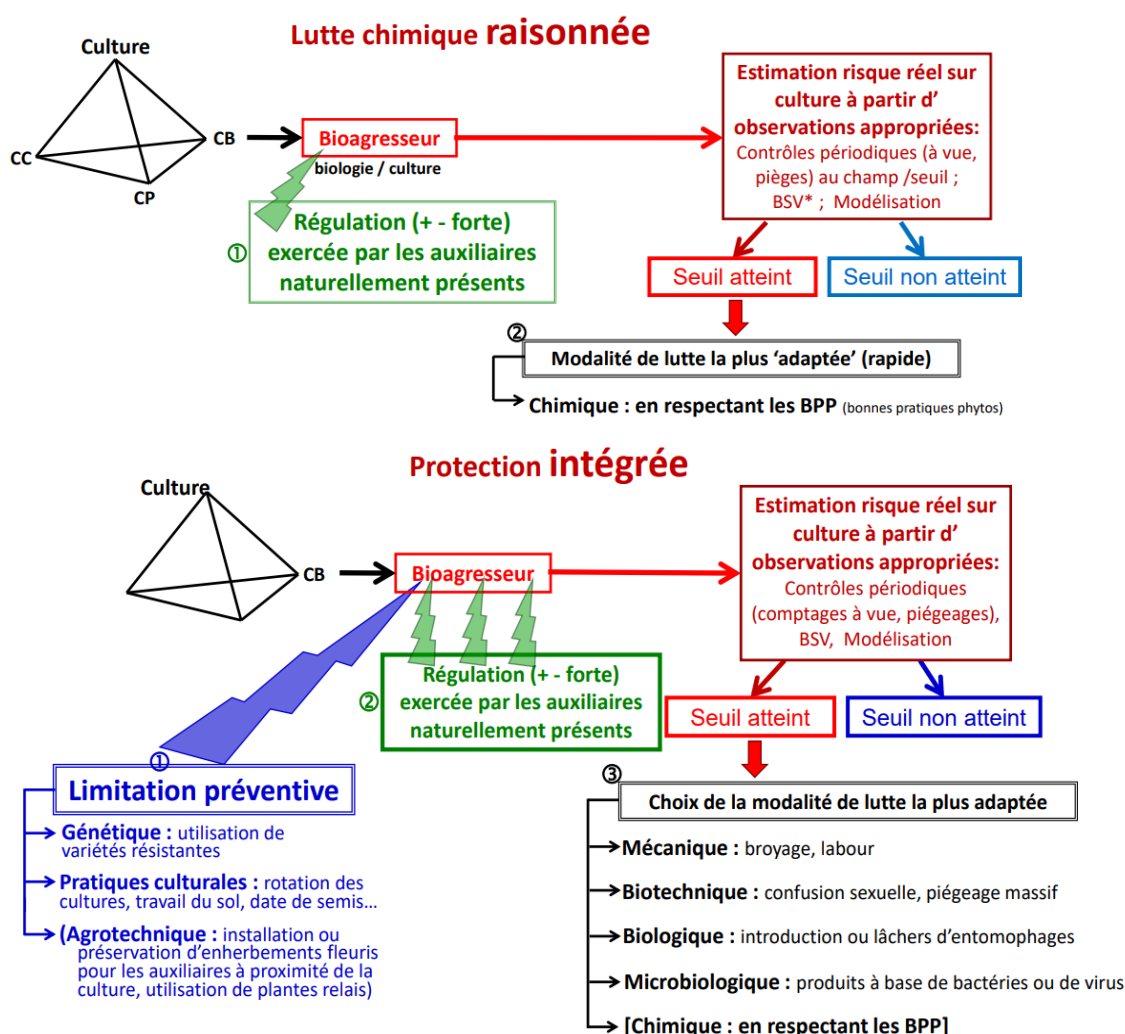
XIII. ETAT DE L'ART SUR LA TOXICOLOGIE DU SPINOSAD

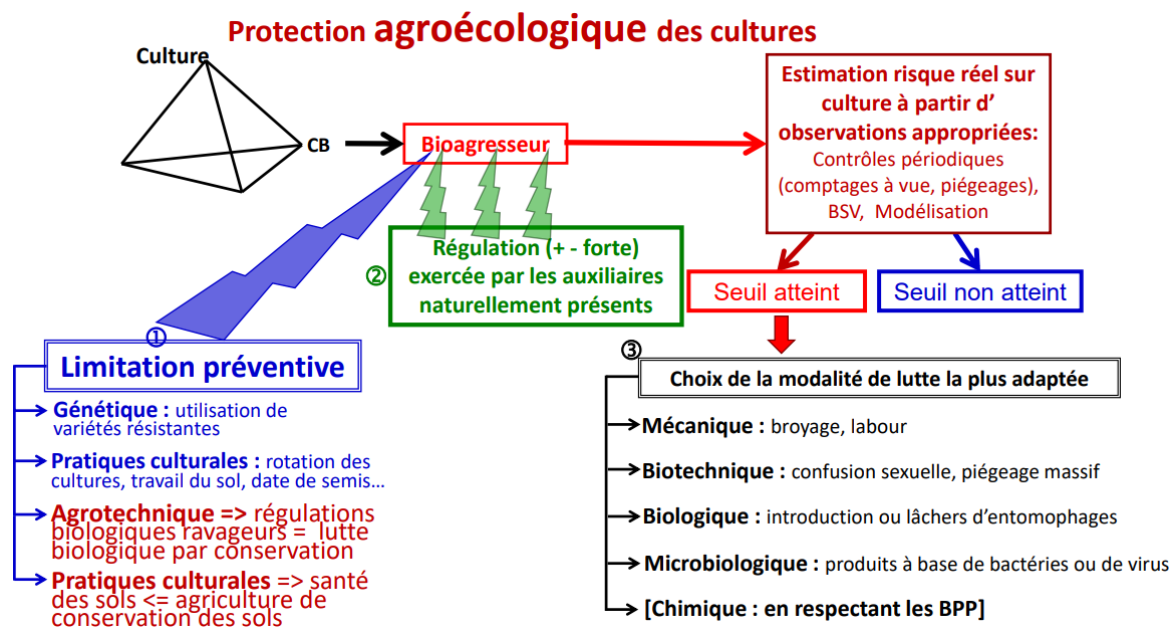
Le **Spinosad**, est un (bio)insecticide à large spectre, non-systémique et agissant par contact et ingestion (sagepesticides.qc.ca). La matière active est issue de la synthèse naturelle de deux toxines, les spinosyne A et D, par une bactérie du sol : *Saccharopolyspora spinosa*. Le spinosad n'est pas considéré comme persistant et il se dégrade rapidement en spinosyne B. La molécule et ses dérivés sont faiblement mobiles vers les eaux souterraines et s'hydrolysent progressivement (ANSES, 2011) mais il demeure hautement toxique dans les eaux de surfaces et les sédiments (EFSA, 2018). Le risque sanitaire pour les applicateurs est considéré suffisamment faible pour que l'ANSES juge acceptable le non-port d'équipement de protection (ANSES, 2011).

Le Spinosad est réputé pour avoir une faible toxicité sur les auxiliaires tout en étant très efficace contre les ravageurs (not. Les lépidoptères) et se dégradant rapidement dans l'environnement (DeAmicis et al., 1997 ; Kirst et al., 1992 ; Cisneros et al., 2002). Sa nocivité moindre par rapports aux pesticides usuel a par exemple été mise en évidence en le comparant à des organophosphoré mais sa elle reste supérieure à d'autres insecticide biologiques (Cisneros et al., 2002). Par ailleurs, **sa faible toxicité pour la biodiversité non-cible est remise en cause par des études plus récentes** (Santos et Pereira, 2020). Les études s'accordent par exemple pour montrer un effet du Spinosad sur les forficules (Cisneros et al., 2002 ; Foutain, Harris, 2015) ou les punaises prédatrices (Santos-Junior et al., 2019). Selon l'EFSA, les études sont lacunaires pour pouvoir se prononcer sur la nocivité ou non du Spinosad sur les oiseaux (supposé actuellement comme faible risque aigu et à long terme), les mammifères (plutôt faible toxicité aigu selon Yano et al., 2002) , les organismes aquatiques (les connaissances actuelles tendent vers un risque aigu et chronique élevé), les abeilles, bourdons et abeilles solitaires (trop peu d'études, résultats non exploitables), arthropodes non-ciblés (faible à haut risque selon les études). Etant peu mobile dans le sol, les organismes et la flore non-cible sont toutefois peu affectés.

Par ailleurs, certains phénomènes de résistances au Spinosad ont été étudiés chez *Drosophila melanogaster*, *Frankliniella occidentalis*, *Thrips palmi* et *Tuta absoluta* (Chaabane et al., 2012). Confirmant que c'est un risque à prendre en compte en cas d'usage systématique de cette molécule dans la lutte de la mouche du brou. La combinaison de Spinosad et d'une hormone de croissance, la pyriproxyfen, permet une synergie rendant possible l'utilisation de ce produit de manière fréquente tout en limitant l'apparition de résistances chez le moustique *Aedes Aegypti* (Darriet et al., 2010). L'usage d'un tel mélange biolarvicide n'est toutefois pas possible en agriculture en France aujourd'hui. Enfin, l'ajout d'appât alimentaire, comme dans le SYNEIS Appât ou équivalent, rend son usage approprié pour la protection intégrée (Mayes et al., 2003 ; Van Steenwyk et al. 2003) car il diminue la concentration de la substance active et surfaces traitées nécessaire. Par rapport au SUCCESS 4, le SYNEIS Appât, limite l'exposition de la plupart des organismes non-cibles (ANSES, 2011). Aux USA, la combinaison d'appâts alimentaire (type hydrolats de protéines) est utilisée depuis les années 60' avec succès (Barnes et Ortega 1958, 1959). L'appât rentre en synergie avec la plupart des insecticides permettant d'utiliser un plus large choix de molécules telles que les pyréthrinoides, fenvalérate et perméthrine (Hislop et al., 1981).

XIV. SCHÉMAS EXPLICANT LES DIFFÉRENCES ENTRE LUTTE RAISONNÉE, PROTECTION INTÉGRÉE ET PROTECTION AGROÉCOLOGIQUE DES CULTURES





(D'après Jean-Pierre SARTHOU, 2021-2022, « Protection Intégrée des Cultures », support de cours, INP-ENSAT /INRAE UMR AGIR, 87 p.)

XV. TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES DES PARCELLES DE L'ESSAI

Code_parcelle	Type_Agri	Variete_PorteGr effe	Age (an)	Surface (ha)	Sol	Irrigation	Couvert	Gestion_Enher bement	Fertilisation NPK_kg/ha	Traitement_Ca rpo	nb_soleil_ cleflo
A1	AB	Fernor_Regia	8	1.4	Fluviosol	Microaspersion	Spont_ras	Broyage			
ATemoin	AB	Fernor_Regia	8	1.3	Fluviosol_sable	Microaspersion	Spont_ras	Broyage			
G1	Conventionnelle	Franquette_Regia	14	1.3	Fluviosol_sable	GaG	Spont_ras	Glypho_broyage		Confirm?	1
GTemoin	Conventionnelle	Franquette_Regia	24	1.3	Fluviosol_sable	GaG	Spont_ras	Glypho_broyage			1
P1	AB	Franquette_Regia	28	2.2	Fluviosol_sable	Microaspersion	Gramines_Fever	Broyage			1
PTemoin	AB	Franquette_Regia	28	0.8	Fluviosol_sable	Microaspersion	Gramines_Fever	Broyage			1

XVI. PLANS DES PARCELLES AVEC LES MODALITÉS DE L'ESSAI

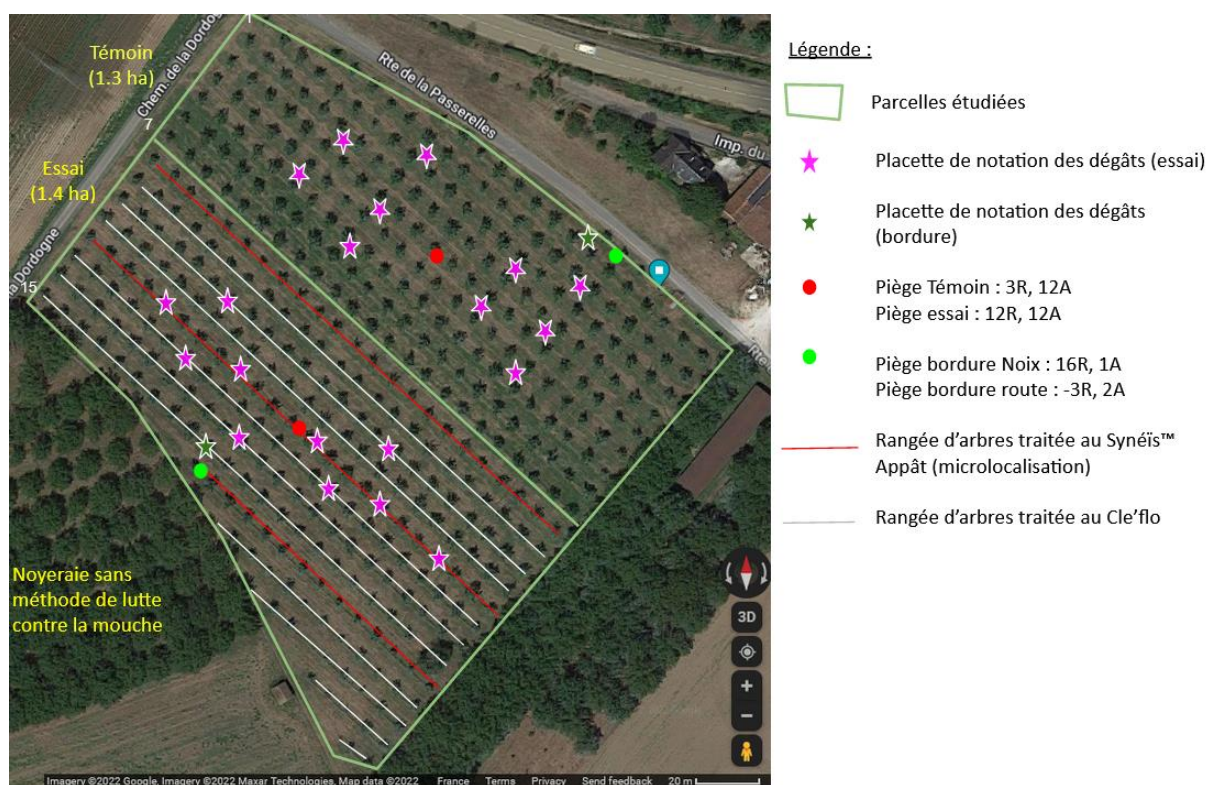
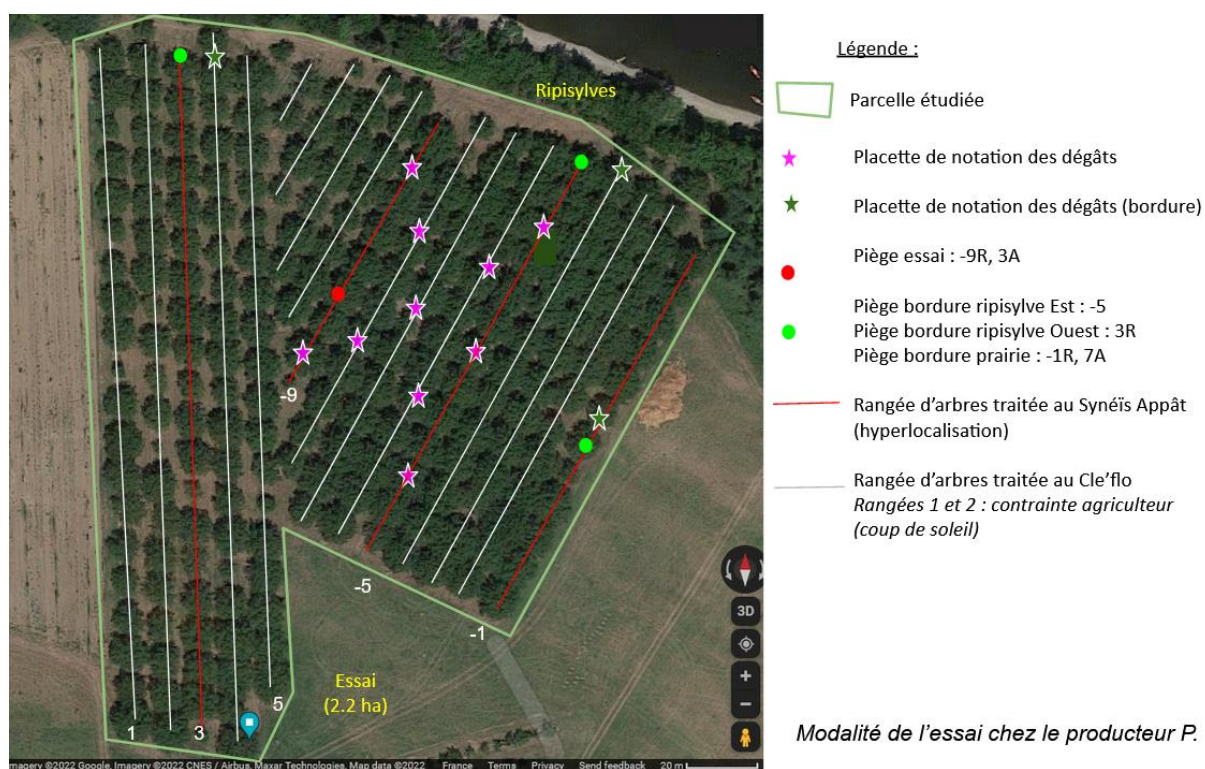
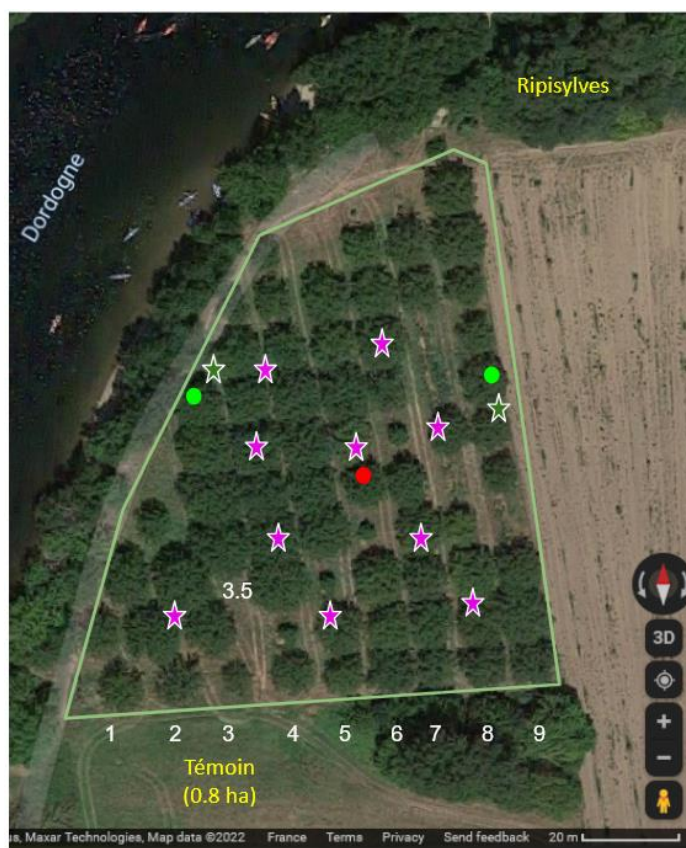


Figure 4 : modalité de l'essai chez le producteur A. (© Vrael BERNARD)



Modalité de l'essai chez le producteur P.



Légende :

- Parcelle étudiée
- ★ Placette de notation des dégâts
- ★ Placette de notation des dégâts (bordure)
- Piège essai : 4R, 5A
- Piège bordure ripisylve Ouest : 3.5R, der.A
Piège bordure prairie : 9R, 6A

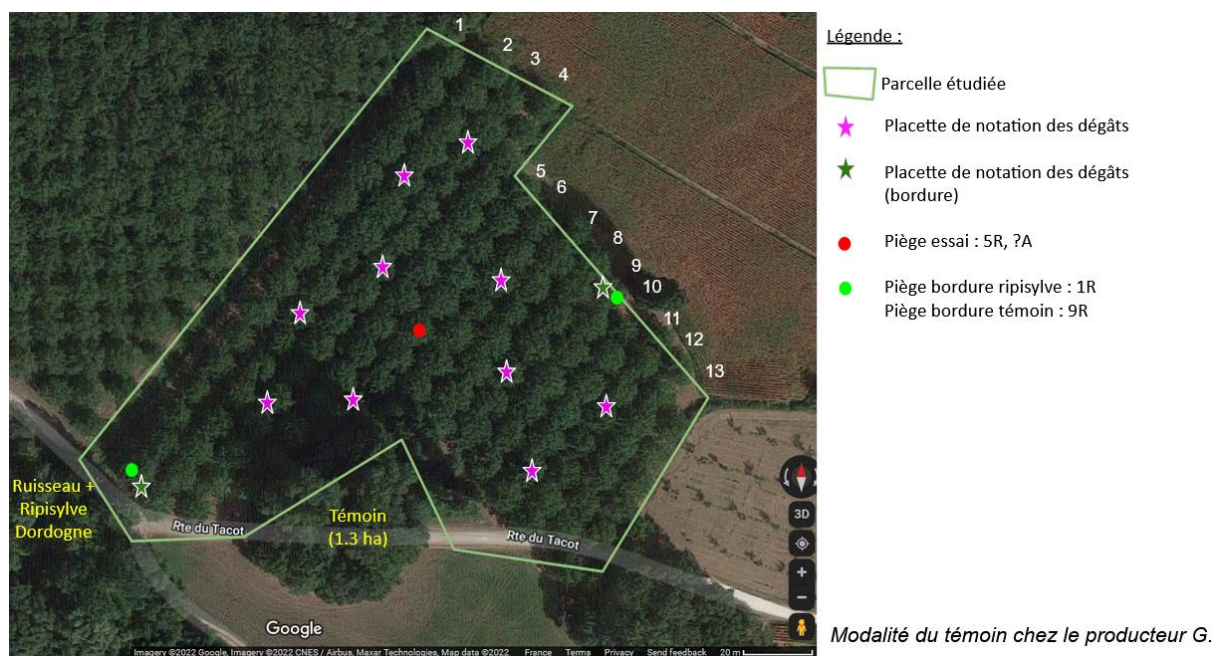
Modalité du témoin chez le producteur P.



Légende :

- Parcelle étudiée
- ★ Placette de notation des dégâts
- ★ Placette de notation des dégâts (bordures)
- Piège essai : 5R, 6A
- Piège bordure ripisylve : 1R, 1A
Piège bordure témoin : 9R, derA
(moyens non en production à côté)
- Rangée d'arbres traitée au Synéis Appât (hyperlocalisation)
- Rangée d'arbres traitée au Cle'flo

Modalité de l'essai chez le producteur G.



XVII. FICHE TECHNIQUE COMPLETA PRO DROP®

Completa Pro Drop®



SOLUTION DE PIÉGEAGE A BASE DE PHEROMONE

Cette solution combine un piège Sticky et un diffuseur de phéromone pour capturer les mâles adultes de la mouche du brou

La mouche du brou (*Rhagoletis completa*)

Plantes hôtes : La mouche du brou est une espèce présumée oligophage qui se nourrit de différentes espèces de noyers (*Juglans* sp.) telles que le noyer commun ou le noyer noir. Cependant, elle a également été rapportée sur pêcher.

Stade ravageur : Larve

Stade ciblé : Adulte (mouche mâle)

Emergence : juillet (varie selon les conditions climatiques)

Nombre de générations : 1 génération par an

1 femelle peut pondre entre 300 et 400 œufs par saison. Ils sont pondus par groupe de 20 œufs/fruit

Reconnaissance du ravageur :

Adulte : 4 - 6,5 mm de long ; point jaune sur le thorax, ailes transparentes avec 3 bandes brun foncé, la dernière étant en forme de L et commençant au bord de l'aile

Chenille : jusqu'à 6 mm ; de couleur blanc jaunâtre, groupées dans le fruit

Reconnaissance des dégâts : coloration de la coque et noircissement des noix provoquant une chute prématurée de ces dernières.



Adulte *R. completa*

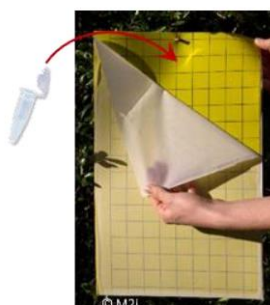


Dégât sur noix

Mode d'emploi

Utilisation : tube Completa Pro Drop® + Sticky trap

Installation : Décoller le film de la plaque adhésive. Ouvrir le tube contenant la phéromone. Placer/attacher le tube ouvert sur la plaque collante. Les mouches attirées par la phéromone viennent se coller à la plaque engluée.



Completa Pro Drop®



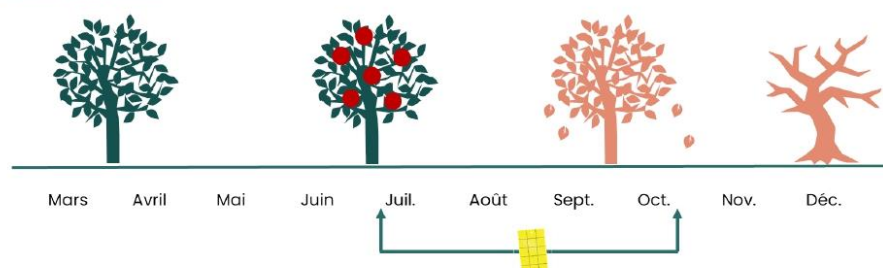
Caractéristiques du Completa Pro Drop®

Type de produit	Diffuseur de phéromone sexuelle
Conditionnement	Tube
Usage	Détection / Monitoring
Substance active	δ-Heptalactone
Poids de formulation	100 mg
Durée indicative de diffusion*	12 semaines
Rayon de diffusion estimé	Mouches attirées sur un rayon de 10 m

* selon les conditions climatiques, pour une température moyenne de 30 °C et en l'absence de vents forts.

Mise en place de la détection

Période de détection : De juillet à octobre



Positionnement du piège : Suspendu dans la canopée de l'arbre (dans le tiers supérieur du feuillage)

Densité recommandée pour du monitoring : 2 à 3 pièges / ha

🔍 Stratégie de détection : le monitoring par phéromones

Les phéromones sont des substances secrétées par l'insecte qui agissent comme un message entre les individus d'une même espèce. Il existe différents types de phéromones : d'alarme, d'agrégation, sexuelles... Le monitoring par phéromones sexuelles est basé sur la mise en place d'un leurre mimant cette substance émise par la femelle à l'intérieur d'un piège. Le leurre attire les mâles qui sont alors capturés. Cela permet d'une part de détecter l'arrivée du ravageur et de suivre son niveau d'infestation. Dans les cas de forte pression, cela donne également la possibilité de déclencher à temps une intervention curative et/ou de mesurer l'efficacité d'un traitement.

🔍 Avantages

Cette méthode est efficace, **sélective et inoffensive pour la faune, la flore, les opérateurs et les riverains**. Elle ne génère pas de résidus ni d'intrants ou encore de résistance. Elle est également compatible avec la loi Labbé et les **labels d'agriculture biologique**.

🔍 Recommandations / Sécurité



Conserver hors de portée des enfants.
Conserver à l'écart des animaux domestiques.
Conserver à l'écart des aliments et boissons.
Conserver dans son emballage d'origine et respecter les usages, doses, conditions et précautions d'emploi mentionnés. Ne pas congeler.
Ne pas manger, ne pas boire et ne pas fumer pendant l'utilisation. Se laver les mains après manipulation.
Jeter les emballages vidés et rincés dans la poubelle ménagère.

🔍 Premiers soins



En cas de contact avec les yeux, rincer à l'eau par mesure de précaution.
En cas de contact avec la peau, laver avec beaucoup d'eau.
En cas d'ingestion, ne pas faire vomir, rincer la bouche et consulter un médecin.
En cas de malaise, consulter un médecin et lui présenter l'étiquette.

XVIII. FICHE TECHNIQUE DU CLE'FLO

CRÈME D'ARGILE

Cle'flo



Crème d'Argile

ÉCRAN PHYSIQUE

ORIGINE PÉRIGORD



Utilisable **BIO**
en agriculture biologique
RÈGLEMENT CE N°834/2007

VIGNE

ARBORICULTURE

MARAÎCHAGE

- ✓ Faible abrasivité sur les pompes.
- ✓ Facilité d'utilisation.
- ✓ Absence de coloration sur le végétal.
- ✓ Non classé.

• ARGILE : 43 % - 600 g/L

 **GAMME**
Nutrition & Biostimulation

CRÈME D'ARGILE

Cle'flo respecte le matériel de pulvérisation. Faible abrasivité sur les pompes.

ESSAIS MENÉS
PAR SOLHEAD

1 Observation de l'abrasivité sur une pompe centrifuge :

Usure sur pompe avec une Argile WP



Presse étoupe
de la pompe qui
a lâché au bout
de 120h de
fonctionnement.



Frottement
de la turbine
sur le corps.



Dépôt
résiduel.

Usure sur pompe avec Cle'flo



Pas de dépôt,
pas de frottement.
360h de
fonctionnement
continu. RAS.



2 Observation de l'abrasivité sur une pompe à piston-membrane

Usure sur pompe avec une Argile WP

Usure de la membrane
(forme arrondie prononcée)
non percée mais
bien entamée.

Creux de 0,95 mm
Épaisseur de 1,60 mm



Dépôt de membrane
sur le corps du piston



Usure sur pompe avec Cle'flo

Membrane comme neuve

Creux de 0,55 mm
(comme neuf = 0,5 mm)

Épaisseur de 1,60 mm



Dépôt de membrane
inexistant sur le corps
du piston

Recommandations d'usages pour Cle'flo

Cultures	Cibles	Doses	Commentaires	Volumes min. de bouillie
Vigne, Maraîchage	Écran physique / Insectes	10 L	En association avec un produit de protection des plantes.	100 L
Vigne, Maraîchage	Écran physique / Insectes	20 L	Applications solo.	200 L
Arboriculture	Écran physique / Insectes	10 L	En association avec un produit de protection des plantes.	300 L
Arboriculture	Écran physique / Insectes	20 L	Applications solo.	300 L

Renouveler les applications toutes les 3 semaines maximum ou après 20 mm de pluie ou en fonction de la pousse.
Produit préventif, appliquer le produit au début de la période à risque.

ATTENTION : NE PAS APPLIQUER Cle'flo PENDANT LA PÉRIODE DE FLORAISON DE LA CULTURE. NE PAS APPLIQUER Cle'flo SUR LA PRODUCTION EN POST RÉCOLTE

Très bonne synergie de l'association
de Cle'flo avec **Limocide / Essen'ciel /**
Auren'ciel / Limoil (AMM 2090127)



CONDITIONS D'EMPLOI : PRÉPARATION DE LA BOUILLIE : Retirer le sac du carton, éventrer le sac côté opposé au bouchon et transférer la quantité nécessaire de Cle'flo dans la cuve du pulvérisateur au ¼ d'eau remplie. Terminer le remplissage. Ajouter Cle'flo en premier dans la cuve. Maintenir l'agitation tout au long du processus. Ne pas dépasser la concentration de 10% de Cle'flo dans la cuve. **CONSEIL DE TRAITEMENT :** Produit compatible avec la plupart des produits de protection des plantes et de nutrition des plantes. En cas de nouveau mélange, réaliser un test préalable et/ou se renseigner auprès de la société distributrice. Cle'flo est un produit de contact, l'efficacité de ce produit dépend grandement de la qualité de la pulvérisation.

Distributeur : VIVAGRO
INFORMATIONS
TOXICOLOGIQUES :
NON CLASSÉ

CONDITIONNEMENT :
10 L.

Vivagro
la nature au service
de vos cultures

WWW.VIVAGRO.FR

XIX. FICHE TECHNIQUE DU SYNEIS APPÂT

Biologie de la mouche des fruits

En Corse, les premières mouches méditerranéennes des fruits ou cératites (*Ceratitis capitata*) émergent au mois de juin à partir des pupes qui ont hivernées dans le sol. Les femelles pondent dans les fruits des premières cultures attractives (abricot, pêche). Selon la précocité de l'année, il peut y avoir entre 2 et 5 générations de cératites par an.



Dégâts

Les dégâts occasionnés se caractérisent sur agrumes par une dépigmentation circulaire du zeste à l'endroit de la piqûre ou de la zone de ponte suivie du développement d'asticots dans les fruits, entraînant leur chute.

La mouche méditerranéenne des fruits revêt une importance économique considérable, causant jusqu'à la perte de 50% de la récolte.

Comment raisonner la lutte avec Syneïs™ APPÂT

LE PIÉGEAGE :

Il est essentiel de surveiller les abords de la parcelle et de la quadriller avec des pièges alimentaires afin de détecter les premiers adultes.

Le déclenchement de la première application se fait dès l'apparition des premières mouches.

CLÉMENTINIERS PRÉCOCES :

L'installation des pièges est réalisée vers mi-août.

La première application est réalisée dès les premières captures. Le délai de renouvellement entre les 2 premières applications est de 10 jours, puis de 7 jours pour les 2 applications suivantes.

CLÉMENTINIERS DE SAISON :

L'installation des pièges est réalisée vers mi-septembre.

La première application est réalisée dès les premières captures. Le délai de renouvellement entre les 2 premières applications est de 10 jours, puis de 7 jours pour les 2 applications suivantes.

En cas de lessivage par une pluie supérieure à 10 mm, renouveler l'application.

Cadence des traitements dès les premières captures



Une formulation appât innovante

Syneïs™ APPÂT est un insecticide de Biocontrôle⁽¹⁾ à base de spinosad, utilisable en Agriculture Biologique⁽²⁾ pour lutter contre les mouches ravageurs. **Syneïs™ APPÂT** se présente sous la forme d'un appât optimisé pour son attractivité et sa persistance. Sa technique d'application est innovante car chaque goutte de pulvérisation se comporte comme un piège miniature.

La formulation de **Syneïs™ APPÂT** est un concentré liquide prêt à l'emploi contenant 0,24 g/litre de spinosad. L'appât contient des protéines végétales et des sucres qui attirent les mouches ainsi que des humidifiants qui augmentent sa persistance et sa longévité sur le végétal.

⁽¹⁾ Selon la liste établie au titre des articles L. 253-5 et L.253-7 du code rural.
⁽²⁾ Selon le règlement (CE) n°2018/848.



Très faible dose de matière active par hectare.



Insecticide spécifique des mouches.



Sélectif de la faune auxiliaire : ne favorise pas la prolifération de ravageurs secondaires (voir tableau ci-dessous).



Pas de résidu dans les fruits.

Efficacité des auxiliaires contre différents ravageurs en vergers d'agrumes :

RAVAGEURS AUXILIAIRES	Pucerons <i>Taxoptera auranti</i> , <i>Aphis citricola</i>	Psylles <i>Trioza erythraea</i> , <i>Diuraphis citri</i>	Cochenilles <i>Aonidiella auranti</i> , <i>Chrysomphalus aonidum</i> , <i>C. dictyospermi</i> , <i>Mytillococcus beckii</i> , <i>Icerya purchasi</i> , <i>Pseudococcus spp.</i>	Mouche <i>Ceratitis capitata</i>	Acariens <i>Phyllocoptruta oleivora</i> , <i>Acara sheldoni</i>
Coccinelles					
Syrphes					
Chrysopes					
Punaises					
Forficules					
Acariens prédateurs					
Araignées					
Hyméno parasites					

 Efficacité potentielle importante

 Efficacité potentielle faible

Mode d'action

Le spinosad, substance active de **Syneïs™ APPÂT**, est obtenu par un procédé naturel de fermentation de la bactérie du sol *Saccharopolyspora spinosa*.

Syneïs™ APPÂT est très attractif sur mouches et stimule leur prise alimentaire. Le spinosad lui confère une excellente efficacité insecticide en agissant par contact et ingestion.

Usages et doses autorisés sur cultures d'agrumes

(clémentinier, pomelos, orange, kumquat)
contre la mouche des fruits

Dose	1,5 L/ha
Stade et période d'application autorisés	BBCH 79 à 87 août - novembre / mars - mai
DAR	3 jours
ZNT	5 m
DRE	6 heures
Nombre maximum d'applications par an	4
Intervalle minimum entre applications	Entre la 1 ^{re} et la 2 ^{ème} application : 10 jours Entre les applications suivantes : 7 jours

LMR agrumes : 0,02 mg / kg.

Syneis APPÂT n'est pas attractif pour les abeilles.

Recommandations pratiques d'emploi

Syneis APPÂT s'utilise **en préventif**, en début de vol des adultes, afin d'empêcher les pontes dans les fruits.

L'appât insecticide **s'utilise seul** et ne doit pas être mélangé avec une autre spécialité phytosanitaire.

La formulation de **Syneis** APPÂT est destinée à être appliquée **en pulvérisation localisée**, après dilution dans l'eau.

Le volume de bouillie à utiliser est de 15 à 30 litres à l'hectare.

Pour une efficacité optimale de **Syneis** APPÂT, nous recommandons de raisonner la lutte sur une surface importante (minimum 5 hectares), incluant des parcelles d'agrumes. Traiter des arbres isolés présente le risque d'attirer et de concentrer les ravageurs sur une surface restreinte.

Utiliser une buse à injection d'air ou antidérive à fente 110° **à faible pression** (2 bars) afin de générer des gouttes de 4 à 6 mm de diamètre : ces gouttes se comportent chacune comme des mini pièges à mouches dans les arbres.

- **Application avec un pulvérisateur tracté** : régler le pulvérisateur afin d'obtenir un débit de la buse de 4 à 5 litres/minute.
- **Application à dos** : traiter chaque arbre avec une bouillie à 5% de **Syneis** APPÂT en générant des gouttes de 4 à 6 mm.

Exemple : 1 litre de **Syneis** APPÂT dans 20 litres d'eau.

Quel que soit le type d'application, **Syneis** APPÂT doit être appliqué **sur la face sud et sur la partie supérieure des arbres**.

Non Documenté. NC - Non Classé ; EUH401 - Respectez les instructions d'utilisation pour éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement ; EUH208 - Contient 1,2-Benzisothiazolin-3-one. Peut produire une réaction allergique. NC - Non Classé.

Syneis APPÂT : CB - concentré pour préparation d'appât, contenant 0,24 Grammes par litre de Spinosad (substance active brevetée et fabriquée par Dow AgroSciences). AMM N° 2040130 - Dow AgroSciences SAS. Responsable de la mise en marché : Dow AgroSciences Distribution S.A.S., 101 avenue du 8 mai 1945 - Bâtiment Equinox II, 78280 Guyancourt. N° d'agrément PA00272 - Distribution de produits phytopharmaceutiques à des utilisateurs professionnels.  N° vert 800 419 810. ®TM Marques déposées de Dow AgroSciences, DuPont ou Pioneer et sociétés affiliées ou leurs propriétaires respectifs.

Avant toute utilisation, assurez-vous que celle-ci est indispensable. Privilégiez chaque fois que possible les méthodes alternatives et les produits présentant le risque le plus faible pour la santé humaine et animale et pour l'environnement, conformément aux principes de la protection intégrée, consultez <http://agriculture.gouv.fr/ecophyto>. Pour les usages autorisés, doses, conditions et restrictions d'emploi : se référer à l'étiquette des produits et/ou sur www.phytodata.com.

XX. DONNÉES BRUTES DE COMPTAGES DE DÉGÂTS

Prod.	Modalité	Dégât	Producteur	Modalité	Dégât
A.	Témoin	1	G.	Témoin	6
		1			5
		0			5
		0			6
		0			4
		1			5
		6			7
		0			3
		1			5
		0			6
	Essai	1		Essai	4
		0			3
		0			3
		1			3
		5			3
		0			3
		0			5
		0			4
		1			6
		0			0
	Bordure route	0		Bordure champ (parcelle Témoin)	2
		0			2
		0			1
		1			1
	Bordure noyeraie	0		Bordure ripisylve (parcelle Témoin)	2
		0			2
		0			2
		0			2
P.	Témoin	2		Bordure noyeraie (parcelle Essai)	0
		3			2
		1			2
		1			2
		2		Bordure ripisylve (parcelle Essai)	0
		2			5
		1			3
		2			2
		0		Bordure champ et ripisylve 1 et ripisylve 2 (parcelle Essai)	0
		2			5
	Essai	0			3
		0			2
		1		Bordure noyeraie (parcelle Essai)	0
		1			2
		2			2
		1			2
		3		Bordure ripisylve (parcelle Essai)	0
		2			5
		4			3
		1			2
	Bordure champs (parcelle Témoin)	2			2
		0			2
		0			2
		1			2
	Bordure ripisylve (parcelle Témoin)	1			0
		2			5
		0			3
		0			2

XXI. DONNÉES BRUTES DU SEX-RATIO

Date	FEMELLES	MALES
01-juil	4	0
05-juil	12	5
08-juil	26	14
13-juil	109	64
15-juil	75	52
19-juil	144	75
22-juil	69	43
26-juil	54	41
29-juil	40	30
01-août	71	54
05-août	93	69
09-août	97	68
12-août	83	43
17-août	65	69
19-août	29	32
22-août	38	34
26-août	30	35
29-août	45	68
01-sept	19	41
06-sept	51	67

XXII. SORTIES GRAPHIQUES DU MODÈLE INOKI

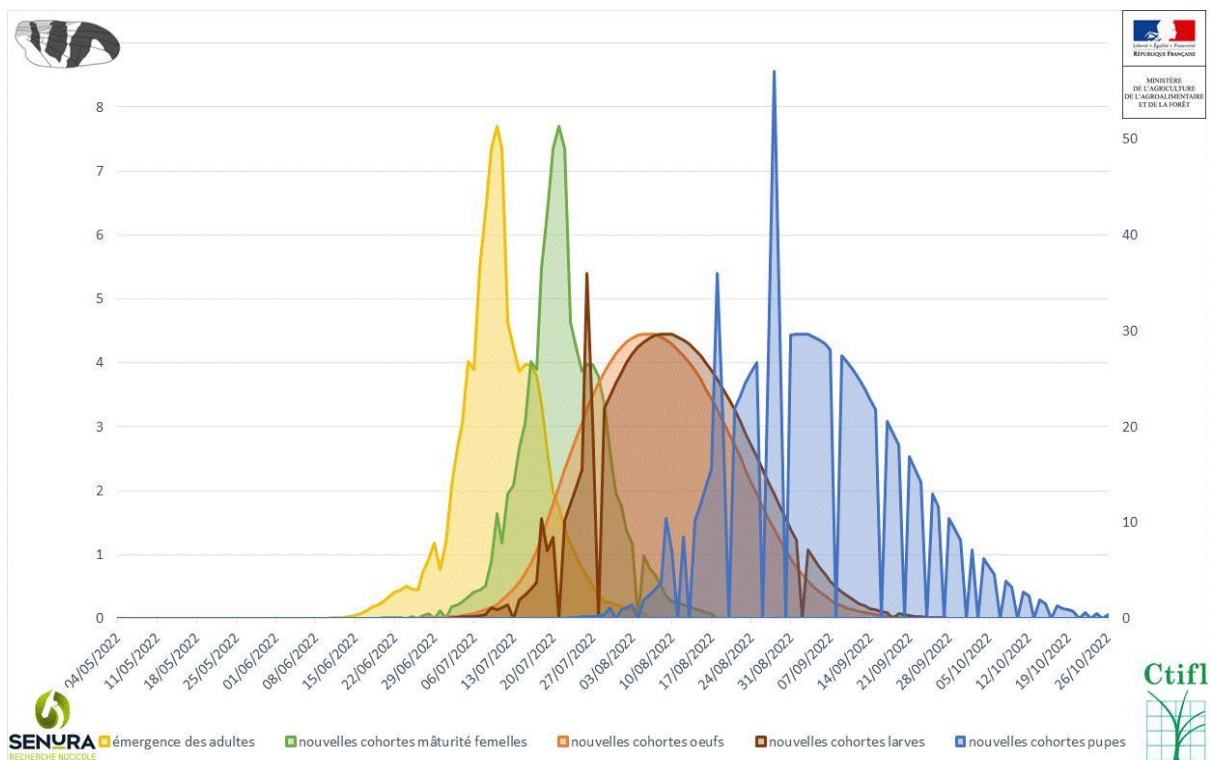


Figure 5 : Modélisation INOKI pour Monbazillac (© Vrael BERNARD)

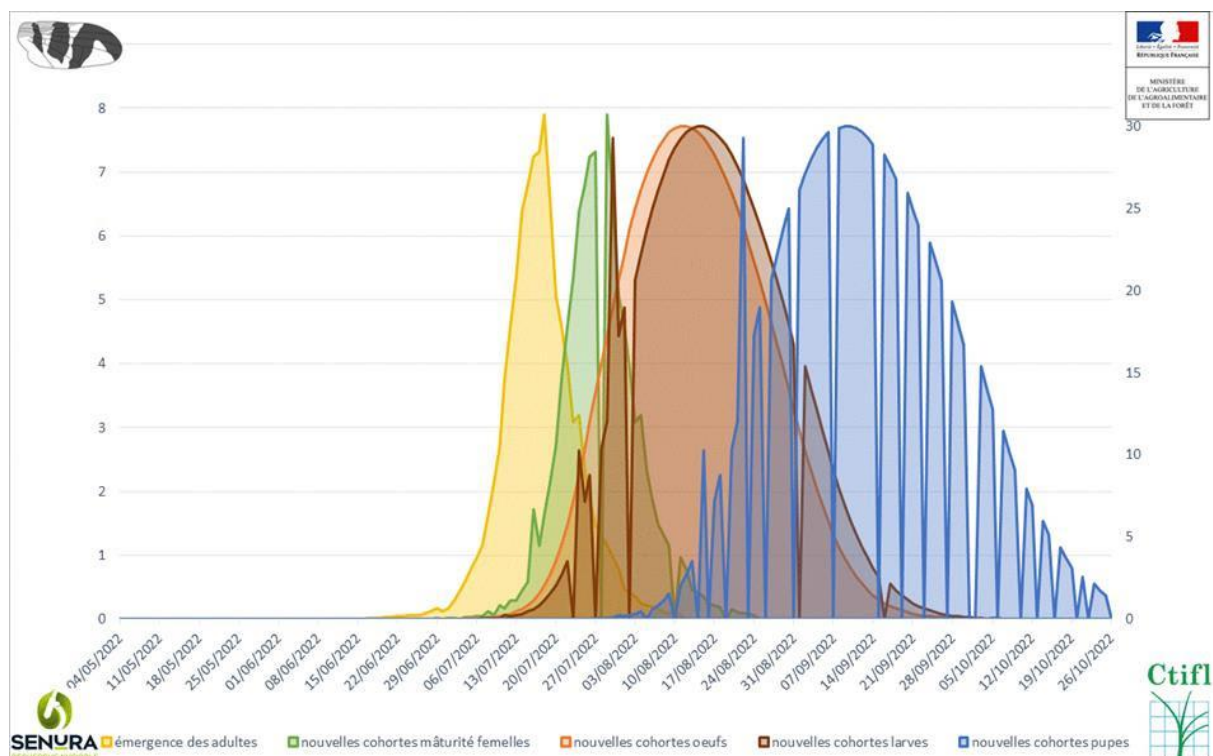


Figure 6 : Modélisation INOKI pour Creysse (© Eloïse TRANCHAND)

XXIII. EXEMPLE DE CALCUL DU SEUIL D'INTERVENTION

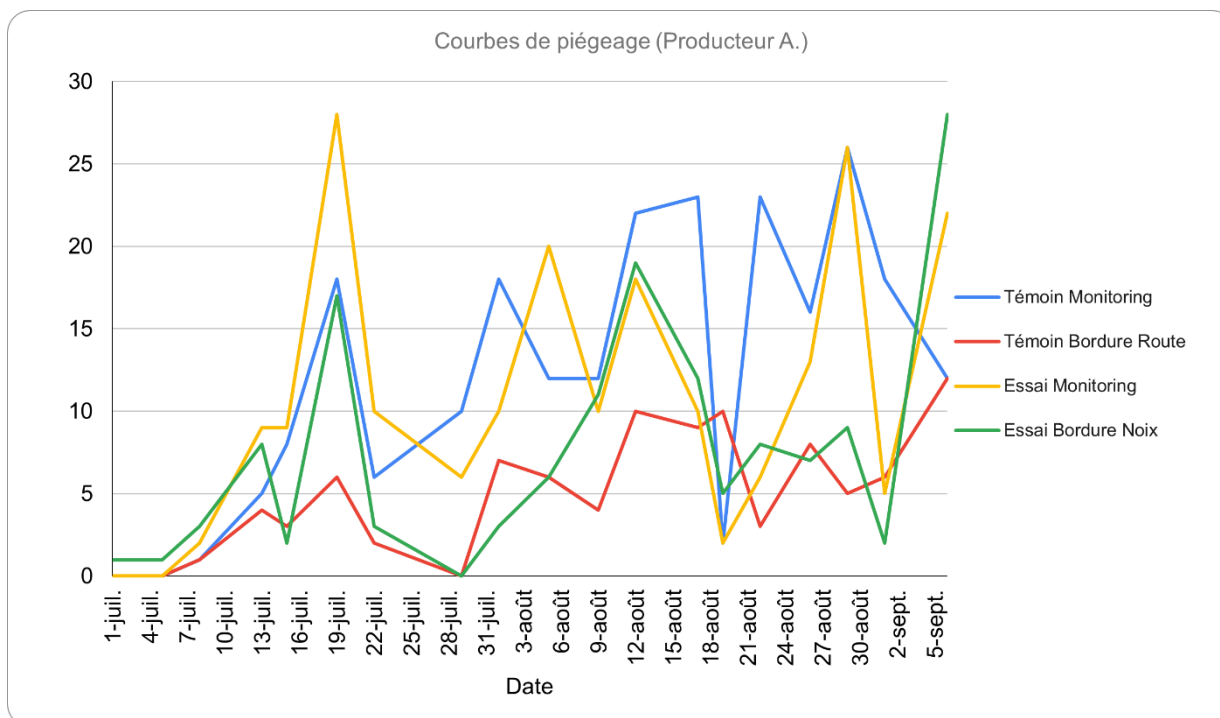
SEUIL ESSAI					SEUIL TEMOIN				
01/07	12	13	8	3	01/07	0	1	0	
05/07	9	12	12	6	05/07	5	4	2	
08/07	1	11	3	7	08/07	5	6	0	
TOTAL	22	36	23	9	TOTAL	10	11	2	
soit	90	divisé par 4	22,5		soit	23	divisé par 3	7,66666667	
SEUIL ESSAI					SEUIL TEMOIN				
05/07	4	0	0	0	05/07	5	4	2	
08/07	12	4	4	1	08/07	5	6	0	
13/07	31	8	20	8	13/07	35	36	3	
TOTAL	47	12	24	9	TOTAL	45	46	5	
soit	92	divisé par 4	23		soit	96	divisé par 3	32	
SEUIL ESSAI					SEUIL TEMOIN				
08/07	12	4	4	1	08/07	5	6	0	
13/07	31	8	20	8	13/07	35	36	3	
15/07	18	18	19	3	15/07	26	13	5	
TOTAL	61	30	43	9	TOTAL	66	55	8	
soit	143	divisé par 4	35,75		soit	129	divisé par 3	43	
SEUIL ESSAI					SEUIL TEMOIN				
13/07	31	8	20	8	13/07	35	36	3	
15/07	18	18	19	3	15/07	26	13	5	
19/07	16	14	22	8	19/07	43	32	9	
TOTAL	65	40	61	9	TOTAL	104	81	17	
soit	175	divisé par 4	43,75		soit	202	divisé par 3	67,33333333	
SEUIL ESSAI					SEUIL TEMOIN				
15/07	18	18	19	3	15/07	26	13	5	
19/07	16	14	22	8	19/07	43	32	9	
22/07	10	19	9	5	22/07	14	12	12	
TOTAL	44	51	50	9	TOTAL	83	57	26	
soit	154	divisé par 4	38,5		soit	166	divisé par 3	55,33333333	

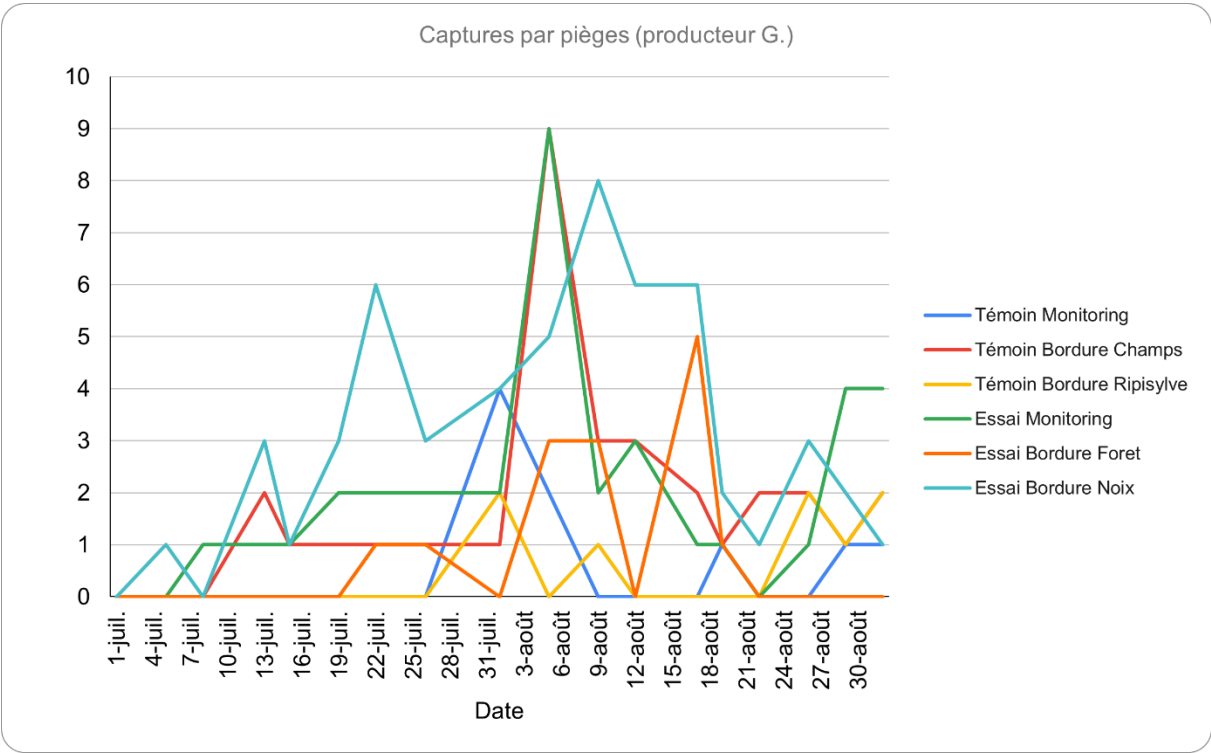
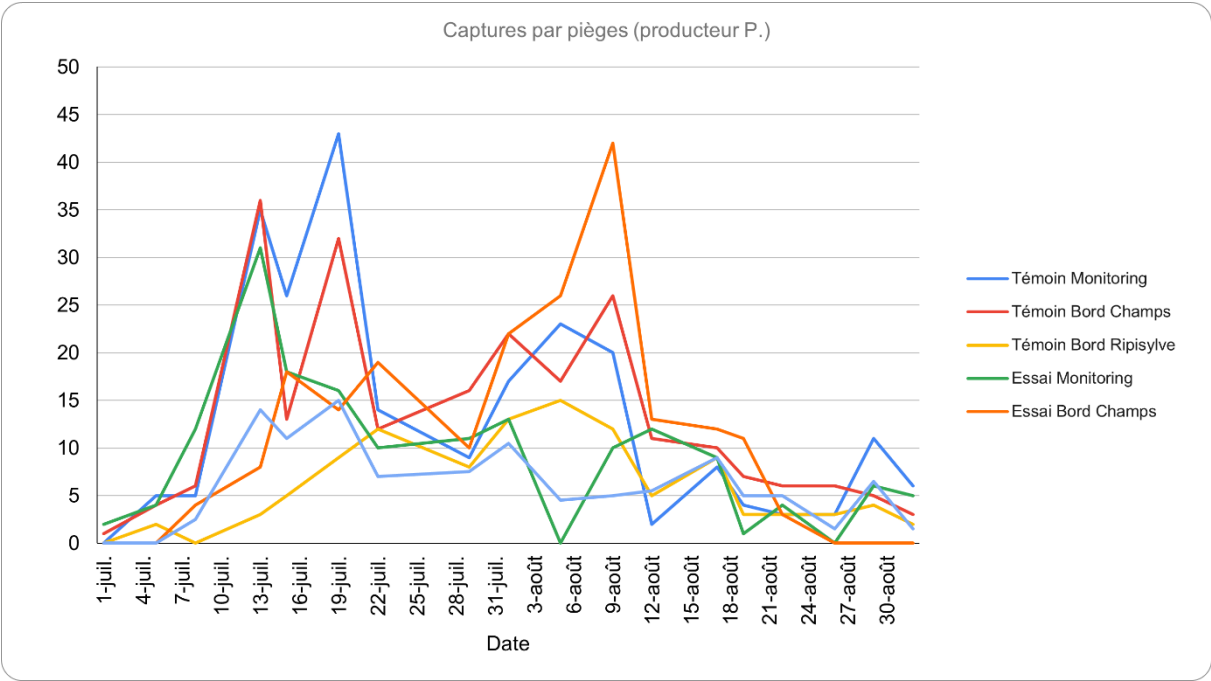
Figure 7 : Extrait de la table de calcul pour le producteur P.

SEUIL ESSAI			SEUIL TEMOIN		
01/07	0	1	01/07	12	6
05/07	0	1	05/07	12	4
08/07	2	3	08/07	22	10
TOTAL	2	5	TOTAL	46	20
Soit	7 divisé par 2	3,5	Soit	66 divisé par 2	33
SEUIL ESSAI			SEUIL TEMOIN		
05/07	0	1	05/07	0	0
08/07	2	3	08/07	1	1
13/07	9	8	13/07	5	4
TOTAL	11	12	TOTAL	6	5
Soit	23 divisé par 2	11,5	Soit	11 divisé par 2	5,5
SEUIL ESSAI			SEUIL TEMOIN		
08/07	2	3	08/07	1	1
13/07	9	8	13/07	5	4
15/07	9	2	15/07	8	3
TOTAL	20	13	TOTAL	14	8
Soit	33 divisé par 2	16,5	Soit	22 divisé par 2	11
SEUIL ESSAI			SEUIL TEMOIN		
13/07	9	8	13/07	5	4
15/07	9	2	15/07	8	3
19/07	28	17	19/07	18	6
TOTAL	46	27	TOTAL	31	13
Soit	73 divisé par 2	36,5	Soit	44 divisé par 2	22

Figure 8 : Extrait de la table de calcul pour le producteur A.

XXIV. COURBES DE VOL DE L'ENSEMBLE DES PIÈGES DE MONITORING





XXV. DÉBUT DE L'ENQUÊTE POST-CAMPAGNE IMAGINÉE EN VUE DE L'ÉTUDE SUR LA MULTIPERFORMANCE

ENQUÊTE POST CAMPAGNE : MULTIPERFORMANCE

L'un des concepts mis en avant par ECOPHYTO est l'analyse multicritères des systèmes (Ecophytopic.fr). Ce document présente le début de la trame pensée pour l'enquête post-campagne visant à étudier la multiperformance de la stratégie par push-pull et attract-and-kill telle que mise en place durant les essais 2022. Sa multiperformance étant comparée au témoin « référence producteur », différent pour les trois et pourquoi pas comparer ensuite à une référence nationale représentant la lutte « type » contre la mouche. La difficulté réside dans le choix d'indicateurs objectifs et comparables pour définir chaque type de performance tout en mettant en avant la singularité de la stratégie de lutte alternative.

PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

- Quantité de matière active utilisée entre les témoins et l'essai, pour chacun des trois agriculteurs et par rapport à l'usage en plein du SYNEIS Appât (chiffre en g/ha)
- Calcul de l'IFT lié à la lutte contre la mouche du brou entre les témoins et l'essai (chiffre sans unité)
- Nocivité des produits utilisés (IMIDAN, DECIS TRAP MB, SUCCESS 4, SYNEIS Appâts, produits à base d'argile) pour les auxiliaires (dont rémanence) (chiffre sans unité, basé sur un classement de la nocivité des produits grâce à la bibliographie*).
- Nocivité des produits utilisés sur la qualité de l'eau (*)
- Nocivité des produits utilisés sur la qualité du sol (vie du sol, pH, ...) (*)
- Impact de la fabrication des produits utilisés (en s'inspirant d'une Analyse de Cycle de Vie) ex : impact de l'extraction de l'argile par rapport à la synthèse chimique de l'insecticide (classement des produits selon les critères)
- Tassement du sol lié à l'utilisation des produits (le SYNEIS Appât en hyperlocalisation ayant besoin d'un matériel beaucoup plus léger) (classement des produits selon les critères)
- Empreinte carbone liée à l'utilisation des produits selon les différentes stratégies (nombre de passages nécessaires, quantité de carburant consommé, type de carburant entre quad/tracteur et ses conséquences etc.) (classement des produits selon les critères)

PERFORMANCE SOCIALE

- Temps de travail nécessaire pour les interventions selon les stratégies employées (chiffre en heures)

- Exposition au risque phytosanitaire de l'applicateur (Volatilité des produits, conséquence de l'hyperlocalisation ? présence d'un dispositif antidérive, absence de cabine sur le quad ?) (classement des produits selon les critères)
- Exposition au risque phytosanitaire des consommateurs (nocivité des produits, capacité de transfert dans le brou/la coquille, délai avant récolte etc.) (classement des produits selon les critères)
- Pénibilité du travail selon la stratégie employée (ex : argile cle'flo plus facile à mélanger, volume de bouillie manipulée, application du SYNEIS appât plus "ludique", alternance des rangs argile/SYNEIS complexe ?) (Enquête auprès des agriculteurs puis classement des produits selon les critères)
- Acceptabilité par le voisinage (ex : est-ce que pendant la campagne vous avez été interpellé par des promeneurs/locaux ? Y'a-t-il des réactions différentes selon si vous êtes sur le quad ou le tracteur ?) (Enquête auprès des agriculteurs puis classement des produits selon les critères)
- Dynamique du territoire (re-inspiré ACV : approvisionnement des matière première, ex : Cle'flo issu de Dordogne, nombre d'emploi sur le territoire etc.)

PERFORMANCE ÉCONOMIQUE

- Efficacité de la lutte : rendement réel comparé au rendement attendu sur la parcelle (kg/ha)
- Efficacité de la lutte : qualité de la récolte (% de coques et cerneau tâchés, prix d'achat du lot etc.)
- Double effet sur les coups de soleil (% de noix non commercialisables ou tombées).
- Coût des produits utilisés pour l'ensemble de la lutte (en €)
- Coût du carburant nécessaire pour mettre en place la lutte (en €)

BILAN

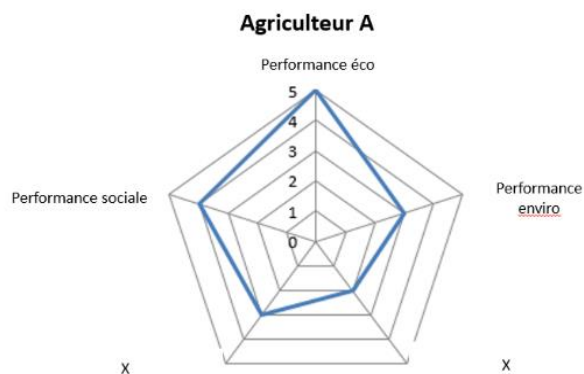


Schéma radar comparatif pour les trois agriculteurs et celui de la pratique moyenne française ?

BIBLIOGRAPHIE pour l'enquête multiperformance

Bockstaller C., Sabatier R., Tchamitchian M., (2020), *Evaluation de la multi-performance des systèmes agricoles engagés dans une transition agroécologique*, support de présentation, INRAE, 24 p. URL : https://www.inrae.fr/sites/default/files/tae_aes_act_-_s3_-_cb_mt_rs_vf.pdf

Chambre d'Agriculture France, (2018), *Livre blanc sur la multiperformance des exploitations agricoles : cap sur les projets des entreprises, réussir les transitions*, 46 p. URL : https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/National/LivreBlancMultiperformance_janv2018.pdf

Aubertot J-N (coord), Gestion Agroécologique de la Santé des Cultures et des Organismes Nuisibles (GASCON), MOOC. En cours de préparation. URL : <https://www.agreenium.fr/formation/gascon>

Xicluna P., (2022), Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT) [page web]. URL : <https://agriculture.gouv.fr/indicateur-de-frequence-de-traitements-phytosanitaires-ift>

Ecophytopic (2020), Qu'est-ce que le réseau DEPHY ? [site web] URL : <https://ecophytopic.fr/dephy/quest-ce-que-le-reseau-dephy>

Diserens E., (2014), Protection du sol : un outil pour calibrer ses pneumatiques, Perspectives agricoles, n°412, Juin 2014, p.71-74. https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/4c/12/9e/08/412_2734440761220833289.pdf