

Mémoire de Fin d'Etudes

CONFIDENTIEL 5 années

**Master 2 Mention Biologie Végétale (BV)
Parcours : Gestion de la Santé des Plantes**

Année universitaire 2020-2021

Lutte contre les ravageurs en maraîchage biologique

**Mise en place et conduite d'essais « efficacité » de produits utilisables en
agriculture biologique pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre**

Leptinotarsa decemlineata

Par : Noëlle NEYRAT

Soutenu le 8 septembre 2021 à Angers



Maîtres de stage : Lorrain MONLYADE et Séverine ALFIERI

Référent universitaire : Valérie RAYMOND

Mémoire de Fin d'Etudes
CONFIDENTIEL 5 années

Master 2 Mention Biologie Végétale (BV)
Parcours : Gestion de la Santé des Plantes

Année universitaire 2020-2021

Lutte contre les ravageurs en maraîchage biologique
Mise en place et conduite d'essais « efficacité » de produits utilisables en
agriculture biologique pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre
Leptinotarsa decemlineata

Par : Noëlle NEYRAT

Soutenu le 10 septembre 2021 à Angers



Maîtres de stage : Lorrain MONLYADE et Séverine ALFIERI

Référent universitaire : Valérie RAYMOND



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je soussignée Noëlle NEYRAT, étudiante en Master 2 Biologie végétale à l'Université d'Angers, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :



Noëlle NEYRAT

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Guy FOREST et Marine JULIEN, respectivement Président et DRH d'Agrobio Périgord de m'avoir accueillie au sein de leur association ainsi que pour la confiance qu'ils m'ont témoignée en m'acceptant parmi leurs collaborateurs.

Je remercie Lorrain MONLYADE, technicien animateur qui a été mon maître de stage sur la partie « expérimentation doryphores » pour son accompagnement (je pense notamment à R) et pour le temps qu'il m'a accordé pendant le stage. Vient ensuite, Séverine ALFIERI, technicienne en maraîchage – PPAM, ma seconde maître de stage pour la partie « mouche de la carotte ». Séverine, je te remercie vivement pour ta bienveillance, ta réelle sympathie et ta présence dans les moments de stress et de découragement ! C'est avec un réel plaisir que je t'ai accompagnée sur le terrain pour découvrir ton métier. Je garde aussi en mémoire les nombreux moments passés à revisiter le jeu « Qui est-ce ? » mais version ravageurs et maladies des légumes.

J'adresse ensuite mes sincères remerciements à Valérie RAYMOND, Directrice du Laboratoire « Signalisation Fonctionnelle des Canaux Ioniques et Récepteurs », qui a été ma tutrice universitaire. Je la remercie d'avoir répondu présente à chacune de mes sollicitations (et elles ont été nombreuses !), pour sa gentillesse et sa bienveillance, son soutien, ses conseils, sa compréhension mais aussi son accompagnement tout au long de ce projet...

Ensuite, je remercie mes chers collègues stagiaires, Charlotte et Jean sur lesquels j'ai pu compter, à de nombreuses reprises, que ce soit pour le désherbage ou les notations de mes essais, où nous avons, bien souvent subi la météo. Je les remercie pour cette entraide, mais aussi pour leur soutien et leur bonne humeur constante sans lesquelles ce stage aurait eu une tout autre saveur.

J'ai, enfin, une pensée particulière pour Esther et Thibault, techniciens qui m'ont encouragé dans les choix et les propositions que j'ai pu faire, qui ont parfois voire souvent plaidé ma cause et qui ont été d'une grande aide pour la réflexion « des essais doryphores ». Je garde dans un coin de mon esprit leurs suggestions, leurs conseils ainsi que leurs connaissances techniques. Esther, merci de m'avoir prêté main forte lors des traitements inopinés. Merci pour ta joie de vivre grâce à laquelle les trajets en voiture se sont révélés bien plus courts que prévus ! Thibault, je te remercie chaleureusement pour tout : la mise à disposition de ton matériel de terrain, tes encouragements, ton aide précieuse en stats et bien sûr pour ton intervention sans laquelle je serais sûrement encore en train de ramasser des doryphores !

Je ne peux pas citer tout le monde mais je voudrais dire merci au reste de l'équipe d'Agrobio Périgord qui a été la mienne pendant 6 mois (ce n'est pas rien !), pour leur accueil, leur gentillesse et leur humour qui ont permis de m'intégrer rapidement. Je fais également un clin d'œil spécial aux précieuses petites mains, volontaires ou désignées d'office qui m'ont secondée lors des notations : Hélène, Alban, Marie, Robin, Séverine, Esther et Alexandre.

Bien entendu, je ne peux pas oublier Frédéric et Wouter, mes maraîchers investis, volontaires, enjoués et très sympathiques ayant mis à disposition leurs parcelles pour mettre en place les essais sur lesquels j'ai travaillé.

Par ailleurs, je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à toutes les personnes que j'ai contactées et qui m'ont apporté leur aide, leurs expériences et leurs savoirs pour la mise en place de telles expérimentations. Je pense notamment à Charly MESANGE, biologiste de terrain chez Syngenta et ancien maître de stage, à Sylvia ANTON, directrice de recherche à l'Unité IGEPP, à Hélène DOUGHTY, chercheuse-entomologiste à l'Institut Polytechnique et à l'Université de Virginie (USA), à Christian DAVID et Fanny PUARD, paysans adhérent à Agrobio Périgord.

En dernier lieu, je remercie naturellement Didier PELTIER, responsable du Master Biologie végétale et Thomas GUILLEMETTE, responsable du parcours « Gestion de la Santé des Plantes » pour leur accompagnement, leur gentillesse et leur présence tout au long de ces 2 années compliquées marquées par de nombreux cours en distanciel en raison de la crise sanitaire.

Sommaire

Remerciements	
Glossaire	
Liste des abréviations	
Liste des annexes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

1. INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1. Présentation d’Agrobio Périgord.....	1
1.1.1. Composition et organisation.....	1
1.1.2. Missions.....	1
1.2. Problématisation du sujet d’étude.....	2
1.2.1. Contexte général.....	2
1.2.2. Contexte économique.....	3
1.2.3. Objectifs.....	4
1.3. Descriptif de la culture : la pomme de terre, <i>Solanum tuberosum</i>	4
1.3.1. Botanique.....	4
1.3.2. Cycle de développement de la culture.....	5
1.3.3. Utilisations principales.....	6
1.4. Principal ravageur de la pomme de terre : le doryphore, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> ...6	
1.4.1. Biologie.....	7
1.4.2. Ecologie.....	9
1.4.3. Facteurs favorables et confusions possibles.....	12
1.4.4. Symptômes et dégâts.....	12
1.4.5. Stratégies de lutte.....	13
1.4.5.1. Méthodes chimiques.....	13
1.4.5.2. Méthodes agronomiques.....	14
1.4.5.3. Méthodes biologiques.....	14
1.4.5.4. Méthodes génétiques.....	15
1.4.5.5. Extraits végétaux naturels.....	15
2. MATERIEL ET METHODES.....	16
2.1. Matériel.....	16
2.2. Méthodes.....	17
2.2.1. Itinéraire technique de l’essai.....	17

2.2.1.1. Choix de la parcelle agricole.....	17
2.2.1.2. Maintenance « hors » essai.....	18
2.2.1.3. Dispositifs expérimentaux.....	18
2.2.2. Protocole de l'essai.....	19
2.2.2.1. Implantation de l'essai.....	19
2.2.2.2. Traitements : applications et modalités testées.....	19
2.2.2.3. Notations : variables suivies.....	20
2.2.2.4. Analyse statistique.....	21
3. RESULTATS.....	21
3.1. Données météorologiques.....	21
3.2. Comptages des populations d'imagos.....	22
3.3. Comptages des foyers d'œufs.....	22
3.4. Comptages des populations larvaires.....	24
3.5. Test de phytotoxicité et test in vitro.....	26
4. DISCUSSION.....	26
4.1. Comptages des adultes.....	26
4.2. Comptages des pontes.....	27
4.3. Comptages des larves.....	27
4.4. Perspectives d'amélioration.....	28
5. CONCLUSION.....	31
6. PARTIE OPTIONNELLE : ACTIVITES COMPLEMENTAIRES.....	33
Bibliographie.....	35
Sitographie.....	40
Annexes	

Glossaire

Alaire : qui est relatif à l'aile¹.

Alcaloïde : substance organique produite par les végétaux, potentiellement toxique¹.

Anémotaxie : dispersion qui se fait par le vent¹.

Aposématisme : mécanisme grâce auquel l'organisme prévient son prédateur de sa potentielle toxicité. Le message peut être d'ordre chimique, visuel ou sonore².

Canopée : étage supérieur de la strate végétale¹.

Chimiosensoriel : organe qui permet la détection de stimuli d'origine chimique³.

Dendrite : prolongement d'un neurone qui permet de recevoir le message nerveux¹.

Diapause : forme de vie durant laquelle le développement est réduit ou interrompu afin d'économiser des réserves pendant les périodes défavorables⁴.

Distal : partie d'un membre ou d'un organe qui est la plus loin de l'organe de référence¹.

Elytre : aile fortement sclérifiée qui forme un étui et sert de protection aux ailes postérieures⁵.

Glomérule : structure fonctionnelle ayant la forme d'une pelote traitant l'information olfactive¹.

Glycoalcaloïde : famille de composés chimiques souvent présents chez les Solanacées⁶.

Hémolymphe : liquide circulatoire chez les arthropodes analogue du sang des vertébrés⁴.

Holométabole : insecte subissant une métamorphose complète c'est-à-dire qui passe par 4 stades de développement dont un état nymphal. Les différents stades ont des morphologies et des modes de vie très différents⁴.

Humus : fraction stable de la matière organique qui se trouve dans la couche superficielle du sol⁷.

Imago : nom donné au stade final d'un individu à métamorphose complète c'est-à-dire dont le développement se déroule en plusieurs phases⁴.

Métabolites secondaires : molécules complexes synthétisées ici par les plantes, n'intervenant pas directement dans le développement ou la croissance mais qui sont impliquées dans la communication avec les insectes herbivores (nicotine, tannins)⁴.

Nymphose : transformation d'une larve en nymphe qui est le stade de développement intermédiaire entre la larve et l'imago lors des mues⁴.

Phagostimulant : capacité d'une molécule à stimuler, à accroître la prise de nourriture d'un organisme⁴.

Photopériode : succession régulière de période de lumière (jour) et d'obscurité (nuit). D'un point de vue biologique, elle caractérise la durée de jour quotidienne¹.

Phototactisme positif : réaction attractive face à une source de lumière¹.

¹ (Maire *et al.*, 2011) ²(Futura Sciences (a)) ³(Picimbon, 2002) ⁴(Sauvion *et al.*, 2013) ⁵(Bellmann, 2017) ⁶(Kowalski *et al.*, 1999) ⁷(Mazoyer *et al.*, 2002) ⁸(Gallais, 2019) ⁹(Muller, 2015) ¹⁰(Busvine, 1981) ¹¹(Duceppe, 2011) ¹²(Futura Sciences (b)) ¹³(Gabaston, 2018)

Phytophage : organisme qui se nourrit uniquement de matières végétales⁸.

Polyvoltine : se dit d'une espèce qui réalise plusieurs générations par an⁹.

Pronotum : segment antérieur du thorax des insectes sur lequel s'articulent la tête et le mésothorax. Il permet l'insertion de la première paire de patte mais ne porte jamais d'ailes¹⁰.

Régurgitant : « mélange de salive et de reflux intestinaux qui contient du matériel végétal partiellement digéré et des microorganismes »¹¹.

Sensille : structure spécialisée capable de détecter des stimuli. Chaque sensille contient un ou plusieurs neurones⁴.

Spermathèque : organe présent chez les insectes femelles qui permet de stocker les gamètes mâles¹².

Sternite : partie ventrale de chacun des anneaux de chitine des arthropodes¹⁰.

Stilbène : molécule phénolique présente chez de nombreuses plantes qui serait impliquée dans la résistance des plantes aux bioagresseurs¹³.

Trichome : fine excroissance ou appendice présent chez les plantes. Ils sont souvent localisés sur la surface des feuilles et des tiges sous forme de petits poils⁴.

Zéro de germination : seuil de température à partir duquel une semence peut germer⁷.

Zéro de végétation : seuil de température à partir duquel une plante peut se développer⁷.

¹(Maire *et al.*, 2011) ²(Futura Sciences (a)) ³(Picimbon, 2002) ⁴(Sauvion *et al.*, 2013) ⁵(Bellmann, 2017) ⁶(Kowalski *et al.*, 1999) ⁷(Mazoyer *et al.*, 2002) ⁸(Gallais, 2019) ⁹(Muller, 2015) ¹⁰(Busvine, 1981) ¹¹(Duceppe, 2011) ¹²(Futura Sciences (b)) ¹³(Gabaston, 2018)

Liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique

ACPEL : Association Collaborative de Production, d'Expérimentation et de références légumières

ADAP : Association de Développement de l'Agriculture en Périgord

BBCH : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt CHemische Industrie

BPE : Bonnes Pratiques Expérimentales

Bt : *Bacillus thuringiensis*

BSV : Bulletin de Santé du Végétal

CA : Conseil d'administration

DD : Degree-day (degrés jours)

dl : degrés de liberté résiduel

DRE : Délai de réentrée

FNAB : Fédération Nationale d'Agriculture Biologique

HE : Huile essentielle

IRAC : « Insecticide Resistance Action Committee »

OAD : Outil d'Aide à la Décision

OBP : Odorants Binding Proteins

OEPP : Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes

OGM : Organisme génétiquement modifié

PPP : Produit phytosanitaire

SA : Substance active

SAU : Surface Agricole Utile

USA : Etats-Unis

Liste des annexes

Ann. I : Trombinoscope de l'équipe salariée et du conseil d'administration d'Agrobio Périgord.....	1
Ann. II : Calendrier cultural de la pomme de terre présentant les périodes de travail pour chaque poste.....	2
Ann. III : Classification systématique de <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , le doryphore de la pomme de terre.....	3
Ann. IV : Critères morphologiques d'identification du doryphore, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> en fonction des différents stades de développement.....	4
Ann. V : Critères permettant la différenciation sexuelle chez <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	5
Ann. VI : Liste des ennemis naturels exerçant une prédation ou un parasitisme sur les doryphore...	6
Ann. VII : Plan d'implantation de l'essai A à Prigonrieux.....	7
Ann. VIII : Plan d'implantation de l'essai B à Saint Cyr les Champagnes.....	8
Ann. XIX : Modalités et traitements de l'essai A	
Ann. X : Arbre de décision permettant de choisir le test statistique adéquat pour le jeu de données à disposition.....	10
Ann. XI : Résultats des tests statistiques préalables à l'emploi de l'ANOVA (Shapiro-Wilk, Levene, Durbin-Watson) testant la distribution normale des résidus, l'homogénéité des variances et l'indépendance des données de l'essai A.....	11
Ann. XII : Résultats des tests statistiques préalables à l'emploi de l'ANOVA (Shapiro-Wilk, Levene, Durbin-Watson) testant la distribution normale des résidus, l'homogénéité des variances et l'indépendance des données de l'essai B.....	12
Ann. XIII : Tableau de synthèse des statistiques descriptives pour l'essai B (moyenne, écart type, valeurs minimales et maximales).....	13-16
Ann XIV : Graphiques manquants à la page 22.....	17-18

Liste des figures

Fig. 1 : Carte localisant le département de la Dordogne et la ville Périgueux proche de Coursac.....	1
Fig. 2 : Représentation par filières du nombre d'adhérents à Agrobio Périgord.....	1
Fig. 3 : Les différentes missions d'Agrobio Périgord.....	1
Fig. 4 : Principaux bassins de production de la pomme de terre en France.....	3
Fig. 5 : Cycle de vie du doryphore, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> sous les latitudes françaises.....	7
Fig. 6 : Cycle simplifié d'une génération de doryphore.....	7
Fig. 7 : Photographie illustrant la différence de taille chez le doryphore entre une femelle et un mâle...7	
Fig. 8 : Critères de reconnaissance des œufs et des larves de coccinelles et de doryphores.....	12
Fig. 9 : Photographie des dégâts causés par une forte pression larvaire.....	12
Fig. 10 : Photographie d'une larve de doryphore s'attaquant à la tige d'un plant.....	12
Fig. 11 : Photographie du matériel de traitement.....	19
Fig. 12 : Schéma matérialisant l'emplacement des tests de phytotoxicité.....	20
Fig. 13 : Photographie de l'organisation spatiale du test de phytotoxicité.....	21
Fig. 14 : Evolution des températures et de la pluviométrie au cours des 4 mois de suivi de l'essai A à Prigonrieux.....	21
Fig. 15 : Evolution des températures et de la pluviométrie au cours des 4 mois de suivi de l'essai B à Saint Cyr les Champagnes.....	21
Fig. 16 : Evolution des cumuls de pluies mois par mois sur les 2 essais.....	22
Fig. 17 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre d'adultes par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai B	22
Fig. 18 : Evolution du nombre moyen d'adultes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai B	22
Fig. 19 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre d'adultes par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai A:.....	Ann. XIV page 17
Fig. 20 : Evolution du nombre moyen d'adultes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai A:.....	Ann. XIV page 17
Fig. 21 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de foyers par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai B.....	Ann. XIV page 18
Fig. 22 : Evolution du nombre moyen de pontes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai B.....	23
Fig. 23 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de foyers par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai A.....	23
Fig. 24 : Evolution du nombre moyen de pontes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai A.....	23

Liste des figures (suite)

Fig. 25 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de larves par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai B.....	24
Fig. 26 : Evolution du nombre moyen de larves par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai B.....	24
Fig. 27 : Courbes d'évolution des populations larvaires avec écart type au cours du temps et par modalités pour l'essai B.....	24
Fig. 28 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de larves par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai A.....	25
Fig. 29 : Evolution du nombre moyen de pontes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai A	25
Fig. 30 : Courbes d'évolution des populations larvaires avec écart type au cours du temps et par modalités pour l'essai A.....	25

Liste des tableaux

Tab. I : Classification de la pomme de terre, <i>Solanum tuberosum</i>	4
Tab. II : Présentation des diverses caractéristiques physiques des organes de la pomme de terre.....	5
Tab. III : Principales familles chimiques qui ont été ou qui sont encore utilisé dans la lutte contre <i>L. decemlineata</i> et pour lesquelles des résistances ont été observées.....	13
Tab. IV : Caractéristiques des produits utilisés pour lutter chimiquement contre le doryphore.....	13
Tab. V : Méthodes de lutte mécaniques, physiques ou culturales.....	14
Tab. VI : Liste d'extrait végétaux ayant été étudiés pour leur potentiel aspect toxique chez le doryphore.....	15
Tab. VII : Caractéristiques des produits testés au sein de l'essai.....	16
Tab. VIII : Informations relatives aux parcelles accueillant les essais.....	17
Tab. IX : Itinéraire technique mené sur les parcelles des maraîchers.....	18
Tab. X : Caractéristiques de chacun des dispositif expérimentaux.....	18
Tab. XI : Données liées à la plantation des pommes de terre sur les 2 essais	19
Tab. XII : Modalités et traitement de l'essai B.....	19
Tab. XIII : Caractéristiques des stations relevant les données météorologiques (températures minimales, température maximales, pluviométrie...) sur les 2 communes où sont localisés les essais.....	21
Tab. XIV : Calcul du nombre de degrés résiduels en fonction du nombre de sites, du nombre de modalités testées et du nombres de répétitions (blocs) dans un site.....	30

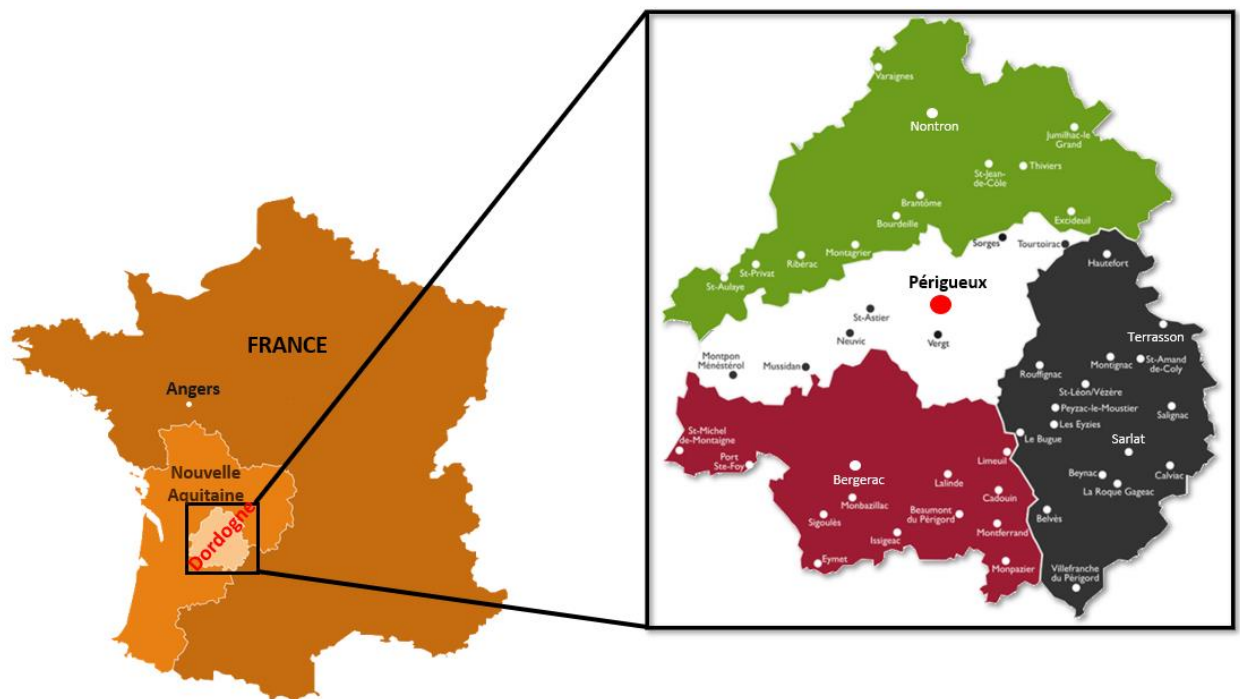


Fig. 1 : Carte localisant le département de la Dordogne et la ville Périgueux proche de Coursac
Figure modifiée d'après <https://www.guide-du-perigord.com/fr/tourisme/decouvrir/le-perigord-la-dordogne.html>

En 2020, 412 fermes ou individus ont adhéré à Agrobio Périgord, dont :



Fig. 2 : Représentation par filières du nombre d'adhérents à Agrobio Périgord
Figure modifiée d'après Agrobio Périgord

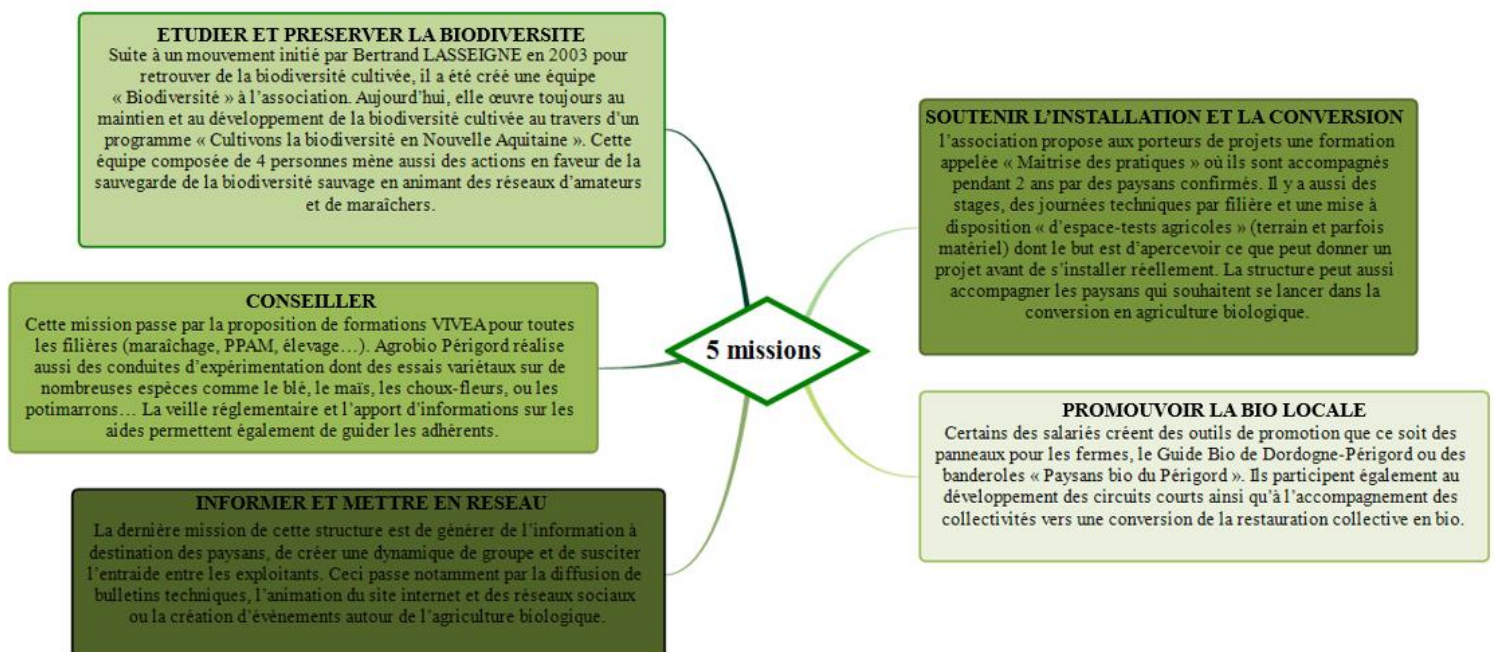


Fig. 3 : Les différentes missions d'Agrobio Périgord
Source personnelle

1. INTRODUCTION GENERALE

1.1. Présentation d'Agrobio Périgord

Agrobio Périgord est d'après la loi de 1901, reconnu comme une association de producteurs à but non lucratif. Implantée en Nouvelle-Aquitaine dans le département de la Dordogne (24) (Fig. 1), elle a été créée en 1989, et s'appelait à l'origine Association de Développement de l'Agriculture en Périgord (ADAP). Ce n'est qu'en 2003 qu'elle change de nom pour devenir Agrobio Périgord. L'organisme avait été initié par un petit groupe d'agriculteurs bio qui souhaitaient promouvoir, favoriser le développement de l'agriculture biologique dans leur département. Le siège social est situé au 7, impasse de la Truffe sur la commune de Coursac (24430) mais une antenne détachée spécialisée dans la viticulture existe à Bergerac depuis 2008. Cette localisation lui permet d'être proche de ses adhérents principaux, les vignerons et les viticulteurs dans le Périgord pourpre au Sud-Ouest de la Dordogne.

1.1.1. Composition et organisation

Agrobio Périgord est formé d'un conseil d'administration (CA) présidé par Guy FOREST élu en 2019 pour une durée de un an renouvelable. Il est assisté dans ses fonctions par 8 autres membres également élus (Ann. I). C'est cette équipe qui détermine les actions dans lesquelles s'engage l'association. Le CA est accompagné par une équipe salariée de 18 personnes à Coursac et de 4 autres personnes à Bergerac pour soutenir les producteurs et animer des projets collectifs.

Pour faire entendre sa voix, l'association agit à divers niveaux de la filière en se ralliant à d'autres organismes partenaires tels que la Fédération Nationale d'Agriculture Biologique (FNAB), la Fédération Régionale Bio Nouvelle-Aquitaine ainsi que l'association régionale Act'terres Bio Nouvelle-Aquitaine et l'association interprofessionnelle Interbio Nouvelle-Aquitaine. Elle travaille également en étroite collaboration avec des acteurs plus locaux dont certains sont installés au sein même de ses locaux comme Pays'en graine ou la Maison des paysans.

L'année dernière, en 2020, l'association fédérait un peu plus de 400 adhérents de toutes les filières (Fig. 2) qu'ils soient agriculteurs, pour une grande majorité, ou bien jardiniers, distributeurs, consommateurs et même transformateurs. L'organisation de l'association est régie par une charte éthique rédigée par l'ensemble des membres d'Agrobio Périgord. Celle-ci va au-delà du cahier des charges Bio et cherche à favoriser les structures agricoles à taille humaine fondées sur les 3 piliers du développement durable, la viabilité, la vivabilité et la reproductibilité. La charte permet aussi de mettre en avant les valeurs véhiculées par cette structure qui met au premier plan l'humain, l'entraide et la nature. C'est pour cette raison, que l'association a diversifié et développé ses missions dans ce sens.

1.1.2. Missions

Historiquement, Agrobio Périgord œuvre dans des domaines divers et variés : la lutte contre les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM), la formation, le soutien à l'installation et à la conversion mais aussi l'expérimentation, la conservation de la biodiversité cultivée ou sauvage et l'appui à la commercialisation en circuit court. Actuellement, l'organisme a cinq missions principales (Fig. 3).

1.2. Problématisation du sujet d'étude

1.2.1. Contexte général

Jusqu'en 2019, les maraîchers bio pouvaient utiliser un insecticide de biocontrôle à base de *Bacillus thuringiensis* (Bt), le NovodorFC®. Effectivement, ce produit qui agissait par perturbation des membranes de l'intestin moyen des insectes était très efficace pour lutter contre le doryphore. Or, l'entreprise qui le commercialisait, Sumitomo Chemical, n'a pas souhaité renouveler son autorisation de mise sur le marché. A ce jour, aucune information sur le choix de cet arrêt de commercialisation n'a été communiquée par la société. Plusieurs suppositions peuvent être faites :

~ Le produit constituait un marché de niche, trop petit par rapport au coût de production de la matière active. Cela ne semble pas être une hypothèse tangible puisque l'ensemble des maraîchers bio français l'employaient ainsi qu'une partie des agriculteurs conventionnels. De plus, le produit étant composé de bactéries vivantes, il ne pouvait être stocké plus de 2 ans. Ces 2 paramètres laissent à penser que le marché du NovodorFC® était potentiellement important et rentable.

~ La souche de *Bacillus thuringiensis* *sp. tenebrionos* (De Sangosse, 2012) utilisée dans le larvicide, aurait pu être sujette à l'apparition de résistance. Ceci semble constituer une piste plus plausible puisque l'Insecticide Resistance Action Committee (IRAC a) a répertorié l'apparition de résistances à cette souche de bactéries aux Etats-Unis (USA) et 2 études traitaient de larves résistantes au Bt *sp. tenebrionos* (Altre *et al.*, 1996; Ferré and Van Rie, 2002).

Toutefois, ceci laisse les maraîchers dans une impasse car le doryphore est un ravageur de la pomme de terre bien trop redoutable pour ne rien faire. Le seul autre produit autorisé en agriculture biologique (AB) est le Success 4® dont la substance active est le Spinosad. Bien que présentant une efficacité redoutable, le produit n'est pas sélectif des auxiliaires comme les forficules ou *Encarsia formosa* un parasitoïde utilisé sous serre (Dow AgroSciences, 2013). D'après sa fiche de sécurité, il présente aussi des risques pour la santé humaine (Dow AgroSciences, 2013), raisons pour lesquelles, les maraîchers d'Agrobio Périgord sont globalement réticents à l'utiliser. Effectivement, certains d'entre eux réalisent uniquement des ramassages si leurs surfaces sont de tailles modestes mais d'autres ne peuvent s'en passer. Ils effectuent des ramassages pour repousser au maximum l'application du Success 4® mais ils sont obligés de traiter ensuite. En réalité, l'emploi du Spinosad constitue le dernier recours des maraîchers lorsqu'ils se sentent « dépassés par le ravageur », d'après leurs propres mots (Coget et Van van Mil, communication personnelle).

En 2020, la commission maraîchage d'Agrobio, groupe de 8 représentants de la filière a fait remonter auprès de leur technicienne le souhait de reconduire des essais de produits contre les doryphores initiés en 2019. Cependant, l'essai réalisé n'avait révélé aucune efficacité significative des produits naturels testés (extrait d'ail, terre de diatomée...) au regard du produit de référence.

C'est dans ce cadre qu'Agrobio Périgord a demandé à l'entreprise Herbovital d'élaborer un produit « naturel » pour lutter contre le doryphore. Herbovital est une société qui formule et produit des compléments alimentaires et des cosmétiques pour les animaux. Elle travaillait déjà avec l'antenne

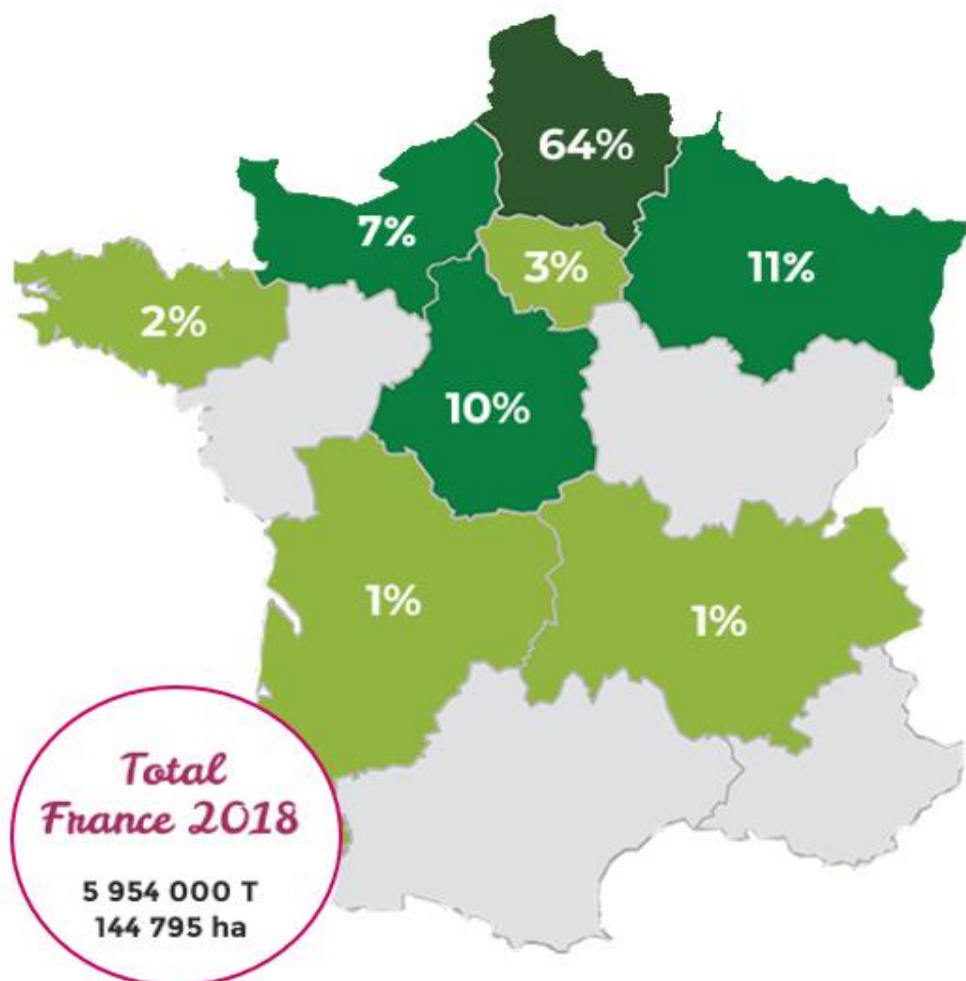


Fig. 4 : Principaux bassins de production de la pomme de terre en France
Figure modifiée d'après <https://www.lespommesdeterre.com/chiffres-cles/>

viticole de Bergerac pour qui, Stéphanie LEGRAND, pharmacienne a développé une gamme de soins par le végétal pour lutter contre les bioagresseurs de la vigne. C'est ainsi que 2 essais « efficacité » sur le doryphore ont été mis en place pour la présente étude.

1.2.2. Contexte économique

La filière de la pomme de terre occupe une place à part dans le système de production agricole français puisqu'elle permet à l'Hexagone de se classer comme 1^{ère} nation exportatrice au monde en termes de volume, avec environ 2,5 millions de tonnes de tubercules mais aussi en termes de valeur avec 623 millions d'€ en 2019. L'exportation se fait quasi-exclusivement vers l'Europe à 99 %, principalement vers l'Espagne, la Belgique, et l'Italie (FranceAgriMer, 2021). Toujours à l'échelle mondiale, la France est le 2^{ème} pays exportateur de plants grâce à une qualité sanitaire irréprochable, avec environ 220 000 tonnes et le 2nd producteur européen derrière l'Allemagne (FranceAgriMer, 2021). De fait, la pomme de terre est un produit qui représente un attrait économique important, ayant rapporté à la France la somme non négligeable de 3,7 milliards d'€ en 2019 et affichant une balance commerciale excédentaire de 591 millions d'€ (FranceAgriMer, 2021). Environ 207 000 ha du territoire métropolitain sont consacrés à cette culture amylacée soit 0,8 % de la Surface Agricole Utile (SAU) française, surface exploitée par pas moins de 22 730 fermes. La pomme de terre peut être implantée partout en France mais plusieurs bassins de production ont été identifiés. Les Hauts de France arrivent en tête avec un rendement qui permet de répondre aux 2/3 de la demande nationale, suivie par le Grand Est, le Centre Val de Loire et la Normandie pour le marché de frais ou de transformation (Fig. 4). En 2019, le rendement moyen de tubercules a été estimé à ≈ 43 t/ha (CNIPT(a)) soit un total de 8,6 millions de tonnes, filière plants comprise (FranceAgriMer, 2021). La production du tubercule aurait d'ailleurs le vent en poupe puisque c'est la seule grande culture dont le rendement a augmenté (de 6%) en 2020 pour atteindre les 7 Mt d'après Agreste, le site gouvernemental de la statistique agricole. Un autre élément chiffré prouve une nouvelle fois l'importance économique de ce produit pour la France : chaque ménage en consomme près de 55 kg chaque année, lui conférant le statut de produit incontournable (CNIPT(a)).

Au niveau national, la pomme de terre bio, cultivée et conservée sans protection phytosanitaire chimique ni engrais de synthèse ne représente qu'une part limitée des surfaces, uniquement 2,5 % soit près de 3100 ha pour la campagne 2018-2019 (CNIPT(b)). En Dordogne, 11,8 % de la SAU est engagée en AB soit 11 022 ha (Chambre d'agriculture de la Dordogne) mais les surfaces allouées à cette culture ne sont pas connues. Le rendement des pommes de terre de conservation en bio peut avoisiner jusqu'à 50 t/ha (Jobbé-Duval, 2015). A noter que la pomme de terre est très consommatrice de produits phytosanitaires (PPP) en conventionnel, puisque l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT) était d'environ 15 pouvant aller jusqu'à 21 traitements en 2014 dont 1,4 insecticide (Agreste). Pour l'AB aucune donnée n'a été trouvée à ce sujet.

L'importance de la pomme de terre dans l'alimentation et le commerce justifient qu'Agrobio Périgord se soit investi dans la recherche de produits pour maintenir un bon état sanitaire de cette culture.

Tab. I : Classification de la pomme de terre, *Solanum tuberosum*Source personnelle, données issues de [https://www.tela-](https://www.tela-botanica.org/eflore/?referentiel=bdtfx&niveau=2&module=fiche&action=fiche&num_nom=65010&type_nom=&nom=&onglet=nomenclature)[botanica.org/eflore/?referentiel=bdtfx&niveau=2&module=fiche&action=fiche&num_nom=65010&type_nom=&nom=&onglet=nomenclature](https://www.tela-botanica.org/eflore/?referentiel=bdtfx&niveau=2&module=fiche&action=fiche&num_nom=65010&type_nom=&nom=&onglet=nomenclature) et https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/124125/tab/taxo

Phylum	Noms scientifiques	Noms communs
Domaine	Eucaryotae	Eucaryotes
Règne	Plantae	Végétaux
Sous-règne	Embryophyta	Embryophytes ou Cormophytes ou Archégoniates
Super-embranchement	Tracheophyta	Trachéophytes
Embranchement	Spermaphyta	Spermaphytes ou Phanérogames
Sous-embranchement	Angiospermae ou Magnoliophytina	Angiospermes ou Anthophytes
Classe	Magnoliopsida ou Dicotyledonae	Magnolopsides ou Dicotylédones
Sous-classe	Asteridae	Astéridés
Ordre	Solanales	Solanales
Famille	Solanaceae	Solanacées
Sous famille	Solanoideae	Solanoïdes
Genre	<i>Solanum</i>	Morelle
Espèce	<i>Solanum tuberosum</i> L.	
Variété	Monalisa, Pompadour, Levante, Osiris, Désiré, Nicola, ...	

1.1.1. Objectifs

L'emploi du Success 4[®] allant à l'encontre de l'éthique de nombreux maraîchers, l'objectif de l'essai mis en place cette année est de rechercher et d'évaluer l'efficacité de produits naturels qui pourraient constituer une ou des alternative(s) viable(s) au Novodor[®] ainsi qu'au Success 4[®] dans la lutte contre le doryphore *Leptinotarsa decemlineata*. C'est pour cela que nous nous sommes demandés quelles pourraient être les alternatives à ces 2 produits pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre *Leptinotarsa decemlineata*.

Le dernier but de cette étude est de réaliser une synthèse bibliographique exhaustive sur la biologie, l'écologie et les méthodes de lutte contre le doryphore. L'apport d'informations et de précisions aux maraîchers sur ce ravageur permettra de mieux le gérer puisque une meilleure connaissance permettra une meilleure réflexion de lutte.

1.3. Descriptif de la culture : la pomme de terre, *Solanum tuberosum*

La pomme de terre étant le support de l'étude réalisée, il est indispensable de comprendre et de connaître le développement ainsi que le fonctionnement de cette culture pour mettre en place un essai testant l'efficacité de produits.

Originaire du Sud-Ouest de l'Amérique du Sud, de la Cordillère des Andes plus précisément, la pomme de terre sauvage y pousse, depuis au moins 8000 ans (Mazoyer *et al.*, 2002). Ce n'est qu'au 13^{ème} siècle qu'elle est domestiquée permettant de réduire la quantité de solanine, alcaloïde* amer qui la rendait difficilement consommable. Elle n'est introduite en Europe qu'au 16^{ème} siècle (Tian, 1995; Ruiz de Galarreta *et al.*, 2006) mais sa culture en France, ne commence que bien plus tard, au 18^{ème} siècle grâce à la promotion d'Antoine PARMENTIER (Mariette, 2016). A cette époque, A. PARMENTIER répertorie uniquement une quarantaine de variétés, alors qu'un siècle plus tard, Henri VILMORIN, en comptabilise environ 630 dans son catalogue (Il y a de la pomme de terre dans l'air a).

Aujourd'hui, il est identifié plusieurs milliers de variétés dans le monde qu'elles soient sauvages ou cultivées, dont environ 200 sont autorisées à la culture en France. En d'autres termes, cela signifie qu'elles sont inscrites au Catalogue officiel des espèces et variétés végétales (Il y a de la pomme de terre dans l'air b). Chacune d'entre elles se distingue par des formes et couleurs de tubercules, de fleurs ou de feuilles. Parmi les plus connues, il peut être cité l'Amandine, la Charlotte, la Désirée, la Bintje ou la Spunta (Le plant français de pomme de terre).

1.3.1. Botanique

La pomme de terre cultivée, *Solanum tuberosum*, Dicotylédones de la famille des Solanacées (Tab. I), est une plante annuelle herbacée (Mariette, 2016). L'une de ses particularités réside dans le développement de 2 sortes de tiges, des tiges aériennes qui peuvent atteindre 60 cm de haut et des tiges souterraines appelées « stolons » (Koppert, 2021 ; Mazoyer *et al.*, 2002). De fait, c'est une plante tubéreuse dont le mode de multiplication est dit végétatif. Cela signifie que le tubercule « mère » sert d'organe de reproduction à la place de la graine. De plus, le tubercule constitue également la forme de réserve ou de stockage souterrain très riche en amidon. Autre singularité, la pomme de terre est une

Tab. II : Présentation des diverses caractéristiques physiques des organes de la pomme de terre

Source : (Mazoyer et al., 2002)

Organes	Caractéristiques		Photographies
Feuille	<i>Forme</i>	Composée, lancéolées	 ©Noëlle NEYRAT
	<i>Disposition</i>	Alterne, en spirale	
	<i>Taille</i>	Variable, moyenne 15 cm	
	<i>Couleur</i>	Vert clair à foncé, reflets rougeâtres	
	<i>Limbe</i>	Limbe lisse avec des nervures pennées*	
	<i>Aspect général</i>	Epiderme plus ou moins poilu sur la face supérieure et inférieure, aspect mat	
	<i>Autres</i>	Feuillage caduc avec 3 à 5 paires de folioles*	
Fleur	<i>Couleurs</i>	Blanche, rose, rouge, violette à bleue	 ©Noëlle NEYRAT
	<i>Forme</i>	Cyme bipare*	
	<i>Nombre</i>	8 à 10 fleurs par inflorescence	
	<i>Taille</i>	2,5 cm de Ø	
	<i>Autres</i>	Hermaphrodite 5 sépales, 5 pétales, 5 étamines soudées Pas de production de nectar, donc peu visitées par les pollinisateurs	
Fruit	<i>Couleur</i>	Vert à jaune Marron à rouge-violet	 ©Noëlle NEYRAT
	<i>Taille</i>	Tomate cerise 1 à 3 cm de diamètre	
	<i>Forme</i>	Sphérique	
	<i>Poids</i>	5 g	
	<i>Autres</i>	2 chambres Contient jusqu'à 300 petites graines de forme aplatie	
Tubercule	<i>Formes</i>	Claviforme, oblongue, arrondi-bosselé, cylindrique	 ©Noëlle NEYRAT
	<i>Couleur peau</i>	Jaune, rouge, noire, violette	
	<i>Couleur chair</i>	Blanc à jaune, rosée ou violette	
	<i>Poids</i>	Variable selon la variété	

espèce autogame présentant fréquemment une stérilité mâle qui n'induit qu'une faible fructification chez les variétés hybrides. Quand cette stérilité n'est pas totale, les fleurs forment, après fécondation, des fruits portant les outils principaux impliqués dans la sélection génétique : les graines. Chaque organe présente des caractéristiques physiques singuliers (Tab. II) (Mazoyer *et al.*, 2002).

Il existe 2 types de pommes de terre : les primeurs récoltées avant leur maturité au mois d'août, et celles de conservation ramassées début septembre, une fois leur cycle complètement achevé.

De plus, quelques exigences physiologiques sont à considérer pour mener à bien cette culture comme le zéro de germination* compris entre 6 et 7 °C alors que son zéro de végétation*, lui, est fixé à 17 °C. Les pommes de terre sont très sensibles au déficit hydrique notamment pendant la phase de remplissage des tubercules filles et ce, en raison d'une faible profondeur de leur système racinaire (40 à 50 cm). Selon les régions et les variétés, la consommation d'eau peut atteindre les 4-5 mm/jour mais cette irrigation peut accroître le rendement de 5 à 10 t/ha. Il convient de noter que l'apport d'éléments nutritifs tels que l'azote, le potassium et le phosphore est indispensable (Mazoyer *et al.*, 2002).

D'un point de vue agronomique, cette Solanacée est souvent positionnée en tête de rotation car c'est une culture nettoyante mais consommatrice d'humus* (Mazoyer *et al.*, 2002). Il est préférable de respecter un délais de retour sur la parcelle d'au minimum 4 ans, 6 ans étant la durée optimale (Yara France). Cette plante vigoureuse s'adapte à une grande variété de climats et se montre peu exigeante en termes de nature et de qualité de sol. En effet, elle peut se développer sur des sols sableux à argileux mais elle affiche une nette préférence pour les sols siliceux ou argilo-siliceux, légers et profonds (Yara France). Par ailleurs, les pommes de terre de conservation sont plantées à partir de début avril, après les périodes de froid à environ 10-12 cm de profondeur. En revanche, les pommes de terre primeurs sont mises en terre un peu plus tôt, à la mi-mars. La densité de plantation est généralement comprise entre 30 et 45 000 plants/ha mais ce chiffre est très variable, dépendant de la variété et de l'inter-rang, qui, dans les normes standard, est de 75 cm (Mazoyer *et al.*, 2002). La culture n'occupe la parcelle que 4 mois de l'année uniquement, d'avril à fin août. Cependant, les interventions à réaliser au cours de la saison sont nombreuses car cette plante reste une culture sensible demandant un entretien continu (notamment en agriculture biologique), lui conférant un calendrier cultural assez chargé (Ann. II).

1.3.2. Cycle de développement de la culture

Le cycle de développement de *S. tuberosum* se décompose en 4 étapes distinctes (Fig. 5) :

- La germination : elle commence quand le tubercule émet des germes après une période de changement physiologique interne ;
- La phase de croissance végétative : c'est à partir de cette étape que les germes donnent des tiges feuillées ou rameaux en surface et des stolons en sous-sol ;
- La tubérisation : elle débute à l'arrêt de croissance des stolons et se poursuit jusqu'à la mort de la plante. Entre temps, sur une période de 1 à 2 semaines, les stolons forment des « excroissances », les tubercules filles qui grossissent en emmagasinant l'amidon produit lors de la photosynthèse ;

- Le repos végétatif : à la mort de la plante les nouveaux tubercules ne sont pas en capacité de germer même si les conditions du milieu sont optimales. C'est une sorte de dormance (Mariette, 2016).

Ce développement peut être suivi en reportant le stade de la culture sur diverses échelles dont celle appelée BBCH, abréviation de Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt Chemische Industrie. Il s'agit d'une échelle décimale permettant de coder les stades phénologiques des plantes cultivées. Cette graduation universelle est scindée en 10 stades numérotés de 0 à 9, fournissant rapidement le stade de la culture suivie (Syngenta (a)).

1.3.3. Utilisations principales

Les valorisations de la pomme de terre sont multiples et actuellement, 3 types de débouchés existent. Les tubercules sont principalement destinés à l'alimentation, en priorité humaine puis animale en raison de leur richesse nutritionnelle, que ce soit en sucres lents, en vitamines ou en sels minéraux (Il y a de la pomme de terre dans l'air (c)). Ceci passe notamment par le marché du frais c'est-à-dire la vente de pommes de terre primeurs ou de conservation ou bien *via* les industries de transformation pour la conception de chips, frites, poudres et flocons pour les purées ou les potages. Un autre débouché possible est l'industrie de la fécule dont les propriétés gélifiantes sont en particulier, employées en papeterie-cartonnerie mais aussi en cosmétiques, pharmacie et production de biocarburant... Enfin, une partie des pommes de terre est réservée pour la production de semences pour les années suivantes (Mazoyer *et al.*, 2002).

Au cours de son développement, la pomme de terre peut être la cible de certains bioagresseurs, susceptibles de fortement pénaliser le potentiel de rendement dont le principal ravageur demeure le doryphore.

1.4. Principal ravageur de la pomme de terre : le doryphore, *Leptinotarsa decemlineata*

« Un individu est considéré comme étant un ravageur lorsque sa population dépasse un certain niveau appelé seuil de tolérance économique ou seuil de nuisibilité. Il engendre alors des dégradations significatives sur la culture nécessitant une protection contre celui-ci » (Thiery, 2008).

Le doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) a été collecté pour la première fois en 1811 mais décrit uniquement en 1819 par Thomas Say (Alyokhin, 2007). Ce coléoptère broyeur appartient à la famille des Chrysomélidés (Ann. III) regroupant près de 40 000 espèces principalement phytophages* (Fernandez and Hilker, 2007; Arvalis a). Il est originaire des Montagnes Rocheuses du Colorado en Amérique du Nord où il se nourrissait aux dépens de *Solanum rostratum*, une Solanacée sauvage (Association française pour l'avancement des sciences, 1924; Pare-Chamontin, 2010; Bellmann, 2019). Cette origine lui vaut d'ailleurs son nom anglais de « Colorado potato beetle » (Alyokhin, 2007). Il a été introduit en France, à Bordeaux en 1917 (Mazoyer *et al.*, 2002), ville depuis laquelle il a totalement envahi le pays, puis l'Europe pour atteindre son aire de répartition mondiale actuelle, 16 millions de km² (Weber, 2003). Ses populations seraient d'ailleurs en recrudescence sur ces 5 dernières années en Picardie, Nord-Pas-de-Calais et Champagne Ardennes (Chambre d'agriculture de la Picardie, 2021).

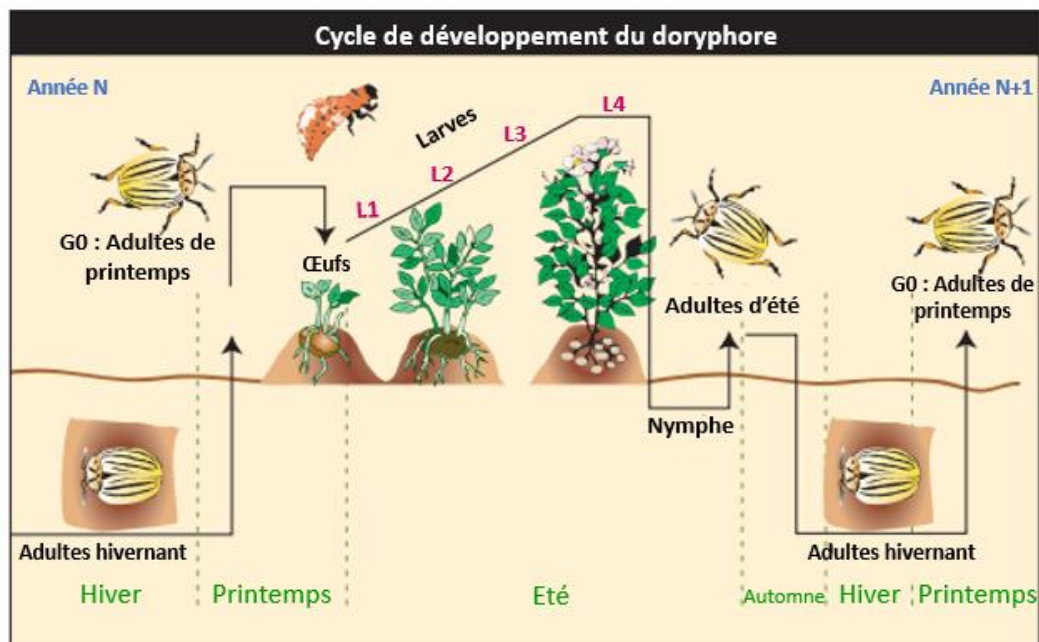


Fig. 5 : Cycle de vie du doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* sous les latitudes françaises

Figure modifiée d'après https://www.perspectives-agricoles.com/file/galleryelement/pj/bb/c1/de/27/324_1904763188132586497.pdf

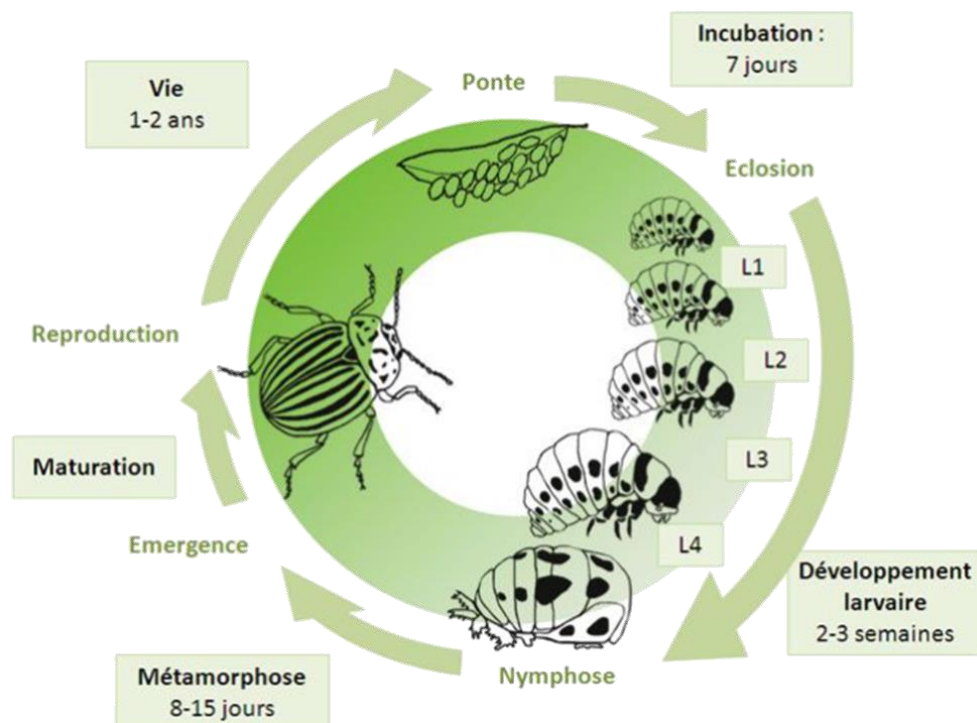


Fig. 6 : Cycle simplifié d'une génération de doryphore

Source : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19750/Biocontrol-Biologie>



Fig. 7 : Photographie illustrant la différence de taille chez le doryphore entre une femelle et un mâle

Légende : Photographie prise par Noëlle NEYRAT[©] à Prignonieux sur l'exploitation de Frédéric COGET le 9 juin 2021 lors du 4^{ème} traitement de l'essai.[©]

1.4.1. Biologie

Ravageur commun inféodé quasi uniquement aux Solanacées, en particulier à la pomme de terre cultivée, le doryphore a une large gamme d'hôtes secondaires qui constituent des réservoirs pour les infestations futures (Berger, 2021). Il peut se développer sur d'autres Solanacées cultivées comme les aubergines, les tomates, les poivrons, ou le tabac ornemental mais aussi sur des Solanacées sauvages telles que la morelle noire, le datura, la douce-amère et la belladone (Tian, 1995; Mazoyer *et al.*, 2002; Le Hingrat *et al.*, 2020). Seules 4 plantes ne faisant pas partie de cette famille permettent au ravageur de finaliser son cycle : *Asclepias syriaca*, *A. tuberosa*, *Capsella bursapastoris* et *Lactuca sativa* var. *romana*. *A. syriaca* (Hsiao and Fraenkel, 1968).

L. decemlineata est un insecte *a priori* diurne très communément observé le jour. A ce jour très peu d'informations sur ses activités nocturnes ont été publiées (Otálora-Luna and Dickens, 2011). Selon (Alyokhin, 2007; Le Hingrat *et al.*, 2020) le doryphore est une espèce polyvoltine* et il pourrait y avoir de 1 à 3 générations/an selon la latitude de la région, le cycle étant conditionné par la photopériode*. Dans le Sud de la France, elle peut réaliser 2 générations contre seulement une dans le Nord (Arvalis). En tant qu'insecte holométabole*, il réalise une métamorphose complète en passant par 4 stades de développement : l'œuf, la larve, la nymphe, et l'imago* ayant des morphologies très différentes (Ann. IV). Un schéma présentant le cycle biologique de l'insecte est proposé (Fig. 5) ainsi que le cycle détaillé d'une génération (Fig. 6).

La diapause* débute en octobre et constitue la forme de survie pendant les conditions défavorables de l'hiver. Cette conservation hivernale de l'espèce se déroule à l'état adulte dans le sol à une profondeur variable allant de 20 à 40 cm d'après l'IRAC (b), jusqu'à un mètre pour l'Association française pour l'avancement des sciences. Au printemps, lorsque les températures redeviennent supérieures à 10°C, de avril-mai jusqu'à juin, les adultes remontent à la surface (Alyokhin, 2007). Cette émergence est très échelonnée s'étendant sur plusieurs semaines (BASF ; Doughty, communication personnelle) et est plus ou moins synchronisée sur la levée des pommes de terre (Hough-Goldstein *et al.*, 1993b). En revanche, elle se fait simultanément pour les 2 sexes pourvu qu'une quantité suffisante de degrés jour (DD) ait été perçue, en général entre 50 et 250 DD (Ferro *et al.*, 1999). En outre, il faut savoir que le dimorphisme sexuel n'est que très peu prononcé. Les mâles sont de taille légèrement plus modeste que les femelles (observation personnelle, Fig. 7) mais une identification certaine est uniquement permise par un examen du dernier sternite* ventral (Ann. V) (Busvine, 1981).

Immédiatement après leur sortie, les adultes diapausant qui constituent la génération zéro (G0), vont s'alimenter du feuillage à proximité pendant 5 à 10 jours après quoi ils s'accouplent (Association française pour l'avancement des sciences, 1924). Une des particularités des femelles G0, réside dans leur capacité à pouvoir commencer à pondre sans s'être accouplées l'année N. Elles peuvent se servir du sperme stocké pendant toute la diapause dans leur spermathèque*, leur conférant ainsi un grand avantage quant à la reproduction de leur espèce (Alyokhin, 2007). Néanmoins, le nombre d'œufs viables pondus par ces individus est bien plus faible que celui des femelles accouplées l'année N. Autre point

important, *L. decemlineata* est une espèce polygame, les mâles comme les femelles ont recours à des copulations multiples avec des partenaires différents assurant une grande variabilité génétique. Après l'accouplement, la femelle commence à pondre immédiatement (IRAC b). Elle s'arrange ensuite pour disséminer ses œufs dans l'espace et dans le temps c'est-à-dire que tous les œufs ne sont pas pondus sur le même pied et simultanément. La répartition des pontes dans la parcelle est donc généralement très hétérogène (Doughty, communication personnelle). Disposés en amas de 30 à 50, les œufs sont positionnés sur la face inférieure des feuilles pour les protéger des intempéries, du soleil et de la pluie (Syngenta, IRAC b). Une fois la reproduction terminée, ces adultes de G0 meurent, environ 4 à 5 semaines après leur émergence (Ontario).

La période d'incubation des œufs est plus ou moins variable allant de 7 à 15 jours selon la température avant une émergence synchronisée de toutes les larves du groupe d'œufs. Dès leur éclosion, ces dernières commencent à se nourrir de la feuille où elles sont nées puis se propagent sur les feuilles voisines jusqu'à atteindre le sommet du plant (Le Hingrat *et al.*, 2020). D'après Hélène DOUGHTY, chercheuse à l'Université de Virginie (USA), les larves ne seraient pas très mobiles, en tout cas pas au point de parler de dispersion (communication personnelle). Elles sont souvent observées sur la face supérieure des feuilles mais lorsque les températures augmentent, elles ont tendance à migrer sous la canopée* (Alyokhin, 2007). Au cours de la phase larvaire composée de 4 stades, s'étalant sur 2 à 4 semaines, les larves croissent par 3 mues successives cessant progressivement de se nourrir avant de s'enterrer pour se nymphoser.

Le phénomène de la nymphose* ne commence qu'après 2 jours passés sous terre et s'étend de 10 à 20 jours dans une cellule ronde à proximité immédiate du plant hôte à une profondeur moyenne comprise entre 5 et 12 cm (Alyokhin, 2007). Cette étape donnera à son tour un nouvel adulte G1 au mois de juillet-août capable de se reproduire et le cycle d'une nouvelle génération commencera. Les femelles de G1 qui ré-entament un cycle ne commencent à pondre que lorsqu'elles ont accumulé environ 51 DD depuis leur sortie de la chrysalide (Alyokhin, 2007). Par ailleurs, lorsqu'elles sont totalement développées, elles peuvent rester jusqu'à une semaine sous terre avant d'émerger (IRAC b). Selon la nourriture à disposition, la photopériode et la température, cet adulte peut s'accoupler et se reproduire, ou s'enterrer pour effectuer sa diapause après s'être nourri (Weber, 2003). L'humidité favorise également ce phénomène (Association française pour l'avancement des sciences, 1924).

La durée du cycle, de l'œuf à l'adulte est très irrégulière et fortement dépendante des températures : 8 semaines pour BASF, 5-6 semaines pour Bayer et entre 14 et 56 jours pour Alyokhin. A noter que les températures optimales pour le développement se situent entre 25 et 32°C (Alyokhin, 2007). Compte tenu de la longévité des adultes et de l'aspect échelonné des pontes et des migrations, tous les stades de développement peuvent s'observer en même temps, les cycles étant entremêlés (Syngenta ; Bayer). En général, le ravageur peut vivre 1 an voire 2 mais certains individus seraient capables de diapause 2 ans ou plus. Plusieurs études menées aux USA et en Ukraine rapportent qu'environ 6,5 % des doryphores peuvent rester en dormance 2 ans dans les sols sableux contre 1 an

dans les sols argileux. De plus, 25 % d'une population serait capable d'effectuer 2 diapauses au cours de leur vie, l'autre partie ne survivant pas à son 2^{ème} été (Isely, 1935; Alyokhin, 2007).

1.4.2. *Ecologie*

Une multitude de facteurs influe sur la vie des insectes ce qui leur permet de moduler leur comportement ainsi que les interactions qu'ils peuvent avoir avec l'environnement.

➤ **Mobilité**

D'une part, la mobilité des insectes ravageurs est un élément très important à prendre en compte dans la mise en place d'essais de produits. Dans le cas du doryphore, les types de locomotion sont multiples car il est capable de se déplacer à la fois en volant et en marchant. La marche peut être effective sur quelques centaines de mètres à environ 1 cm/s mais c'est un mode de déplacement bien moins utilisé que le vol. Néanmoins, elle est la seule manière de se mouvoir à leur sortie de diapause puisqu'au cours de la phase hivernale, les muscles alaires* subissent une dégénérescence programmée. A l'éclosion, plusieurs jours sont nécessaires à l'individu pour récupérer sa faculté de vol. Au demeurant, l'initiation au vol est conditionnée par des températures comprises entre 15 et 20°C, en dessous aucun vol n'est possible (Alyokhin, 2007).

Les caractéristiques du vol chez *L. decemlineata* sont source de divergence dans la littérature. Certains articles le décrivent comme ayant une faible capacité de vol (Le Hingrat *et al.*, 2020) alors que d'autres lui confèrent des aptitudes au vol sur plusieurs dizaines de kilomètres (Arvalis) voire d'une centaine de kilomètres lorsque la vitesse et la direction du vent sont favorables (Association française pour l'avancement des sciences, 1924; Alyokhin, 2007). Cette méthode de dispersion est indispensable au brassage génétique, à la fuite de milieux hostiles ou encore à la colonisation de nouveaux champs.

Trois types de vols distincts ont été identifiés (Alyokhin, 2007) :

- ~ Les vols de courte portée qui permettent la dissémination des œufs et la rencontre de partenaires. Ce type de déplacement aérien est plus sollicité chez les mâles que chez les femelles ;
- ~ Les vols de longue distance pour coloniser de nouveaux habitats ;
- ~ Les vols de diapause pour chercher des strates herbacées hautes comme les haies pour s'enterrer à leur pied.

Cette capacité de migration et de dispersion serait également affectée par le statut d'accouplement et la prise de nourriture. Effectivement, les femelles en gestation ont une grande faculté de mouvement qui est toutefois plus faible que celle des femelles non fécondées recherchant un partenaire (Ferro *et al.*, 1999; Alyokhin, 2007). Quant aux adultes non alimentés, ils ont une activité de vol plus soutenue que ceux déjà alimentés (Ferro *et al.*, 1999). Fait plus surprenant, les flux d'eau, particulièrement l'eau de mer pourraient aussi contribuer à la dispersion des adultes dans l'espace contrairement aux larves (Association française pour l'avancement des sciences, 1924; CABI and OEPP, 2003). D'après des observations personnelles, les adultes ont eux aussi tendance à couler en fonction de leur angle de pénétration dans l'eau.

Quant aux larves, elles sont également dotées d'une certaine mobilité qui est fonction de l'abondance de nourriture, donc du feuillage de la plante sur laquelle elles se trouvent (Association française pour l'avancement des sciences, 1924). D'après Hélène DOUGHTY, les stades larvaires ne seraient que très peu mobiles (communication personnelle) mais des observations personnelles prouvent le contraire, notamment lors que ces dernières ont atteint le moment de leur cycle où elles partent se nymphoser.

Tout ceci fait du doryphore un ravageur ayant une grande capacité de dispersion et de colonisation de nouvelles parcelles et, de fait représente un nuisible très inquiétant pour les producteurs de pommes de terre. Cependant, la mobilité n'est pas le seul facteur qui lui apporte un succès prolifique.

➤ Perception visuelle et olfactive des plantes hôtes

D'autre part, la localisation des hôtes et l'orientation du doryphore reposent sur une double perception, à la fois visuelle et olfactive (Dickens, 2000b) prouvant à nouveau la difficulté à contrer sa progression.

Chez les coléoptères comme *L. decemlineata*, la perception se fait par le biais d'organes chimiosensoriels* comme les palpes* maxillaires et labiaux pour les larves suppléées par les antennes chez les adultes. Ces organes sont munis de milliers de poils appelés sensilles* (Picimbon, 2002). D'après Mitchell (1988), un grand nombre de ces sensilles seraient concentrées sur le 5^{ème} segment distal* antennaire. Ces faits corroborent avec la conclusion des précédentes expériences de Wilde et collaborateurs (1968) selon lesquelles « l'attraction ou la réponse aux odeurs de plantes disparaissait lorsque le 4^{ème} segment antennaire était coupé » (Sablon *et al.*, 2013).

D'après Sablon et collaborateurs, la perception olfactive des Solanacées par les doryphores adultes est permise grâce à l'émission de signaux chimiques appelés composés organiques volatiles (COV) dispersés par anémotaxie*. Le goût pourrait aussi être impliqué dans la perception mais à moindre mesure (Mitchell et McCashin, 1994). Pour la 1^{ère} fois en 1969, il a été prouvé que *L. decemlineata* était capable de différencier les odeurs de plusieurs plantes pour se repérer dans l'espace (Wilde *et al.*, 1968). Les hôtes secondaires cités §1.3.1 libèrent des composés attractants alors que l'herbe et le pissenlit représentent plutôt des répulsifs (Wilde *et al.*, 1968). Grâce aux travaux de Visser (1979), plusieurs COV attractant de la pomme de terre ont pu être identifiés comme l'hexanal, l'(E)-2-hexenal, le 1-hexanol ou encore le (Z)-3-hexenylacétate. Ce ne sont pas les seuls puisque l'étude réalisée par Dickens (2000) a démontré l'impact de 5 autres familles de composés chimiques. Par contre, aucune attraction n'a pu être mise en évidence lorsque les composés ont été présentés de manière dissociée au doryphore. Ainsi, le mélange de COV émis par *S. tuberosum* résulte d'un ratio très spécifique (Visser and Avé, 1978). D'autres paramètres sont engagés dans la perception tels que la maturité sexuelle du ravageur qui est primordiale pour que la reconnaissance ainsi que l'attraction de la plante hôte soit effective. Effectivement, la sensibilité des antennes augmenterait avec le nombre de jours de post émergence, la sensibilité maximum étant atteinte à 7 jours pour les mâles et 13 pour les femelles (Dickens, 2000a). Il est également intéressant de noter que les jeunes plants de pommes de

terre sont bien moins attractifs que ceux âgés de 4 à 8 semaines (Sablon *et al.*, 2013). De plus, l'attrait de ces plants pour les adultes est exacerbé par la détérioration du feuillage qui libère des quantités de COV 7 à 10 fois plus importantes que les plantes saines (Bolter *et al.*, 1997). De fait, les infections primaires de *L. decemlineata* constituent une sorte d'appel à leurs congénères des environs induisant une destruction rapide des parcelles de pommes de terre.

Les larves sont, elles aussi en capacité de percevoir les odeurs et seraient indifféremment attirées par des plants sains ou des plants blessés mais uniquement sur une courte distance (Sablon *et al.*, 2013). En revanche, une étude a révélé que la fraction de stérols (cholestérol, stigmasterol ou β -sitosterol) émise par les feuilles de pommes de terre aurait un effet phagostimulant* pour tous les stades larvaires (Szafranek *et al.*, 2008). L'attraction d'autres larves serait aussi renforcée par la présence de régurgitant* (Schütz *et al.*, 1997).

Outre la perception de sémiochimiques, la stimulation visuelle serait aussi impliquée dans la détection des plantes hôtes mais essentiellement à longue distance (Mitchell, 1988). En effet, l'étude menée par Otálora-Luna et Dickens a mis en évidence un comportement phototactique positif* des doryphores lorsqu'ils étaient stimulés à différentes longueurs d'ondes témoignant de leur capacité à différencier les longueurs d'ondes notamment celles comprises entre 360 à 510 nm (Szentesi *et al.*, 2002). Les mâles aussi bien que les femelles ont été fortement attirés par le jaune et le vert (Otálora-Luna and Dickens, 2011) ainsi que par l'association de bandes jaunes et noires qui renvoie aux dessins sur les élytres* chez les adultes. Dans une moindre mesure, une attraction a aussi été constatée pour le jaune-vert, vert foncé, en référence au feuillage ainsi que par le rouge et blanc (Szentesi *et al.*, 2002). A l'obscurité, les itinéraires empruntés par le ravageur ont été nettement plus tortueux retardant leur arrivée jusqu'à leur cible (Otálora-Luna and Dickens, 2011). Ceci prouve ainsi l'importance de la vision des couleurs dans l'orientation du ravageur étudié.

➤ **Communication intraspécifique**

D'autres signaux chimiques sont engagés dans la communication entre individus de la même espèce ce qui module à nouveau l'écologie de ce ravageur. Cet échange passe par 2 phéromones :

- Les **phéromone d'agrégation** qui sont produites par les mâles et perçues à la fois par les femelles et les larves (Hammock *et al.*, 2007). Dickens (2000 b) a identifié le principal composé attractant comme étant du (S)-3,7-diméthyl-2-oxo-oct-6-ène-1,3-diol (Weber, 2003). Ceci pourrait notamment expliquer pourquoi le *L. decemlineata* se développe en foyer (infestation hétérogène).

- Les **phéromones sexuelles** synthétisées par les femelles matures et aéroportées jusqu'à être captées par les mâles. Ces molécules sont impliquées dans le succès reproductif de l'espèce et font figure d'attractant à longue portée (Edwards and Seabrook, 1997). D'après Sablon et collaborateurs (2013), cette notion de phéromone sexuelle resterait à prendre avec précautions.

➤ **Interactions interspécifiques**

Il convient de mentionner que la dispersion de *L. decemlineata* au sein d'une parcelle peut être modifiée par la présence d'un autre ravageur herbivore (Sablon *et al.*, 2013).

DORYPHORE



Adulte



Larves stade 1-2



Larve stade 4



Modifiée d'après <https://www.gerbeaud.com>

Œufs

Particularités des œufs :

- Jaune orangé
- De forme ovoïde avec sommet arrondi
- Longs de 1,5 mm
- Fixés par sur la face inférieure des feuilles

Particularités des larves :

- Organées
- 6 pattes noires
- Présence de points noirs sur les parties latérales

COCCINELLE



Adulte et œufs



Larve



<http://noscoccinelles.canalblog.com/>



Œufs

Particularités des œufs :

- Jaune pâle
- De forme ovoïde légèrement coniques, pointus
- Filiformes, allongés

Particularités des pupes :

- Immobile
- Taches noires sur la face dorsale

Fig. 8 : Critères de reconnaissance des œufs et des larves de coccinelles et de doryphores

Source personnelle données issues de <https://www.arvalis-infos.fr/se-proteger-de-la-voracite-des-doryphores-@/view-24919-arvarticle.html>



Fig. 9 : Photographie des dégâts causés par une forte pression larvaire

Légende : Photographie prise par Noëlle NEYRAT® à Saint Cyr les Champagnes sur l'exploitation de Wouter CAN MIL le 28 juin 2021 lors de la dernière notation de l'essai.©



Fig. 10 : Photographie d'une larve de doryphore s'attaquant à la tige d'un plant

Légende : Photographie prise par Noëlle NEYRAT® à Saint Cyr les Champagnes sur l'exploitation de Wouter CAN MIL le 28 juin 2021 lors de la dernière notation de l'essai.©

Les molécules de défense induites en réponse à la prise de nourriture du doryphore sont reconnues comme des attractifs par ses ennemis naturels ou ses prédateurs. Ceci a notamment été observé pour *Perillus bioculatus* et les 3^{ème} et 5^{ème} stades de *Podisus maculiventris* (Sablon *et al.*, 2013).

En cas d'attaque ou uniquement lorsqu'il est dérangé, le doryphore sécrète des produits chimiques dits défensifs. Circulant dans son hémolymphe*, la substance protéique synthétisée, la leptinotarsine est libérée par des glandes situées sous le pronotum* et sous les lignes noires des élytres. Les excréments des larves comme ceux des adultes contiendraient la même substance toxique (Giorgio Venturini). La leptinotarsine est une neurotoxine favorisant la libération de neurotransmetteurs, l'acétylcholine dans la fente synaptique (McClure *et al.*, 1980). Elle est principalement composée d'un dipeptide l'acide γ -L-glutamyl-L-2-amino-3(Z),5-hexadiénoïque (Daloze *et al.*, 1986) extrêmement toxique pour les vertébrés et les insectes en cas d'injection mais moins dangereuse par ingestion (Sablon *et al.*, 2013). Par exemple, chez les mammifères elle bloque les cellules des muscles cardiaques (Hsiao and Fraenkel, 1969). Un autre mécanisme de protection a été mis en place par les larves : l'aposématisme* (Boman, 2008). Elles sont parées de couleurs vives avertissant leurs potentiels prédateurs qu'elles ne sont pas comestibles. C'est notamment le cas du poulet qui est dissuadé de la consommer (Hough-Goldstein *et al.*, 1993a).

1.4.3. Facteurs favorables et confusions possibles

Certains facteurs peuvent exacerber la rapidité de développement de *L. decemlineata*. Trois éléments sont effectivement à prendre en compte dans son expansion. La température est le facteur modérateur le plus important (Ephytia) car elle influe directement sur le nombre de générations du ravageur en raccourcissant la durée de ses cycles. Parmi les autres conditions à considérer, il y a la pression parasitaire qui régnait sur la parcelle l'année précédente ainsi que la présence de plantes « hôtes » dans la flore bordant le champ (Alyokhin, 2007; Le Hingrat *et al.*, 2020).

Le doryphore est un insecte singulier qui ne peut être confondu avec aucun autre à l'état adulte. Or, il pourrait y avoir une confusion des œufs ainsi que de l'état larvaire de *L. decemlineata* avec la nymphe de la coccinelle à 7 points selon Arvalis (Fig. 8). Ces considérations seront à prendre en compte lors des notations « efficacité » de l'essai (Arvalis (b)).

1.4.4. Symptômes et dégâts

Le doryphore est considéré comme l'insecte défoliateur le plus important en culture de pommes de terre puisqu'il se nourrit du feuillage à l'état larvaire mais aussi une fois métamorphosé en adulte. Il peut simplement « grignoter » le contour des feuilles ou en cas de très forte pression (Fig. 9), consommer l'intégralité du feuillage avant de s'attaquer à tous les autres organes de *S. tuberosum* (Fig. 10), les tiges et les tubercules exposés. Mettre en place des système de lutte est donc, inévitable à défaut de quoi une culture entière peut être réduite à néant (Alyokhin, 2007). La pomme de terre est particulièrement sensible au stade « floraison », la production de tubercule étant réduite de 60 % quand la plante est totalement défoliée à ce stade charnière (Chambre d'agriculture de la Picardie, 2021). *L. decemlineata* est une espèce très vorace puisque un individu peut consommer jusqu'à 40 cm² de feuillage uniquement

Tab. III : Principales familles chimiques qui ont été ou qui sont encore utilisé dans la lutte contre *L. decemlineata* et pour lesquelles des résistances ont été observées

Source personnelle

Famille chimique	Localisation de la mutation	Sources
Carbamates	Mutation du site cible de l'acétylcholinestérase (Ach)	(Stankovic <i>et al.</i> , 2004; Irac)
Organophosphorés	Mutation du site cible de l'Ach	(Stankovic <i>et al.</i> , 2004; Irac)
Pyréthrinoïdes et pyréthrine	Mutation du site cible de des canaux sodiques Na ⁺	(Stankovic <i>et al.</i> , 2004)
Organochlorés de cyclodiène	Mutation du site cible des récepteurs au GABA	Stankovic <i>et al.</i> , 2004; Irac)
Néonicotinoïdes	Mutation du site cible de l'Ach	(Stankovic <i>et al.</i> , 2012; Szendrei <i>et al.</i> , 2012)
Analogues de la néréistoxine	Mutation du site cible de l'Ach	Stankovic <i>et al.</i> , 2004; Irac)

Tab. IV : Caractéristiques des produits utilisés pour lutter chimiquement contre le doryphore

Source : (Arvalis (b), Ephy)

Produit	Matière active	Famille chimique	Société créatrice
Sherpa 100 EC	Cyperméthrine	Pyréthrinoïdes	SMB Développement
Decline 1.5 EW	Deltaméthrine	Pyréthrinoïdes	Cheminova France
Coragen Pimp	Chlorantraniliprole	Diamide anthranilique	Unisem SA
Success 4	Spinosad	Macrolide	Sumitomo Chemical
Sumi alpha	Esfenvalérate	Pyréthrinoïdes	Philagro France
Karaté Zéon	λ-cyhalothrine	Pyréthrine	Syngenta France
Marave	τ- fluvalinate	Pyréthrinoïdes	SARL HMWC

Légende : En vert, il est identifié le seul produit homologué en AB.

au cours de son cycle larvaire contre 10 cm²/jour pour un adulte (Weber, 2003; Alyokhin, 2007). Effectivement, chacun des 4 stades larvaires est responsable respectivement de 3, 5, 15 et 77 % de la défoliation des pommes de terre (Gabaston, 2018). Plus l'attaque de la plantule a lieu tôt, plus les dommages sont préjudiciables pour la production (Tian, 1995). Une étude menée par Arvalis, a mis en évidence qu'une quarantaine de larves par plant réduisait le rendement de moitié. Aussi, il convient de mentionner qu'en consommant les feuilles, le doryphore limite la photosynthèse et donc la synthèse ainsi que l'accumulation de son produit, l'amidon (Le Hingrat *et al.*, 2020). Par ce biais, il réduit aussi bien le nombre que le poids des tubercules présents (Arvalis (a)). De fait, les pertes sont non négligeables puisqu'elles peuvent atteindre les 15 t/ha (Syngenta). En termes de répercussions économiques, le prix de la tonne de pomme de terre bio en Dordogne étant estimé à 1500 € en saison (Alfieri, communication personnelle), le montant des pertes s'élèverait à environ 22 500 €/ha. Le seuil de nuisibilité déclenchant la mise en place de méthode de lutte a donc été fixé à 2 foyers de larves pour 1000 m² soit 20 larves sur 2 plantes (Arvalis (a)). Cette nuisibilité notable explique certainement le fait que ce coléoptère soit classé par l'OEPP, Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la protection des plantes, comme organisme de quarantaine A2 (CABI and OEPP, 2003) et que Syngenta caractérise sa lutte « d'obligatoire ».

Il semblerait que le doryphore puisse aussi être vecteur de certaines maladies bactériennes comme les pourritures brunes ou annulaires. De surcroît, il favoriserait la synthèse de glycoalcaloïdes tels que la solanine et la chaconine dans les tubercules (CABI and OEPP, 2003; Lhote *et al.*, 2021), produits toxiques pour l'Homme à forte concentration (Dinkins and Peterson, 2008; Anses, 2014).

Globalement, il ressort que le doryphore présente un cycle biologique complexe, diversifié et flexible, lui permettant de bénéficier d'une grande diversité génétique et d'être particulièrement sujet à l'apparition de mutations source de résistance (Weber, 2003; Alyokhin *et al.*, 2008). Il possède également des systèmes de détection de ses plantes hôtes extrêmement performants qui en font un ravageur prolifique difficile à contrôler. Néanmoins, bon nombre de méthodes sont étudiées et développées dans l'objectif d'enrayer sa prolifération.

1.4.5. Stratégies de lutte

1.4.5.1. Méthodes chimiques

En dépit de l'apparition de résistances, les PPP demeurent encore à l'heure actuelle le principal moyen de lutter efficacement contre *L. decemlineata* que ce soit en conventionnel ou en bio. Selon Weber (2003) « aucun autre insecte n'illustre mieux le potentiel à développer une résistance aux insecticides ». Effectivement, l'IRAC recense environ 55 molécules appartenant aux principales familles chimiques (Tab.III) pour lesquelles il a été observé une résistance comme la deltaméthrine, le spinosad ou le Bt (Alyokhin *et al.*, 2008). Quelques matières actives sont encore utilisables (Tab.IV) dont une seule est utilisable en AB, le spinosad (Ephy). La majorité des produits encore homologués appartient à une même famille chimique, les pyréthréinoïdes ce qui risque d'exacerber l'apparition de

Tab. V : Méthodes de lutte mécaniques, physiques ou culturales*Source personnelle*

Recommandations	Caractéristiques	Sources
Buttage	Réaliser un buttage à la levée permettrait de retarder le cycle du ravageur.	(Tian, 1995)
Mélange de cultures	Le mélange de culture comme le blé, le maïs et pommes de terre peut contribuer à masquer les COV des pommes de terre.	(Tian, 1995)
Paillage	L'apport d'une couverture en paille de seigle permettrait de limiter l'infestation en doryphores en boostant le phénomène de prédation. De plus, la mise en place d'une paille de blé limiterait la défoliation d'un facteur compris entre 2,5 et 5. Ces mises en place sont limitées à de petites surfaces.	(Burst, 1884; Zehnder and Hough-Goldstein, 1990; Weber, 2003)
Pièges à kairo- ou phéromones	Des études sur les kairomones des Coléoptères sont rares, le seul exemple porte sur le doryphore. Des pièges à fosses avec la phéromone d'agrégation (S)-3,7-diméthyl-2-oxo-oct-6-ene-1,3-diol comme appât ont été testés. Plus de 5 fois plus de doryphores adultes ont été piégés dans la fosse avec la phéromone par rapport aux témoins. Cependant, l'attraction de la phéromone a diminué après 5 jours dans le champ.	(Kuhar <i>et al.</i> , 2006; Martel <i>et al.</i> , 2007; Sauvion <i>et al.</i> , 2013)
Cultures pièges	Des essais avec des cultures pièges sur le pourtour des champs de pommes de terre ont été menés. Cette méthode pourrait potentiellement être intéressante mais il faudrait avoir recours à des adulticides ou ramasser très fréquemment.	(Weber <i>et al.</i> , 1994; Hoy <i>et al.</i> , 2000)
Tranchées ou pièges fosse	A la sortie de l'hibernation, les adultes ne se déplacent que par la marche, si leur trajet entre le lieu d'hibernation et la parcelle est semé d'embûches cela complexifiera la colonisation. 95 % des coléoptères piégés n'ont pas pu ressortir puisque les pentes des tranchées sont recouvertes d'une bâche glissante.	(Misener <i>et al.</i> , 1993; Grandillot, 2019)
Traitement thermique	Des brûleurs au propane peuvent être employés à une température comprise entre 65 et 75 °C. Le passage rapide permet de brûler efficacement les pattes, les antennes et les articulations de 75 % des adultes hivernants. Un taux de mortalité des œufs de 35 % peut être attendu. Une attention particulière doit être portée à l'utilisation pour éviter de brûler sa culture.	(Tian, 1995; Pelletier <i>et al.</i> , 1995)
Biocollecteur - Aspiration	Fabrication allemande composée d'un aspirateur ou d'un souffleur qui récupère les larves ainsi que les adultes. La machine peut aspirer 90 % des grosses larves et 60 % des adultes. Pour les inconvénients, il faut noter que c'est une méthode chronophage 3h/ha et qui peut contribuer à la propagation des maladies.	(Boiteau <i>et al.</i> , 1992; Tian, 1995; Grandillot, 2019)
Rouleau brosse	Des maraîchers ont fabriqué artisanalement une machine avec des rouleaux brosses pour faire chuter les larves ainsi que les adultes. Les résultats seraient <i>a priori</i> meilleurs que pour le bio-collecteur. Attention, il est nécessaire de monter un bac de récupération à l'arrière des brosses.	(Grandillot, 2019)

résistance chez cet insecte qui y est déjà très enclin. De plus, la plupart de ces produits ciblent le stade le plus sensible, les larves (Arvalis (b)).

1.4.5.2. Méthodes agronomiques

Il n'existe aucune méthode de ce type qui soit curative, les mesures prophylactiques sont donc indispensables. Bien qu'elles soient inévitables, elles ne sont à elles seules pas suffisantes pour enrayer une forte pression parasitaire. En priorité, il faut respecter des rotations de cultures avec des délais de retour d'au moins 4 ans, l'optimal serait 6 ans pour limiter l'infestation des nouvelles parcelles. L'idéal serait de séparer les parcelles de plusieurs centaines de mètres (Weber, 2003). L'implantation des pommes de terre après des céréales à paille comme le blé ou le seigle permettrait de faire chuter la pression en doryphores de 98,5 % (Gabaston, 2018). La destruction des repousses et des tas de déchets où les adultes hivernants se retrouvent à leur sortie pour s'alimenter est aussi à prévoir. En outre, il est intéressant de ne pas travailler son sol en été pour éviter de faciliter la pénétration des larves pour leur nymphose ainsi que d'effectuer une plantation précoce permettant d'avoir un feuillage âgé et donc moins appétant au moment de l'attaque (Arvalis (b)). De nombreuses autres méthodes dites « physiques », « mécaniques » ou « culturales » ont été recherchées (Tab.V). A noter que la lutte mécanique cause de nombreux dommages indésirables aux plantes (Sablon *et al.*, 2013) et que ce type de lutte est encore une fois à utiliser en association avec d'autres.

1.4.5.3. Méthodes biologiques

L. decemlineata peut être sujet à la prédation d'ennemis naturels, c'est notamment le cas de *Lebia grandis*, un autre coléoptère. De nombreuses autres espèces d'arthropodes ont été testées pour connaître leur potentiel en tant qu'agents de biocontrôle du doryphore (Ann. VI). Les prédateurs vertébrés tels que le hérisson, la couleuvre ou les oiseaux dont *Passer domesticus*, le moineau commun ont aussi été identifiés. En ce qui concerne les parasitoïdes, une seule guêpe, *Edovum puttleri* aurait la capacité de parasiter les doryphores adultes. De plus, certaines plantes peuvent favoriser la prédation du doryphore et de ses œufs comme l'aneth ou la coriandre (Sauvion *et al.*, 2013). Des recherches ont également été menées sur les nématodes et bactéries entomopathogènes : *Steinernema feltiae*, *Isaria fumosorosea* ou *Bacillus pumilus*... En dépit de résultats parfois très encourageants, le contrôle efficace des populations de *L. decemlineata* ne peut pas uniquement reposer sur l'action d'ennemis naturels notamment pour un ravageur aussi prolifique. *A fortiori* lorsque les conditions climatiques sont défavorables aux auxiliaires qui ont des températures « seuil » de reproduction bien plus élevées que celles des ravageurs. Le temps nécessaire au doryphore pour réaliser un cycle biologique complet est aussi bien plus court que celui de ces prédateurs (Hough-Goldstein *et al.*, 1993b). En revanche, ce n'est pas le seul barrage à cet emploi. Il convient de souligner que les ennemis naturels proposés Annexe VI ne sont pas tous présents en France ni même en Europe. Une grande partie d'entre eux a été principalement observée aux USA, région native du doryphore ou en Russie. La France n'étant pas le pays natif du doryphore, il y a donc peu d'ennemis naturels. Cette absence est surement renforcée par le caractère aposématique* des larves avec leur couleur flamboyante qui alerte les éventuels prédateurs

Tab. VI : Liste d'extrait végétaux ayant été étudiés pour leur potentiel aspect toxique chez le doryphore

Source personnelle

Familles et espèces végétales	Résultats des études Impacts sur <i>L. decemlineata</i>	Références
Piperacées <i>Piper tuberculatum</i> <i>Piper nigrum</i>	L'étude a révélé que les extraits de poivrier avaient une activité neurotoxique ainsi qu'une activité d'inhibition de la chaîne respiratoire. Ceci est en partie dû à leur richesse en pipéramides contenus dans les alcaloïdes et la présence de fonction méthylènedioxyphényl. Ce sont les jeunes larves qui ont été le plus impactées par le traitement. 0,05 % de <i>P. nigrum</i> a tué jusqu'à 70 % des larves et a été efficace pendant une semaine. L'extrait de <i>P. tuberculatum</i> a 0,064 % a quant à lui, induit une mortalité de 50 % uniquement sur 24 heures. Les larves plus âgées, les pupes ainsi que les adultes ont été beaucoup moins sensibles au extrait de poivrier noir.	(Scott <i>et al.</i> , 2003; Gabaston, 2018)
Liliacées <i>Veratrum album</i>	D'autres travaux se sont portés sur l'extrait de rhizome de Véatré blanc synthétisant des stéroïdes, des stilbènes et des alcaloïdes. Des effets de toxiques puissants ont pu être mis en évidence mais c'est l'extraction associant le benzène et l'ammoniaque qui a donné les résultats. La CI50 était de l'ordre de 25 mg/L ce qui est équivalent à celle d'un insecticide chimique. L'article conclut que sur la base des résultats obtenus, les extraits peuvent être employé comme bioinsecticides.	(Aydin <i>et al.</i> , 2014)
Lamiacées <i>Salvia officinalis</i>	L'huile essentielle de sauge a provoqué une mortalité de 29 % chez les adultes et de 21 % chez les larves de 2 ^{ème} stade. La perte d'appétit à quant à celle était effective sur les larves pendant les 96 1 ^{ères} heures mais contrairement aux adultes qui n'ont pas été perturbés. Une réduction significative du nombre d'œufs pondus et de larves écloses a été constaté.	(Kostić <i>et al.</i> , 2007)
Lamiacées <i>Thymus vulgaris</i> <i>Satureja hortensis</i>	L'étude conduite par Pavela et collaborateurs s'est intéressée à la toxicité ainsi qu'au caractère anti appétant de plusieurs huiles essentielles de Lamiacées sur les larves de doryphore. Le thym et la sarriette ont obtenu les meilleurs résultats avec des doses entraînant la mort de 29 µg et 22 mg respectivement.	(Pavela <i>et al.</i> , 2009)
Terpénoïdes α-bisabolol Carvacrol Terpinen-4-ol Thymol	L'aspect anti-appétant sur doryphore adulte de 24 terpènes communs de plantes aromatiques a été évalué parmi lesquels 8 hydrocarbures monoterpéniques, 9 monoterpènes oxygénés, 2 monoterpènes estérifiés, 3 hydrocarbures sesquiterpéniques et 2 sesquiterpènes oxygénés. Le composé ayant obtenu la meilleure efficacité est le α-bisabolol cumulant une forte dissuasion alimentaire à 96,3 % et une faible phytotoxicité pour la pomme de terre. Viennent ensuite le carvacrol, le terpinen-4-ol, et le thymol avec respectivement 90,9 %, 87,1 % et 81,5 % d'inhibition de la prise alimentaire.	(Ortiz de Elguea-Culebras <i>et al.</i> , 2017)
Terpénoïdes-Huiles essentielles	D'autres HE ont été testées pour leur toxicité et leur antiappétance sur les adultes et les larves. C'est la sarriette dont le principal composant est le carvacrol qui a affiché le plus grand indice de dissuasion alimentaire et la plus grande toxicité. Les larves ont été 10 fois plus sensibles que les adultes.	(Taghizadeh Saroukolai <i>et al.</i> , 2014)
Apiacées Astéracées <i>A. archangelica</i> , <i>Grindelia camporum</i> <i>Inula auriculata</i>	75 extraits de plantes ont été testés et tous ont montré un impact sur les larves <i>L. decemlineata</i> qui se sont révélées très sensibles. 23 d'entre eux ont montré une efficacité supérieure à 95 % dont <i>A. archangelica</i> , <i>Grindelia camporum</i> et <i>Inula auriculata</i> ont montré la plus grande efficacité, avec des doses inférieures à 1µg/cm ² .	(Pavela, 2010)
Stilbènes* Tétramères vitisine A et B, hopeaphenol, les dimères ampelopsine A, E-ε-viniférine et le monomère E-resveratrol	L'extrait de stilbènes a induit une toxicité chronique, inhibant le développement des larves ainsi que la prise alimentaire. Les fortes concentrations de vitisine A et de vitisine B auraient largement contribué à cette toxicité. Des tests ont aussi été investigués sur les vers de terre <i>Eisenia fetida</i> , et il n'y aurait aucun impact sur les organismes non cibles. Les stilbènes issus des racines de vigne pourront potentiellement servir de bioinsecticides à l'avenir.	(Gabaston <i>et al.</i> , 2018)
Autre HE	L'huile essentielle de pamplemoussier, <i>Citrus paradisis</i> a donné des résultats encourageants l'année dernière chez ces maraichers. L'expérience est à renouveler.	Christian DAVID Fanny PUARD

de leur toxicité facilitant sans aucun doute leur prolifération (Boman, 2008). Par ailleurs, les prix actuellement pratiqués pour ces agents biologiques demeurent encore bien trop élevés pour qu'ils soient employés par tous les maraîchers. Un autre problème de l'introduction en masse de ces ennemis naturels est leur régime alimentaire varié (Hough-Goldstein *et al.*, 1993b). Ils ne se nourrissent pas exclusivement du doryphore, rendant leur action aléatoire. C'est pourquoi, il est préférable de réfléchir cette méthode en combinaison avec une autre !

1.4.5.4. Méthodes génétiques

Actuellement, les maraîchers ne peuvent trouver que peu de plants résistants aux doryphores. Certaines variétés sauvages comme *Solanum berthaultii*, *S. chacoense*, *S. pinnatisectum*, *S. tarijense* sont naturellement résistantes (CABI and OEPP, 2003). Des tests ont déjà été réalisés avec des OGM qui d'un point de vue efficacité sont très performants. En revanche, leur commercialisation est inenvisageable à l'heure actuelle car ils ne sont acceptés ni socialement ni éthiquement (Weber, 2003; Coombs *et al.*, 2003; Sablon *et al.*, 2013). D'autres facteurs de résistances sont étudiés comme les trichomes* (Pelletier and Smilowitz, 1990; Pelletier and Dutheil, 2006; Sauvion *et al.*, 2013; Maharijaya and Vosman, 2015), la teneur en glycoalcaloïdes* (Barbour and Kennedy, 1991; Kowalski *et al.*, 1999; Pelletier *et al.*, 2001). En revanche, pour les glycoalcaloïdes, des teneurs « seuil » ne doivent pas être dépassées car ces composés sont toxiques pour l'Homme à fortes doses (Dinkins and Peterson, 2008). Un autre problème de cette méthode est la difficulté à effectuer des croisements génétiques (stérilité hybride).

1.4.5.5. Extraits végétaux naturels

Également appelés « insecticides végétaux », les extraits naturels de plantes sont riches en métabolites secondaires* utilisés comme substance active contre les insectes. La communauté scientifique témoigne un vif intérêt à ce sujet de recherche comme peut en témoigner le nombre de publications qui lui est consacré (Isman, 2015). Cet engouement s'explique en partie par le retrait du marché d'une grande partie des produits phytosanitaires de synthèse dont les aspects négatifs sont multiples. Les extraits, eux, présentent de qualités indéniables : biodégradables, de fait, peu persistants dans l'environnement et peu nocifs (Gabaston, 2018) qui pourraient être utilisés dans la conception de « biopesticides ». Là encore un nombre considérable d'expériences ont été menées et se sont révélées être concluantes (Tab.VI). Ces composés, qui sont pour la plupart des huiles essentielles (HE) peuvent avoir des effets divers et variés : attractifs, répulsifs, anti-appétants... Par contre, il a été conclu que les complexes de composés sont bien plus efficaces que les composés purs ou seuls car les molécules dites « mineures » sont en capacité de réagir entre elles ou avec des composés majeurs pour créer un mélange très spécifique : c'est la synergie (Ioset *et al.*, 2001).

Pour tenter de résoudre les problématiques liées aux attaques de doryphores, il a été testé dans la présente étude, des produits pouvant potentiellement constituer des alternatives prometteuses en tant que moyens de lutte. Le protocole de ces essais ainsi que les éléments suivis et la manière dont ils le sont seront proposés dans la partie suivante : matériel et méthodes. La troisième partie est dédiée aux

Tab. VII : Caractéristiques des produits testés au sein de l'essai*Source personnelle, données issues des fiches produits*

N° modalité	Nom du produit	Substance active	Type formulation	Concentration SA	Quantité à l'hectare	Type d'application
T1	Success 4	Spinosad	SC	480 g/L	0,0075 L/ha	Pulvérisation
M1	ELICIT-V27®	Ortie, Ail, Raifort sauvage, Sauge officinale, HE d'Origan vulgaire et Romarin officinale	GR	Non communiqué	200 kg/ha	Granulés
	Répulso®	Ail, raifort sauvage, Saponaire officinale, HE d'Origan vulgaire, Menthe poivrée	Solution hydro-dispersible concentrée	Non communiqué	10L/200L/ha	Pulvérisation
M2	Sokalciarbo® WP	Cœur de kaolin anhydre	WP	100 %	Respecter dilution à 5 % 20kg/400L/ha	Pulvérisation

résultats des différents relevés : évaluation des populations d'adultes, des foyers et des larves. Enfin, ces résultats seront discutés afin de déterminer si à terme, les produits testés pourraient constituer une alternative au Success 4® qui est lui-même une alternative au Novodor®.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

Pour le matériel végétal, 2 variétés différentes de pommes de terre ont été utilisées pour les essais. Wouter VAN MIL a utilisé de la « Levante » en provenance des Pays Bas qui est une variété résistante à *Phytophthora infestans*, le mildiou. Frédéric COGET a, quant à lui, mis à la disposition de l'association une parcelle plantée avec la variété « Zen ». Les semences des 2 maraîchers sont certifiées bio. Plusieurs types de produits sont testés au cours de ces essais : homologués ou non, à usage foliaire ou en granulés à incorporer au sol.

Commercialisé par Dow Agrosiences, le **Success 4®** est homologué sur de nombreux types de cultures : vigne, arboriculture, cultures maraîchères, industrielles et tropicales pour lutter contre de multiples ordres de ravageurs tels que les diptères, les coléoptères, les lépidoptères... Il intègre à sa composition du spinosad dosé à 480 g/L, substance active de la famille des spinosynes (Tab.VII). Ces dernières sont obtenues par fermentation de *Saccharopolyspora spinosa*, une bactérie du sol qui produit des métabolites secondaires, les spinosynes A et D ayant des propriétés insecticides. Le spinosad agit à la fois par contact et par ingestion chez les larves et certains adultes, mais l'action par ingestion serait 5 à 10 fois plus efficace. Qualifié d'insecticide neuroactif, il provoque une excitation du système nerveux, notamment des récepteurs nicotiniques et les récepteurs GABA induisant une paralysie totale du ravageur qui meurt d'inanition. En culture de pomme de terre, le Success 4® est à pulvériser à 0,075 L/ha sur petites larves L1-L2 en dehors de la floraison pour éviter d'impacter des auxiliaires. 2 applications à l'année sont possibles espacées d'au minimum 10 jours. Le délai de réentrée (DRE) ainsi que le délai avant récolte sont respectivement fixés à 6 heures et 7 jours (Dow AgroSciences, 2013). Ce produit fait figure de témoin positif de l'essai.

Le produit proposé par Herbovital a été réfléchi sous forme de 2 produits complémentaires utilisables en AB à appliquer en préventif. **ELICIT-V27®** se trouve sous la forme de granulés de 5 mm d'épaisseur à épandre 3 semaines avant la plantation des pommes de terre à raison de 100 kg/ha. Il est recommandé de les incorporer le soir avant plantation et après récolte chaque année (Legrand, 2021a). Il permettrait de réguler l'émergence des adultes diapausant en créant un milieu qui leur est défavorable. Le **Répulso®**, est une solution hydro-dispersible à appliquer tard le soir ou tôt le matin à la dose de 10L/200L/ha pour limiter l'impact sur les auxiliaires. Les produits étant testés pour la 1^{ère} fois au champs, la posologie pourra être adaptée en fonction des résultats. Ce traitement foliaire agirait de façon systémique sur la plante et par contact lorsqu'il est pulvérisé sur les doryphores. Le mode d'action n'étant pas connu, il est proposé que Répulso agirait comme un répulsif pour les insectes adultes mais serait toxique pour les larves. Les applications sont cadencées, toutes les 3 semaines de la levée des

Tab. VIII : Informations relatives aux parcelles accueillant les essais

Source personnelle

	Frédéric COGET	Wouter VAN MIL
Lieux	66 route des Nebouts, 24130 Prignonrieux	La Nontronie Est, 24270 Saint Cyr les Champagnes
Coordonnées GPS	44° 50' 25.65'' N 0° 25' 50.13'' E	45° 22' 20,11'' N 1°17' 42,88'' E
Surface	40 ares	32 ares
Nature du sol	Alluvions, sablo-limoneux	Limono-sableux
Vent dominant	Ouest et Sud-Ouest	Sud-Ouest
Précédents culturels	Poireaux	Engrais vert : phacélie, trèfle et prairie
Flore environnante	Allée de cyprès et verger de châtaignier à l'Est	Forêt au Sud
Pente	2 %	4 %
Exposition	Nord-Sud	Nord-Ouest
Date certification bio	2019	2016
	L'organisme certificateur, Ecocert, ne demande aucune analyse de sol pour rechercher présence éventuelle de produits phytosanitaires.	
Antécédents phytosanitaires	Jusqu'en 2016, le parcellaire était exploité par le Centre Interrégional de Recherche et d'Expérimentation de la Fraise (CIREF) qui était en conventionnel. Il utilisait notamment de grandes quantités de bromure de méthyle ou bromométhane , biocide qui serait très persistant.	Jusqu'en 2016, les terrains appartenaient à des particuliers qui ne conduisaient aucune culture. Avant, toute la superficie qui leur appartient actuellement était en prairie naturelle.

plants de pommes de terre jusqu'à la récolte. Il convient de renouveler le traitement en cas de pluies supérieures à 20 mm. Ces 2 produits d'origine naturelle à 100 % (Tab.VII), auraient un effet biostimulant, renforceraient les grandes fonctions physiologiques de la plante, en renforçant la protection cellulaire des parois végétales et créeraient un milieu défavorable au doryphore (Legrand, 2021a,b).

Marque déposée par Agrisnergie, le **Sokalciarbo WP®** est un produit à base de cœur de kaolin calciné à 100 % homologué en AB. A pulvériser en préventif à 20kg/400L/ha sous forme de poudre mouillable (Tab.VII), il peut être appliqué sur vigne, pêcher, fruit à coques...pour lutter contre divers ravageurs comme les cicadelles, les pucerons et autres. De l'argile avait déjà été testé lors de l'essai mené en 2019 par Agrobio Périgord mais c'est la 1^{ère} fois que ce produit est testé sur le doryphore. Une fois appliquée, la poudre constitue une barrière minérale qui serait répulsive pour les adultes. Elle participerait principalement à une perturbation chromatique et à une dissuasion alimentaire (Agrisnergie). Cette modalité a été uniquement testée sur un des 2 essais.

D'autres produits étaient en lice pour être testés sur la seconde modalité M2 chez Frédéric COGET : huile essentielle de *Citrus paradisi*, du sucre, de l'extrait d'ail, de l'homéopathie Doryphora 30 CH, de la terre de diatomée, et des nématodes ...mais pour des raisons techniques et organisationnelles c'est l'argile qui a été retenue.

Il aurait été préférable d'utiliser de l'eau de pluie avec un pH proche de 6 pour traiter. En l'absence d'eau de pluie, il a été employé l'eau du robinet de Coursac. Cette dernière ayant un pH situé aux alentours de 7,7, elle a systématiquement été traitée avec du vinaigre pour l'abaisser, à une dose de ~12 mL pour 10 L d'eau. Un pH au-dessus de 7 aurait pu induire la fermeture des stomates, effet contraire à celui recherché pour la pénétration des produits (Legrand, communication personnelle).

2.2. Méthodes

2.2.1. Itinéraire technique de l'essai

2.2.1.1. Choix de la parcelle agricole

Le choix du lieu d'implantation des essais est primordial puisqu'il constitue le support de base à l'étude et en détermine en grande partie la réussite. Un des premiers éléments à rechercher est l'homogénéité que ce soit en termes de nature du sol ou dans le cas présent d'infestation en ravageur. C'est pour cela qu'il est préférable de se fier aux maraîchers et à leur connaissance de la parcelle. Ici, l'idéal aurait été de se positionner sur une parcelle avec un précédent pommes de terre, assurant une forte pression parasitaire. Or, cela est contraire aux mesures prophylactiques, aucun maraîcher ne gère ses rotations de la sorte. Un autre paramètre à prendre en compte est la proximité d'un accès (chemin ou route) étant donné le nombre d'intervention à venir. De plus, il est généralement recherché des parcelles peu pentues pour éviter les dérives ou les lessivages lors des traitements. Le premier essai se trouve chez Frédéric COGET à Prigonrieux dans le Sud-Ouest de la Dordogne (24) alors que le second situé sur le commune de Saint Cyr les Champagnes chez Wouter VAN MIL est plutôt au Nord-Est du département. Les caractéristiques de chaque parcelle agricole sont présentées Tab. VIII. Les 2 parcelles

Tab. IX : Itinéraire technique mené sur les parcelles des maraîchers*Source personnelle*

	Frédéric COGET (A)	Wouter VAN MIL (B)
Travail du sol	Mars-avril : 2 passages de vibroculteur pour les faux semis	Mars-avril : passage outil à dents pour détruire engrais vert Rotavator à 15 jours intervalle
Désherbage	07/04, 23/04, 29/05 : 3 buttages 29/04, 31/05, 22/06 : Désherbage manuel notamment des plantes qui montent à graines	14/04, 09/05, 07/06, 25/06 : 4 buttages Passage de la herse étrille
Fertilisation	Engrais vert dans les précédents : sorgho fourrager 23/04 : - 25-30 t/ha compost Paprek : déchets verts - 350 kg de Germiflor 9-5-0 + magnésite - 350 kg de Patenkali 400 kg de tourteau de ricin * 2 (29/05)	Mars – avril : - Engrais vert en précédent - 30-35 t/ha fumier bovin - 31/05 : 600 kg/ha de poudre de basalte
Irrigation	A partir de début juin : 2h/tour, 10-20 mm/tour, Asperion intégrale 6*6	Juste avant la floraison, 20 mm puis 25-35 mm/tour, 1 tour/semaine, asperseur tous les 18m
Fongique	09/06 : traitement cuprique à 2 kg/ha (Solabiol 20 K) combiné avec du Success et un mouillant, le savon noir (50mL/40 ares)	Pas de traitement fongique
Insecticide	20/05 : 200 kg/ha gros sel : taupin Ramassage manuel * 4 : doryphore 09/06, 18/06 : 2 traitements au Success 4 à 15 mL/40 ares : doryphore	Ramassage manuel * 4 : doryphore 17/06, 05/07 traitement au Success 4 : doryphore 31/05 : poudre de basalte pour freiner le développement des larves.
Défanage	Gyrobroyeur, 3 semaines avant récolte	Mi-août passage de faucheuse
Récolte	Sortie à la machine, mise en caisse à la main fin août	A la machine début septembre

Tab. X : Caractéristiques de chacun des dispositifs expérimentaux*Source personnelle*

	Frédéric COGET (A)	Wouter VAN MIL (B)
Type de dispositif	Carré latin	Fisher
Arrangement des blocs	Empilé	
Implantation des blocs	Perpendiculaire aux planches/travail du sol	
Randomisation	Oui	
Nombre de répétitions	4	
Nombre de modalités	4	3
Nombre total de parcelles/essai	16	12
Unité de l'essai	Micro-placette	
Distance entre les blocs	1 m	
Longueur des placettes	6 m	5 m
Largueur des placettes	1,5 m	
Surface des placettes	9 m ²	7,5 m ²
Nombre de rangs/placette	2	
Nombre de plants moyen/placette	≈ 36	≈ 35

sont certifiées bio par Ecocert. Pour faciliter la lecture, les essais seront dorénavant nommés « essai A » pour Frédéric COGET et « essai B » en référence à l'essai de Wouter VAN MIL.

2.2.1.2. *Maintenance « hors » essai*

La conduite culturale en dehors de l'essai est réalisée par les soins des maraîchers qui doivent être méticuleux pour ne pas fausser les résultats de l'expérimentation. La plupart de leurs interventions ont été consignées Tab.IX. Au vu des objectifs de l'étude, traiter la surface de l'essai avec un insecticide (un seul est utilisable en AB, le Success 4[®]) leur a été formellement interdit. Le reste de l'itinéraire de culture, protection phytosanitaire et fertilisation ont globalement été les mêmes sur l'essai que sur leur parcelle à vocation commerciale.

2.2.1.3. *Dispositifs expérimentaux*

Les dispositifs expérimentaux retenus pour les 2 essais sont des « essais en micro-parcelles ». A noter qu'un essai de type « in-vitro » est prévu par l'Association Collaborative de Production, d'Expérimentation et de références légumières (ACPEL). Les dispositifs en placettes sont différents sur les 2 sites mais ils comportent tous 4 blocs superposés dont 3 sont randomisés. La première répétition, elle, est toujours classée dans l'ordre. Les blocs constituent des répétitions de modalités dans l'espace. Chacun abrite 3 ou 4 micro-parcelles en fonction des sites permettant de tester les 3 ou 4 modalités. Chacune de ces modalités n'est présente au sein du bloc qu'une seule fois. Ces types de design randomisés sont souvent utilisés pour les expérimentations qui nécessitent une récolte ou tout simplement pour modérer une éventuelle hétérogénéité appelé facteur de nuisibilité (ex : infestation) qui ne peut être contrôlé autrement (Gauchi, 2016). Frédéric COGET ayant plus de place à mettre à disposition de l'expérimentation, l'essai A comporte 4 blocs de 4 placettes élémentaires de 9 m² chacune (Ann. VII). Le nombre de répétitions étant similaire à celui des modalités, il a été privilégié un dispositif en carré latin. Les modalités y sont rangées de manière stricte pour qu'un même traitement n'apparaisse qu'une seule fois dans une même colonne et une même ligne. Chez Wouter, l'essai B est conçu selon le dispositif de Fisher (Ann. VIII). Il est un peu plus petit que le précédent puisque 3 modalités uniquement y sont testées, répétées 4 fois sur des unités expérimentales de 7,5 m². Les 2 dispositifs possèdent néanmoins des caractéristiques communes. Premièrement, il y a la présence de bordures tout autour de l'essai pour « isoler » le reste de la parcelle à vocation commerciale. Ces bordures permettent ainsi de contenir la pression parasitaire au sein de l'essai dans le but de ne pas contaminer la parcelle de l'agriculteur. Des passages ou espaces vides ont également été positionnés entre chaque micro-parcelle pour faciliter la circulation lors des notations et des traitements mais aussi pour limiter les biais expérimentaux tels que les transferts de larves d'une modalité à une autre par le feuillage. Et ce, à la différence près que pour l'essai A le passage est large de 2 rangs de pommes de terre alors que pour l'essai B, il s'agit d'un seul rang.

Un autre point commun est l'existence d'allées inter-blocs non plantées de 1m chacune. Enfin, toutes les parcelles sont constituées de 2 rangées de pommes de terre, à la différence que les placettes de l'essai A accueillent ~36 plants alors que l'essai B en comptabilise ~ 34 (Tab. X).

Tab. XI : Données liées à la plantation des pommes de terre sur les 2 essais*Source personnelle*

	Frédéric COGET (A)	Wouter VAN MIL (B)
Date de plantation	7 avril 2021	14 avril 2021
Date de levée à 90 %	2 mai	14 mai
Densité	≈ 43 000 pieds/ha	≈ 45 500 pieds/ha
Profondeur de plantation	5 cm	6 ou 7 cm
Ecartement inter-rang	70 cm	75 cm
Ecartement intra-rang	33 cm	28 cm
Matériel	Planteuse super prefer 2 rangs	Planteuse perdue standard courte 2 rangs (conçue pour la plantation des mottes)
Surface totale de l'essai	507,21 m ²	238,5 m ²

Tab. XII : Modalités et traitement de l'essai B*Source personnelle, données issues du protocole*

Applications		Modalités	Produits	Dose (mL)	Volume eau (mL)	Volume de bouillie (mL)
Date	Type					
Application A 14/05/2021	Pré-émergence	T0	Eau	167	167	167
		M1	Répulso®	8	159	167
Application B 26/05/2021	Post-émergence adulte Pré-émergence œufs et larves	T0	Eau	200	200	200
		M1	Répulso®	10	190	200
Application C 07/06/2021	Post-émergence	T0	Eau	450	450	450
		M1	Répulso®	23	427	450
Application D 15/06/2021	Post-émergence	T0	Eau	600	600	600
		M1	Répulso®	30	570	600
		T1	Success 4®	0,24	600	≈ 600
Application E 25/06/2021	Post-émergence	T0	Eau	600	600	600
		M1	Répulso®	30	570	600

Légende : Les témoins négatifs traités à l'eau sont identifiés par la couleur bleue. Le témoin positif traité au Success 4® est caractérisé par la couleur jaune. Les doses de produits sont données pour une modalité d'un bloc à l'exception du Success 4® où un prélèvement unique a été effectué puisque la précision du matériel à disposition n'était pas suffisante pour prélever la quantité nécessaire placette par placette. Pour avoir la quantité totale de produit appliquée sur l'essai à une date donnée, il faut multiplier les doses par 4.

La 1^{ère} pulvérisation a eu lieu alors qu'il n'y avait pas encore de doryphore sur l'essai. Ce type de traitement est donc appelé « pré-émergence » du ravageur. La 2^{de} application a uniquement touché les adultes, les œufs n'ayant pas encore été pondus. Pour les 3 suivantes, les produits ont touchés à la fois les adultes, les larves et les œufs.

**Fig. 11 : Photographie du matériel de traitement**

Légende : Photographie prise par Noëlle NEYRAT® à Prignonieux sur l'exploitation de Frédéric COGET le 27 mai 2021 lors du 3^{ème} traitement de l'essai.©

Pour ces essais, les témoins, qu'ils soient positifs ou négatifs sont dits « inclus » c'est-à-dire qu'ils sont considérés de la même manière que les autres modalités (dimensions, forme...).

2.2.2. Protocole d'essai

2.2.2.1. Implantation des essais

Les essais A et B ont été piquetés avant la plantation des pommes de terre compte tenu de l'incorporation des granulés qui devait être effectuée 3 semaines avant, respectivement le 24/03 et le 25/03. A noter que l'implantation se fait généralement au milieu des parcelles afin de limiter les effets bordures. Toutefois, dans la mesure où les dispositifs ont été positionnés chez des maraîchers volontaires d'Agrobio Périgord, ils ont été installés dans les parcelles de manière à les gêner le moins possible, c'est-à-dire dans le coin inférieur gauche. Les dates de plantation et de levée, la profondeur de semis, les espacements inter et intra rang sont donnés Tab. XI. Les plantations ont été réalisées parallèlement au travail du sol effectué par les paysans. Les blocs sont quant à eux disposés perpendiculairement au travail du sol. L'idéal aurait été de positionner les blocs de l'essai parallèlement au travail du sol pour exposer de façon uniforme l'ensemble des parcelles d'un même bloc à une éventuelle différence de travail du sol. En d'autres termes, il faut tenir compte des gradients d'hétérogénéité.

2.2.2.2. Traitements : applications et modalités testées

Au total, l'essai A comme l'essai B a reçu 5 traitements mais à des dates différentes en fonction de la météo, des possibilités techniques et organisationnelles. Ces pulvérisations ont été effectuées à des volumes/ha croissant en fonction du feuillage, avant, pendant et après l'apparition des ravageurs (Tab.XII et Ann. IX). Pour ce faire, 2 pulvérisateurs manuels différents ont été employés : un Berthoud ayant une seule buse de type 8 pulvérisant à 3 bars (Fig.11) et un Technoma permettant aussi de pulvériser à 3 bars mais avec une buse de 12 qui débitait beaucoup plus rapidement que le précédent pulvérisateur. Le Technoma est uniquement utilisé pour traiter la modalité à l'argile qui, en cas de mauvais mélange de la poudre, pourrait boucher les buses. De plus, les bouillies comme les pesées et prélèvements de produits sont effectués sur le terrain à l'aide d'une balance de précision et des seringues. La quantité de bouillie appliquée étant fonction de la croissance des plants de pommes de terre, aucune préparation ne peut être faite en amont. Un test de pulvérisation avec des bandelettes hydrosensibles est réalisé à chaque fois sur les bordures afin de connaître le volume de bouillie nécessaire pour couvrir l'ensemble du feuillage dessus et dessous, sur le côté interne et le côté externe du rang.

A propos des 4 modalités, elles sont répétées 4 fois afin de pouvoir réaliser des statistiques sur l'efficacité des produits. Parmi elles, diverses conditions sont testées :

▪ **Les témoins** : la validité d'un essai est régie par la présence de témoins positifs et de témoins négatifs. Chacun permet de prouver que l'expérience a fonctionné. D'une part, le témoin positif est traité avec un produit homologué dit « de référence » ayant une efficacité prouvée. D'autre part, le témoin négatif lui, permet de confirmer la présence d'un niveau d'infestation en ravageur suffisant, ici le doryphore et d'en caractériser les dynamiques de croissance en l'absence de traitements insecticides. Il

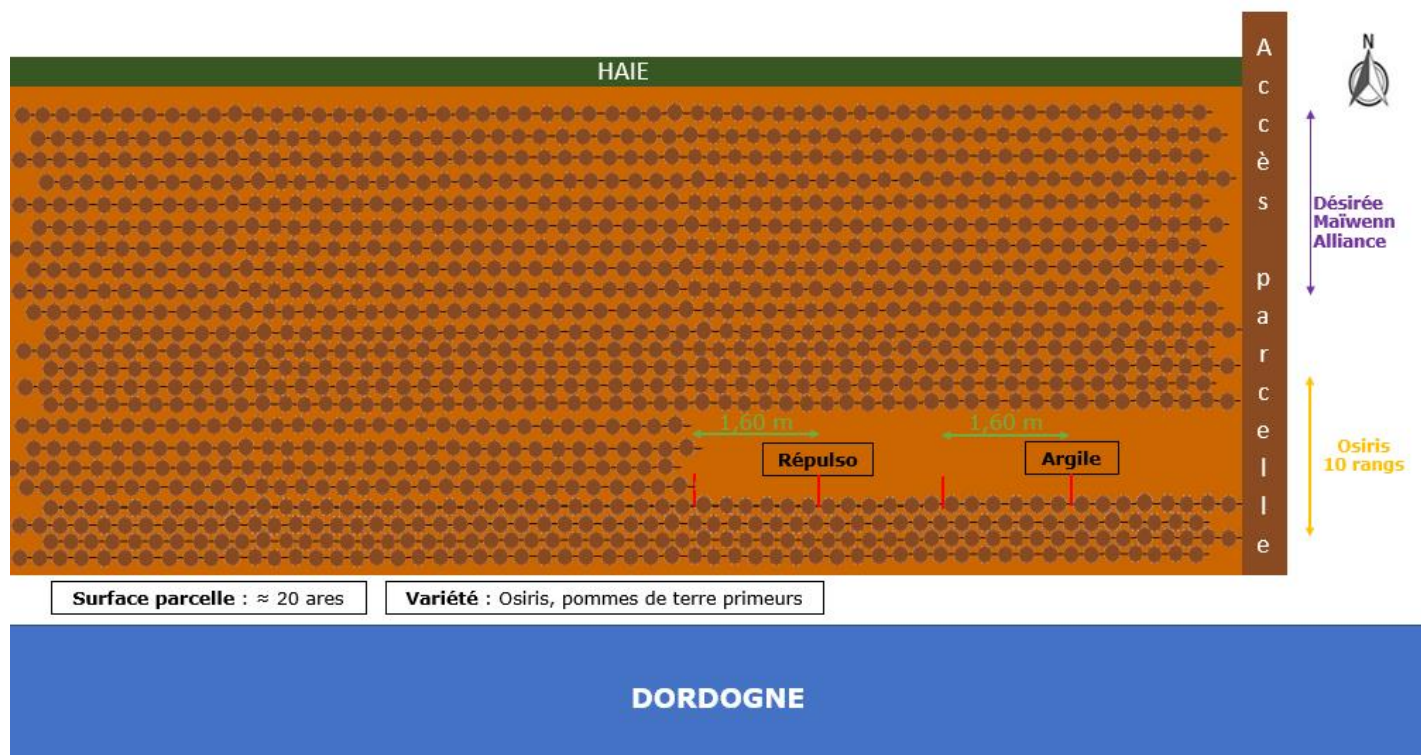


Fig. 12 : Schéma matérialisant l'emplacement des tests de phytotoxicité
Source personnelle

ne reçoit aucun traitement ou dans certains cas, de l'eau ; le but étant d'imiter autant que possible les applications effectuées sur les autres modalités.

▪ **Les nouveaux produits** : le complexe ELICIT-V27[®] en granulés combiné à des traitements foliaires au Répulso[®] constituent la modalité M1, c'est une association de produit qui est évaluée. Sokalciarbo[®], quant à lui, testé en M2 est un produit pulvérisé seul pour évaluer le comportement du ravageur vis-à-vis de la substance seule.

Les produits testés dans l'expérience ayant des modes d'action différents, le nombre d'applications de chacun d'entre eux n'a pas été le même. Les substances actives (SA) dont il est recherché à évaluer l'efficacité, ELICIT-V27[®] et le Répulso[®] (M1) ainsi que le Sokalciarbo[®] (M2) sont appliqués de manière cadencée toutes les 3 semaines, à condition qu'aucune pluie > 20 mm ne soit tombée, auquel cas il faut retraiter. Le témoin négatif traité à l'eau (T0) a suivi le même rythme de traitement. En revanche, la modalité T1 pulvérisée au Success 4[®] a uniquement été traitée une fois sur les 2 sites, au stade larvaire optimal L1-L2.

A la fin de l'essai, toutes les modalités doivent être traitées au Success 4[®] pour abaisser la pression. Ce traitement a été fait sur les 2 essais semaine 26.

2.2.2.3. *Notations : variables suivies*

Au cours de ces essais divers éléments ont été mesurés, relevés puis analysés afin d'étudier l'efficacité des substances testées.

▪ **Comptage des doryphores**

Trois variables quantitatives ont été suivies : le nombre d'adultes/plant, le nombre de foyers d'œufs/plant ainsi que le nombre de larves/plant. Les 1^{ères} notations ont commencé au mois de mai sur les 2 essais, dès la levée des plants, mais à des dates différentes. Pour l'essai A, 8 notations ont été effectuées contre 9 pour l'essai B. Une notation par semaine est normalement réalisée mais l'intervalle de temps entre 2 notations n'est pas fixe ($\neq$ 7 jours). Il avait aussi été envisagé de faire 2 relevés pour encadrer le traitement au Success 4[®] la semaine où il aurait lieu. En raison du temps et du coût « salarié » que cela a induit, cette notation a été effectuée uniquement sur un des 2 essais.

▪ **Récolte de l'essai**

Ce type de procédé a pour but de confirmer les notations précédentes grâce à des données mesurées et non observées comme le rendement. D'autres variables pourraient aussi être étudiées comme le calibre des pommes de terre ou encore le nombre de tubercules par pied. La récolte peut être effectuée à la machine ou à la main en fonction du matériel mis à disposition par les maraîchers. Le rendement/placette doit normalement être évalué mais la récolte ayant lieu fin août-début septembre, les résultats ne pourront être présentés. Une seule notation est nécessaire pour acquérir la donnée.

▪ **Autres**

Un test de phytotoxicité a été effectué avant de débiter l'essai. Il a eu lieu chez Frédéric COGET le 3 mai sur des pommes de terre primeurs de la variété Osiris (Fig. 12). Les pulvérisations ont été faites



Fig. 13 : Photographie de l'organisation spatiale du test de phytotoxicité
Légende : Photographie prise par Noëlle NEYRAT à Prigonrieux sur la parcelle de pommes de terre primeurs le 3 mai 2021 après la pulvérisation des produits.

Tabl. XIII : Caractéristiques des stations relevant les données météorologiques (températures minimales, température maximales, pluviométrie...) sur les 2 communes où sont localisés les essais

Source personnelle, données issues de <https://www.infoclimat.fr/>

Caractéristiques	Frédéric COGET	Wouter VAN MIL
Département	Dordogne (24)	Corrèze (19)
Commune	Bergerac-Roumanière	Ségur-le-Château
Altitude	51 m	367 m
Coordonnées GPS	44,82°N, 0,52 °E	45,43°N, 1,30 °E
Distance entre la station et l'essai	12 km	6 km

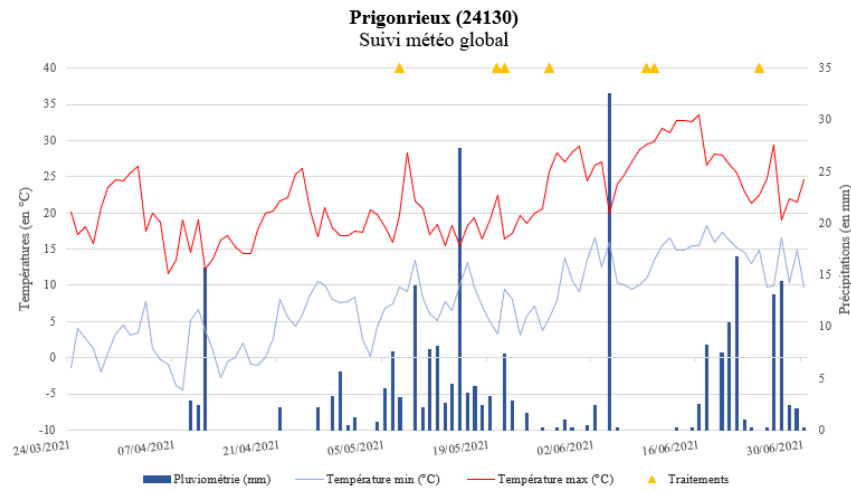


Fig. 14 : Evolution des températures et de la pluviométrie au cours des 4 mois de suivi de l'essai A à Prigonrieux

Source personnelle, données issues <https://www.infoclimat.fr/>

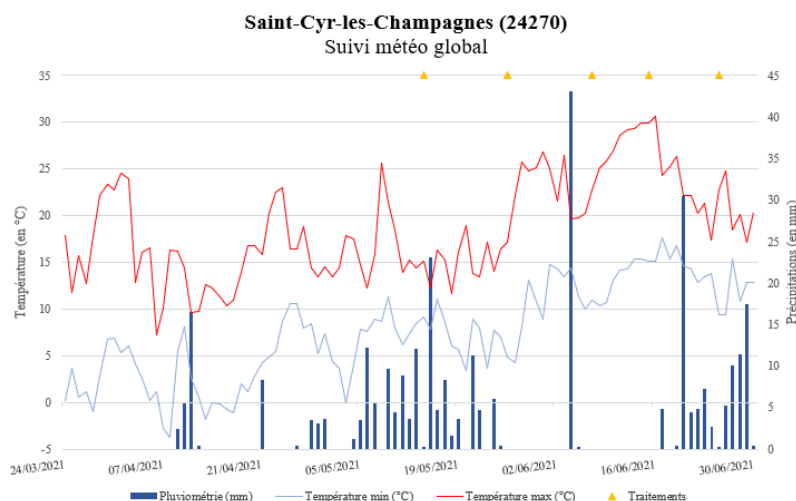


Fig. 15 : Evolution des températures et de la pluviométrie au cours des 4 mois de suivi de l'essai B à Saint Cyr les Champagnes

Source personnelle, données issues <https://www.infoclimat.fr/>

sur 5 plants de pommes de terre pour chacun des 2 nouveaux produits foliaires testés. Les 2 traitements sont testés sur une même rangée de pommes de terre espacés entre eux de 5 plants (Fig. 13).

Par ailleurs, des tests de toxicité in-vitro pour le Répulso[®] ont été réalisés par Samuel MENARD de l'ACPEL pour déterminer le degrés de toxicité en conditions de laboratoire.

2.2.2.4. Analyse statistique

Pour déterminer si les données recueillies lors des notations sont fiables et pour attester qu'une modalité est plus performante qu'une autre, des tests statistiques devraient être effectués, le but étant d'étudier l'efficacité des différents traitements contre *L. decemlineata*. Les données brutes sont analysées avec le logiciel R Studio. Un arbre de décisions a été réalisé pour comprendre comment s'est fait le choix des tests statistiques (Ann. X).

A l'issue des notations, 3 variables sont testées une à une, il faut donc faire un test univarié à 2 facteurs qualitatifs (blocs et traitements) avec plus de 2 modalités (3 ou 4 selon l'essai). Il est préconisé d'effectuer une ANOVA à 2 facteurs. Avant d'utiliser ce test paramétrique, 3 conditions doivent être vérifiées : l'indépendance des données avec un test de Durbin-Watson, la normalité de la distribution des résidus via un test de Shapiro-Wilk et l'homoscédasticité avec le test de Levene . Etant donné que dans la plupart des cas les conditions ne sont pas respectées, il est effectué une transformation des données du type logarithmique pour les distributions déviées à droite et une transformation de type racine carrée + 0,5 qui est plus adaptée aux données de comptages dont la distribution est déviée vers la gauche. A la suite de quoi, les 3 conditions sont revérifiées pour savoir si l'ANOVA peut avoir lieu. La réponse étant négative (Ann. XI et XII), il convient de se diriger vers des tests non paramétriques moins puissants n'ayant recours à aucune condition préalable pour leur utilisation. Dans le cas de l'ANOVA à 2 facteurs l'alternative non paramétrique est le test de Friedman couplé à un test post hoc de Conover. En raison de difficultés d'organisation, sans l'appui de statisticiens et par manque de connaissances sur ces 2 derniers tests, ils n'ont pu être réalisés de façon fiable permettant de conclure statistiquement. Il ne sera donc proposé dans la partie suivante que des statistiques descriptives où seules des tendances pourront être données.

3. RESULTATS

3.1. Données météorologiques

Les données météorologiques permettent d'avoir un suivi correspondant au modèle biologique. Elles sont issues du site « infoclimat » et ont été relevées à partir de la date d'incorporation au sol des granulés soit le 24 mars 2021 jusqu'à la dernière notation mettant fin aux essais le 30 juin 2021. Les 2 stations relevant ces données sont localisées non loin des essais (Tab. XIII).

Les températures maximales enregistrées au cours du suivi sont restées autour de 15-25°C pour le printemps et le début d'été (Fig. 14 et 15). Les minimales ont quant à elles étaient assez fraîches avec une dizaine de jours affichant des températures négatives et des gelées. Ceci à l'exception de début juin, où il y a eu une montée des températures jusqu'à un peu plus de 30°C. Concernant la pluviométrie, il y

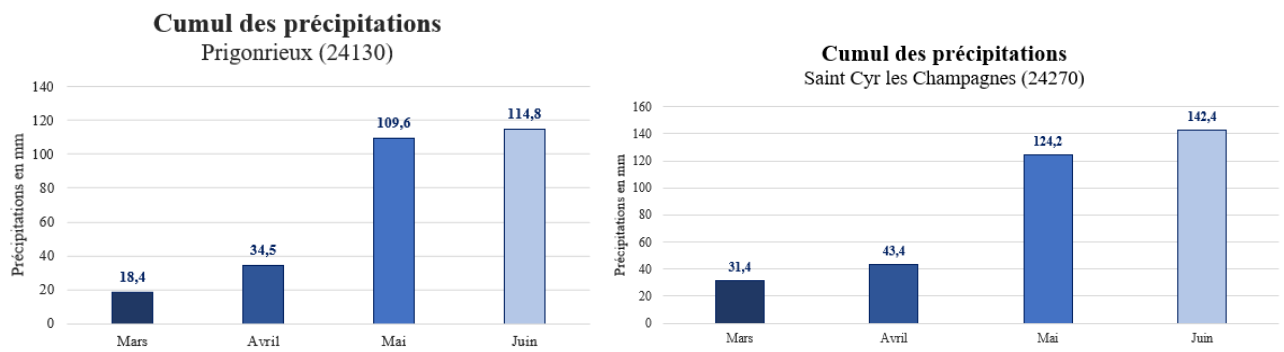


Fig. 16 : Evolution des cumuls de pluies mois par mois sur les 2 essais
Source personnelle, données issues <https://www.infoclimat.fr/>

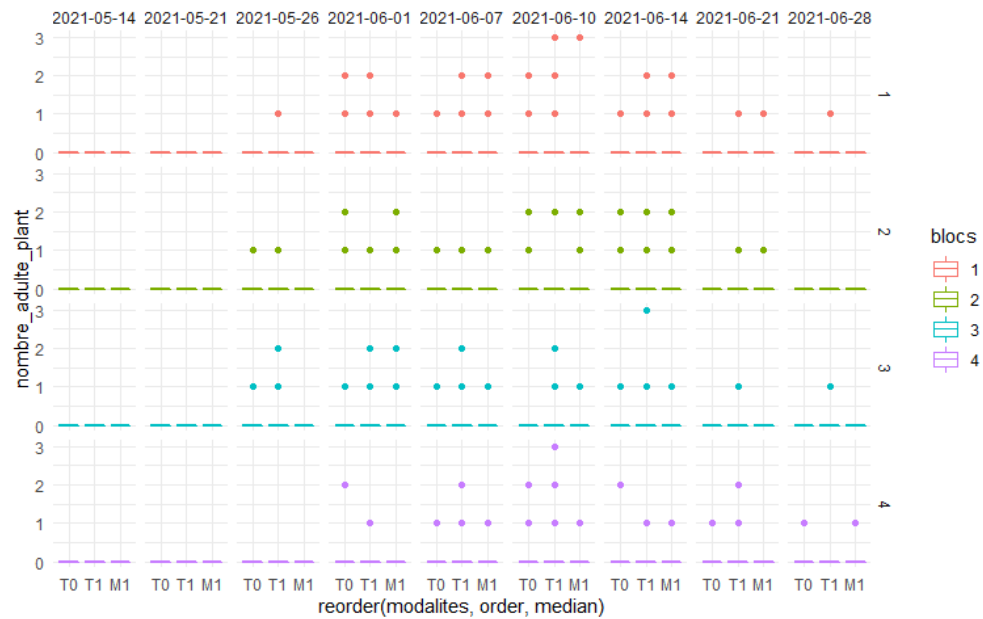


Fig. 17 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre d'adultes par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai B
Source : Lorrain MONLYADE

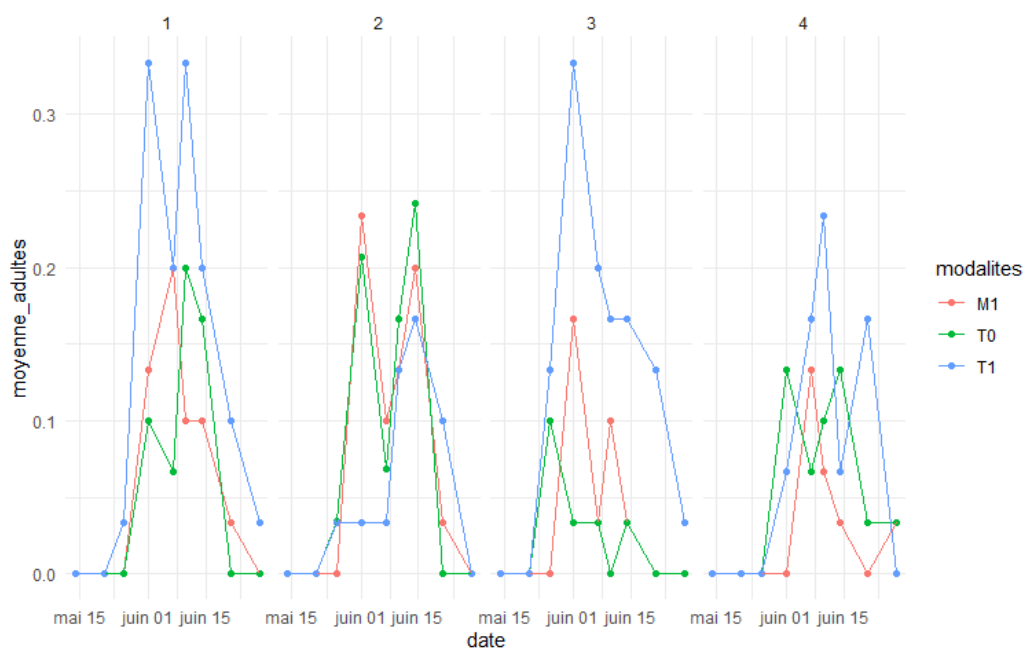


Fig. 18 : Evolution du nombre moyen d'adulte par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai B
Source : Lorrain MONLYADE

a eu une forte fréquence de précipitations notamment pour le mois de mai et la 2^{ème} quinzaine de juin. De plus, les quantités d'eau reçues par les sites ont nettement augmenté au cours des 4 mois. Mars et Avril ont été peu pluvieux contrairement aux 2 mois suivants cumulant jusqu'à 114,8 mm chez Frédéric C. et 142,4 mm chez Wouter VM. pour le mois de juin (Fig 16).

3.2. Comptages des populations d'imagos

▪ Essai B : Wouter VAN MIL

Au total, 9 notations ont été réalisées (Fig. 17), dont 2 où il n'y avait pas encore de pression parasitaire. Ce graphique en boîte à moustaches aussi appelé box plot permet de visualiser la dispersion des données et il est constaté que pour la variable quantitative suivie, nombre d'adultes par plant, les données ne permettent pas de réaliser de box plots. Seuls des points sont visibles, représentant des « valeurs aberrantes » qui sont très éloignées des autres valeurs de données. Les écarts types sont compris entre 0 et 0,75 (Ann. XIII), ce qui signifie que les données sont peu dispersées autour de la moyenne, ne permettant pas de constituer les boîtes à moustaches. Globalement, la moyenne de la variable pour chaque modalité de chaque bloc est proche de 0, le minimum d'adulte/plant étant de 0 et le maximum de 3. Tout comme la moyenne, la médiane est tirée vers 0 signifiant que de nombreux plants ne comptabilisaient pas de doryphores.

Les courbes d'évolution des populations d'adultes par modalités et par blocs sont proposées Fig 18. Ces profils sont différents en fonction des blocs, il n'y a pas réellement de consensus, mais là encore il est clair que le nombre d'adultes par modalité est faible, la moyenne n'atteignant que très rarement les 0,3 adulte//plant en moyenne. Il peut être émis l'hypothèse que les micro-placettes T1 présentent une très légère tendance à avoir plus d'adultes que les autres avec des pics à 0,35 en moyenne. Il peut aussi, être observé qu'après le 15 juin les populations de toutes les modalités de tous les blocs chutent à la moyenne de 0 doryphore/plant. Globalement, il ne peut être mis en évidence qu'une faible pression en doryphore adulte sur l'ensemble de l'essai au cours de la période de notation (du 14 mai au 28 juin).

▪ Essai A : Frédéric COGET

Comme pour l'essai B, il peut être constaté Fig. 19 (Ann.XIV) que les données recueillies lors des notations de l'essai A n'ont pas permis de réaliser des boîtes à moustaches. Une majorité des plants ne présentant aucun doryphore, la médiane, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont fusionnés à 0. La présence d'adultes n'étant pas la norme, les données sont représentées sous forme de points appelés valeurs aberrantes entraînant l'augmentation de certains écarts types jusqu'à 0,81. Ces statistiques de base traduisent une pression d'infestation hétérogène et faible dans l'essai. Ceci est confirmé grâce à la Fig. 20 (Ann.XIV) où la moyenne d'adulte/plant ne dépasse globalement pas les 0,10.

3.3. Comptages des foyers d'œufs

▪ Essai B : Wouter VAN MIL

Les box plots de la Fig. 21 (Ann.XIV) illustrent la distribution des données pour la variable quantitative, nombre de foyers d'œufs/plant pour chaque modalité de chaque bloc sur l'essai de Wouter VAN MIL. Les 1^{ères} pontes ont été observées à la 4^{ème} notation, le 1^{er} juin. Seules les notations du 1^{er}, 4,

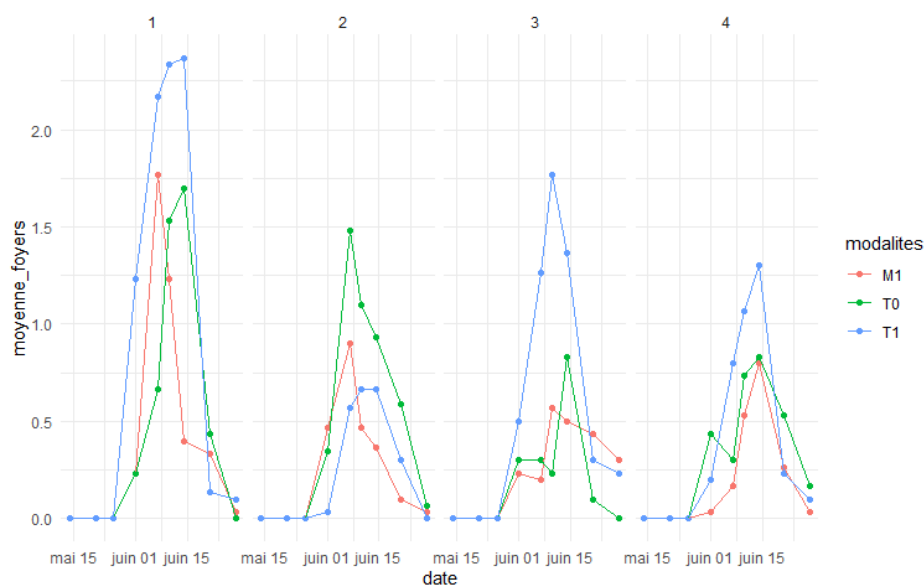


Fig. 22 : Evolution du nombre moyen de pontes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai B
Source : Lorrain MONLYADE

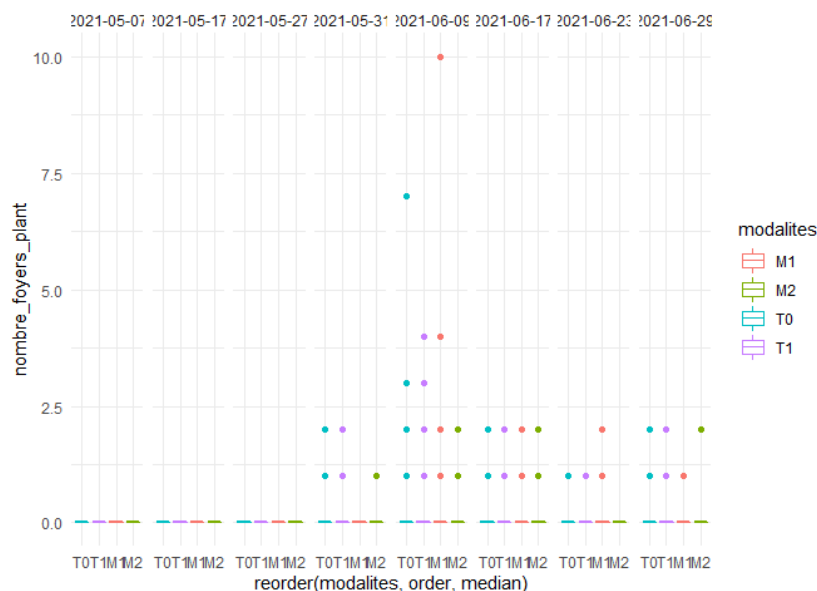


Fig. 23 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de foyers par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai A
Source : Lorrain³ MONLYADE⁴

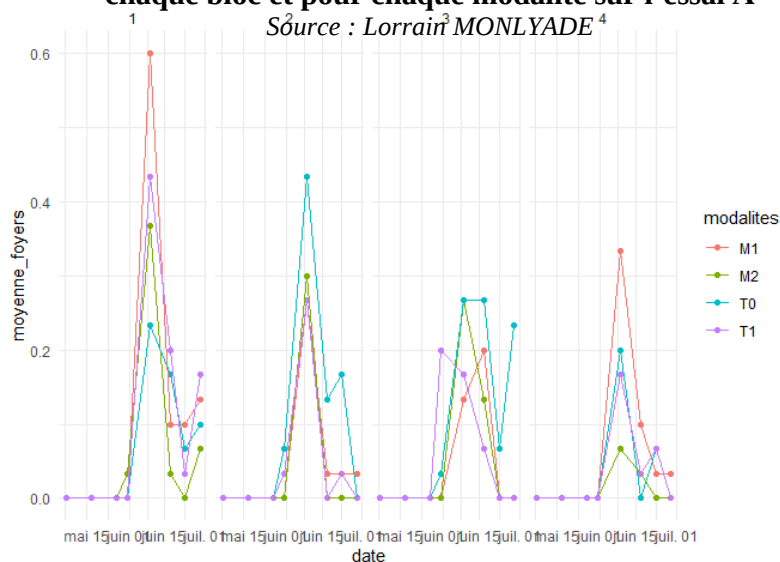


Fig. 24 : Evolution du nombre moyen de pontes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai A
Source : Lorrain MONLYADE

10 et 14 juin sont étudiées, les 2 dernières ayant des valeurs proches de 0 à l'exception de quelques valeurs aberrantes.

Pour cette variable encore, l'élaboration de boîte à moustaches n'a pas été possible pour toutes les modalités comme T0 et M1 du bloc 1 à la date du 1^{er} juin car une majorité des plants de ces micro-placettes ne présentaient pas de foyers d'œufs. Effectivement, la dispersion des données caractérisée par la taille des boîtes à moustaches ne semble pas très importante en dépit du fait que le nombre minimal de foyers par plant soit de 0 et le maximum de 22. Les valeurs prises par les médianes sont comprises entre 0 et 5 foyers/plant : la dispersion des données est donc dissemblable entre modalités d'un même bloc mais aussi pour les mêmes modalités des différents blocs traduisant une dispersion des données différentes. Quant aux écarts types, ils sont compris entre 0 et 4 foyers/plant (Ann. XIII) mais seuls 2 d'entre eux sont élevés avec des valeurs de 4 et de 2,9. Effectivement, les données issues des notations présentent quelques valeurs aberrantes, comme le T0 du bloc 3 au 14 juin dont un plant comptabilise 22 foyers. Ces valeurs sont normalement à exclure car elles modifient les écarts types et les moyennes en les tirant ici vers des valeurs plus élevées ce qui est moins représentatif de l'échantillon. Par ailleurs, il se pourrait que les données soient réparties de manière asymétrique dans certains box plots (ex : T1 du bloc 1 au 14 juin ou T0 du bloc 2 le 7 juin). En d'autres termes, la médiane est anormalement déplacée vers le haut ou le bas de la boîte. Ainsi, il peut être supposé que les données ne suivent pas une loi Normale (à vérifier avec des tests statistiques).

Les profils d'évolution du nombre moyen de pontes (Fig. 22) semblent montrer une hétérogénéité de pression en fonction des modalités et des blocs. A noter, que les T1 auraient tendance à être un peu plus infestés que les autres modalités avec des pics situés à $\approx 2,5$ foyers/plant en moyenne sur le bloc 1, à 1,75 sur le bloc 3 et 1,25 sur le bloc 4. Pour ces 3 blocs, le pic de T1 est systématiquement au-dessus des courbes des autres modalités supposant une infestation moyenne plus forte. Le bloc 1 pourrait quant à lui, comptabiliser plus de foyers d'œufs que les autres blocs. Il est observé un pic du nombre moyen de foyers pondus autour de la mi-juin quel que soit la modalité ou le bloc puis une diminution du nombre moyen de foyer présent par plant.

▪ Essai A : Frédéric COGET

Le nombre trop faible de foyers d'œufs par plant n'a pas permis la réalisation de box plot. A nouveau, ce sont uniquement les valeurs aberrantes qui sont représentées en point à l'exception du bloc 1 à la date du 9 juin où des boîtes à moustaches sont représentées (Fig. 23). Cependant, les médianes sont fortement déviées vers 0 indiquant que 50 % des plants des modalités ne recensaient aucun foyer d'œufs. Les écarts types sont compris entre 0 et 1,84 donc relativement faibles. Les données sont peu dispersées, il y a eu peu de pontes et elles ont été réparties dans l'essai de manière hétérogène. Les courbes (Fig. 24) de l'évolution du nombre moyen de foyers d'œufs/plant ne font que corroborer ces résultats.

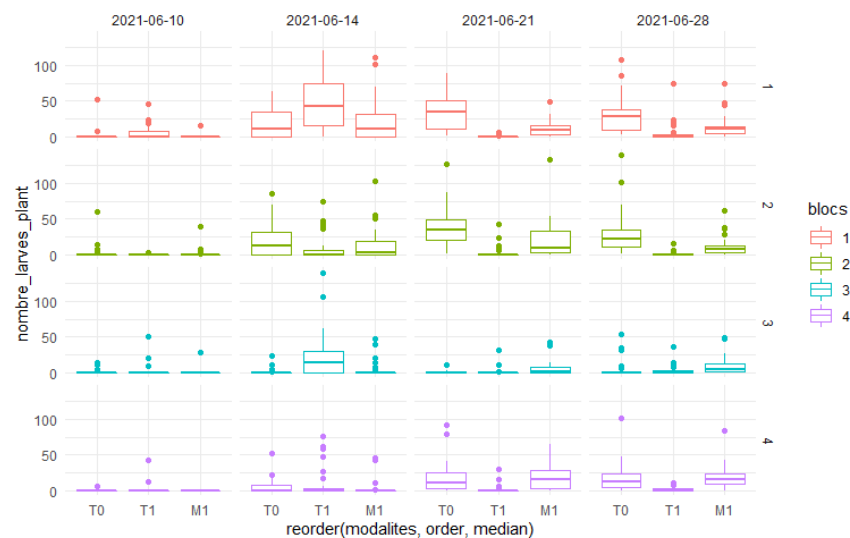


Fig. 25 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de larves par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai B

Source : Lorrain MONLYADE

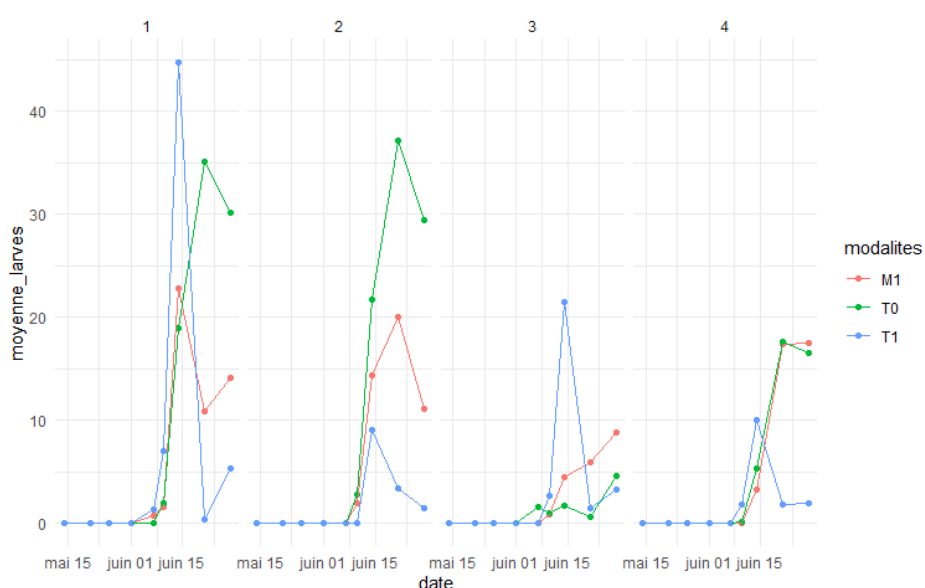


Fig. 26 : Evolution du nombre moyen de larves par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai B

Source : Lorrain MONLYADE

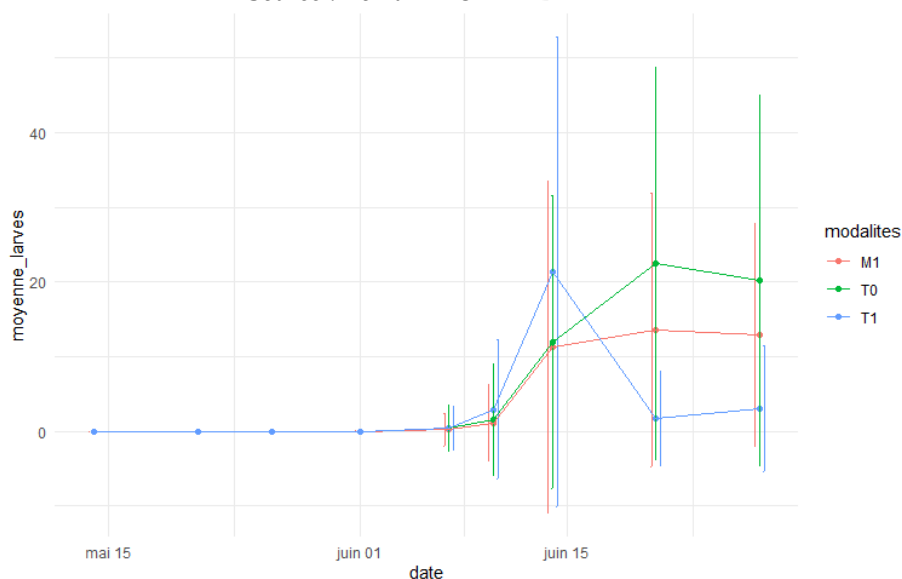


Fig. 27 : Courbes d'évolution des populations larvaires avec écart type au cours du temps et par modalités pour l'essai B

Source : Lorrain MONLYADE

Légende : sur ce type de graphique l'effet bloc est lissé.

3.4. Comptages des populations larvaires

▪ Essai B : Wouter VAN MIL

Les box plots de la Fig. 25 représentent les 4 dernières notations étant donné que pour les 5 1^{ères} il n'y avait pas encore de larves. Cette fois-ci, il est constaté que la dispersion des données récoltées pour la variable est fluctuante. De fait, dans certains cas, il y a peu de dispersion, les données sont centrées autour de la médiane (ex. T1 du bloc 1 au 21-06) alors que d'autres sont plus dispersées comme les résultats de la modalité T1 du bloc 1 le 14. Effectivement, les écarts types sont compris entre 0 et 36,52 larves par plant sur toutes les notations effectuées (Ann. XIII) et les valeurs minimum ainsi que les maximum sont respectivement de 0 et 140 larves/plant. En outre, il peut être émise l'hypothèse que les données ne suivront pas une loi Normale puisque leur répartition est asymétrique comme cela peut être observé pour M1 du bloc 2 au 21 juin. De plus, la présence d'une vingtaine de valeurs aberrantes par bloc est remarquée. De fait, bien qu'étant hétérogène, il semblerait que la pression soit plus importante pour cette variable que celles étudiées précédemment (adultes et pontes).

Tout cela se traduit au sein de l'essai par des écarts de pression :

- entre blocs : la médiane de T1 à la date du 14 juin, semble être différente pour chacun des 4 blocs. Sur le 1^{er} bloc, elle frôle 50 larves/plant, sur les blocs 2 et 4 elle est quasiment égale à 0 et sur le bloc 3 elle est proche de 13 larves/plant ;

- et entre modalités d'un même bloc : il est observé sur le bloc 1 le 14 juin que les médianes de T0 et M1 paraissent être assez semblables avec environ 13 larves/plant alors que celle de T1 est bien plus élevée avec presque 50 larves/plant. Cela pourrait traduire un potentiel effet des produits testés, cependant le même schéma n'est pas retrouvé dans les autres blocs à la même date... Pour le bloc 2, la médiane de T0 est toujours aux environs de 13 larves/plant comme sur le bloc 1 mais pour T1 elle est proche de 0 comme pour M1.

Globalement, les courbes d'infestation pour la variable « nombre de larves » (Fig.26), permettent de souligner à nouveau une pression non homogène en inter bloc. Visuellement, les blocs 1 et 2 présenteraient en moyenne plus de larves que les 2 blocs suivants 3 et 4. Les pics maximum enregistrés par bloc sont en moyenne de 40 larves/plant pour T1 du bloc 1, d'un peu plus de 35 pour T0 du bloc 2 et environ 20 pour les blocs 3 et 4 respectivement pour T1 et T0. Au sein d'un même bloc l'importance de la pression semble aussi être différente, c'est le cas du bloc 2. La pression maximale est atteinte pour T0 avec en moyenne plus de 35 larves/plant, environ 20 larves/plant pour M1 et seulement une dizaine de larves/plant en moyenne pour T1. Néanmoins, le profil d'évolution des populations est semblable pour ce bloc. Mais cela n'est pas forcément vrai pour les 3 autres blocs.

Il est important de mettre en évidence une forte réduction du nombre moyen de larves pour le témoin positif (T1) du bloc 1 passant en moyenne de 45 larves/plant à 0. C'est un phénomène répété qui est aussi observé sur les 3 autres blocs.

Un graphique supplémentaire a été réalisé pour cette variable (Fig.27). Il est constaté que les écarts types sont très grands, traduisant une dispersion des données importante et permet de voir qu'ils

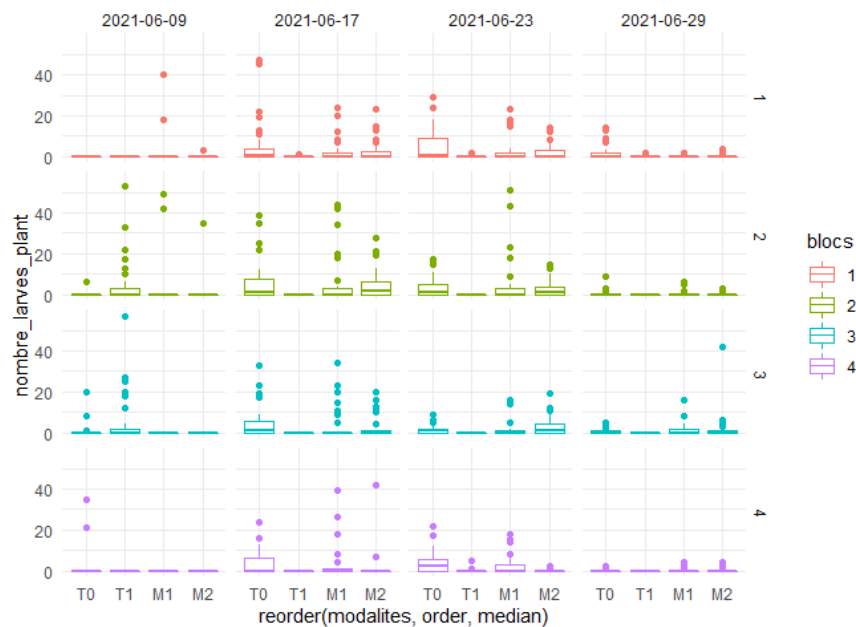


Fig. 28 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de larves par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai A

Source : Lorrain MONLYADE

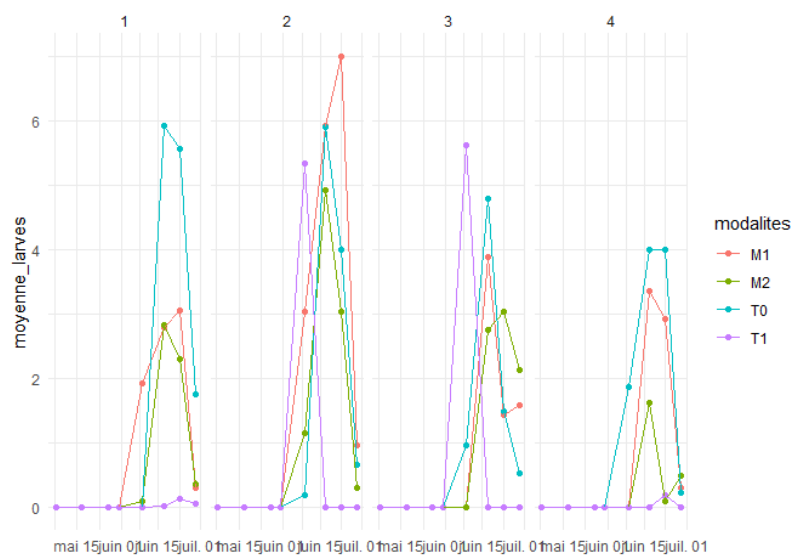


Fig. 29 : Evolution du nombre moyen de pontes par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai A

Source : Lorrain MONLYADE

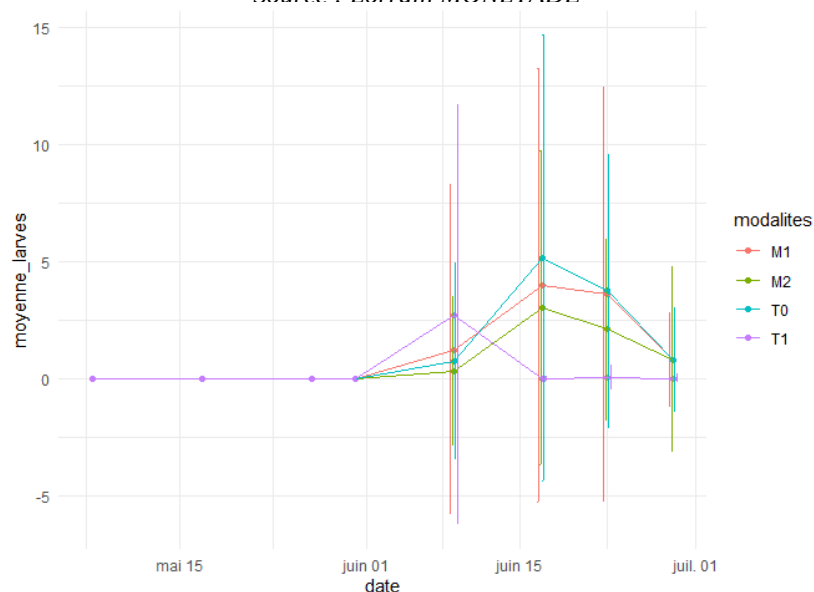


Fig. 30 : Courbes d'évolution des populations larvaires avec écart type au cours du temps et par modalités pour l'essai A

Source : Lorrain MONLYADE

Légende : sur ce type de graphique l'effet bloc est lissé.

se recoupe. L'hypothèse suivante peut être posée : il existerait une interaction des 2 facteurs, blocs et traitements (à vérifier avec des tests statistiques).

▪ **Essai A : Frédéric COGET**

D'après la Fig. 28, les données de la variable « nombre de larves/plant » de cet essai ne sont pas très dispersées car les boîtes à moustaches sont de petite taille pour celles qui ont pu être dessinées. Comme expliqué précédemment, le fait que des box plots n'aient pu être tracés pour des modalités s'explique par une compression des données autour d'une même valeur qui est souvent 0 pour ces essais. En général ici, les données ne s'éloignent que très peu de la médiane qui est proche voire très proche de 0 pour quasiment toutes les modalités de chaque bloc à chaque date. En effet, le 3^{ème} quartile de l'ensemble des boîtes à moustaches ne dépasse jamais la barre des 10 larves/plant. En d'autres termes, pour 75 % des 30 données de la modalité en question, l'infestation du plant est inférieure à 10 larves/plant. Sur plusieurs des box plots, il est observé une déviation des données (de la médiane) vers 0. La distribution des données ne semble donc pas suivre une loi Normale. Concernant les valeurs « aberrantes », il peut être mentionné qu'elles sont encore nombreuses sur ce graphique, ce qui signifie que quelques plants de certaines modalités étaient bien plus infestés de larves que les autres, à tel point que la valeur prise par la variable n'a pu être intégrée au box plot. Ceci atteste d'un développement des larves en foyers au sein des unités expérimentales (pression hétérogène).

Il est observé Fig.29 une différence de pression larvaire entre les modalités d'un même bloc comme sur le bloc 1 où en moyenne sur toute la période de suivi l'unité expérimentale T1 n'a pas eu de larves alors que T0 a connu des pics de pression avec environ 6 larves/plant. Une hétérogénéité de pression entre les blocs semble aussi exister. Visuellement, les blocs 2 et 3 auraient en moyenne plus de larves que les blocs 1 et 4. L'évolution du développement des populations de larves sont :

- Très dissemblables pour la modalité T1 pour chacun des blocs avec une pression quasi nulle sur 1 et 4 alors que sur 2 et 3, le nombre moyen de larves/plant s'élève à plus de 5. Pour les micro-placettes où la pression était importante, il peut être noté une chute drastique du nombre moyen de larves/plant à 0 à partir du 17 juin.
- Similaires pour les modalités T0, les pics d'infestation étant identifiés pour chaque bloc à la notation du 17 juin. La pression des T0 pourrait être considérée comme assez homogène entre les blocs puisque les valeurs maximales restent situées en moyenne entre 6 et 4 larves/plant.
- Différentes que ce soit pour M1 comme pour M2. Les pics de pression n'ont pas lieu aux mêmes dates et les valeurs prises par ces pics semblent différentes traduisant une infestation hétérogène.

Et enfin le dernier graphique Fig. 30, illustre le développement de populations de larves modalités par modalités avec les écarts types. Ces derniers sont très importants reflétant une grande dispersion des données. Attention, cette observation est à prendre avec précaution puisque il a été démontré Fig. 29 que globalement les données étaient centrées autour d'une même valeur, 0. Les valeurs d'écarts types sont augmentées par les valeurs « aberrantes ».

Il convient de préciser qu'en l'absence de tests statistiques, il a été uniquement fait des suppositions soulignées par l'emploi du conditionnel pour décrire la plupart des résultats. Par ailleurs, il aurait pu être proposé dans cette partie des graphiques représentant l'évolution des populations lissant l'effet des blocs c'est-à-dire représentant le développement de la pression au cours du temps par modalité. Comme il a été conclu que la pression n'était pas homogène entre les blocs, ces graphiques n'ont pas été soumis car il se pourrait que le bloc explique une partie de la distribution des valeurs.

3.5. Test de phytotoxicité et test in vitro

Le test de phytotoxicité effectué en début d'essai n'a révélé aucun impact du Répulso® et de Sokalciarbo® sur les plants de pommes de terre. En revanche, suite au traitement du 27 mai à 13h, des grillures sur les feuilles ont été observées le 31 sur les modalités traitées au Répulso® chez Frédéric COGET. Ces brûlures représentaient moins de 1% de la surface totale des feuilles touchées et seulement quelques pieds ont été touchés.

Pour les tests in-vitro réalisés par l'ACPEL pour le Répulso®, il n'a pu être mis en évidence aucune action du produit sur les doryphores adultes. Il est normalement prévu de refaire des essais de ce type (Legrand, communication personnelle).

4. DISCUSSION

4.1. Comptages des adultes

Pour cette variable il a été constaté que la pression d'adulte dans les essais était faible et hétérogène qui pourraient s'expliquer par une mauvaise localisation de l'essai au sein de la parcelle de culture. Par exemple sur l'essai A, l'infestation a commencé au Nord-Est de la parcelle alors que l'essai était au Sud-Ouest. L'hétérogénéité peut aussi simplement s'expliquer par le hasard. De plus, les doryphores adultes étant très mobiles, ils peuvent se poser sur un plant seulement quelques instants (le moment de la notation) et ne pas forcément se nourrir sur ce plant ou y pondre. Se pose alors la question est-il vraiment pertinent de suivre cette variable ? Cette mobilité peut aussi entraîner des biais de comptage. Un adulte peut être comptabilisé sur un plant d'une unité expérimentale puis recompté sur une autre s'il s'est déplacé le temps de la notation...

Le moment de la journée où ont été réalisées les notations a pu jouer sur la pression observée. Effectivement, les insectes sont plus actifs quand il fait beau, chaud et qu'il y a de la luminosité. Leur seuil d'activité est fixé à 15°C. Les notations ont-elles été effectuées au bon moment ? Les notations ont été réalisées pour certaines tôt le matin, d'autres en journée, avec du soleil ou de la pluie...

Par ailleurs, il semblait visuellement que les doryphores adultes préféreraient se retrouver sur les placettes T1 (essai B). La seule différence entre cette modalité et les autres est l'absence de pulvérisation (même d'eau) jusqu'au 15 juin, date du traitement au Success4®, ce qui sous-entend qu'apporter de l'eau sur les plants pourrait repousser les doryphores adultes. Or, au vu de la pression d'infestation, il est fort probable que si des tests statistiques étaient faits il n'y ait aucune différence d'infestation entre les micro-placettes.

La chute des populations au 15 juin sur l'essai B peut s'expliquer par une cause biologique : les adultes arrivant à la fin de leur cycle, ils sont morts. Ceci expliquerait que le phénomène soit le même sur toutes par unités expérimentales.

Ainsi, il peut être retenu de cette partie que l'étude du nombre d'adultes/plant ne semble pas être la meilleure variable à étudier pour tirer des conclusions quant à l'efficacité d'un produit. En effet, l'aspect répulsif de la substance active peut directement être évalué avec la variable « pontes » : si l'adulte est répulsé, il ne déposera pas ses œufs sur la modalité.

4.2. Comptages des pontes

Pour l'essai B, il a été constaté un pic du nombre moyen de foyers d'œufs à la notation du 15 juin suivi d'une réduction très importante. Etant donné que cela a eu lieu quel que soit la modalité ou le bloc, tout effet potentiel des traitements est écarté. Le phénomène est simplement lié au cycle biologique.

L'origine des valeurs aberrantes enregistrées pour les 2 essais pourrait être liée à une erreur de procédé à la notation ayant entraîné un comptage répété d'un même foyer ou à l'inverse l'oubli d'une ponte. Ces valeurs aberrantes peuvent aussi être le fruit d'une répartition purement hasardeuse des pontes sur les plants. Dernière proposition : il peut être supposé que l'émission de COV a pu favoriser l'attraction des adultes. Au cours des notations, il avait été observé que les jeunes plants, ceux qui ont émergé récemment du sol étaient très souvent ceux qui comptabilisaient le plus de foyers de pontes. Ces observations sont tout à fait logiques puisque les jeunes plants émettent des COV très attractifs. A noter que la prédation des foyers d'œufs remarqué sur l'essai B aurait aussi pu impacter la distribution des données.

4.3. Comptages des larves

Il est important de souligner que la variable « nombre de larves/plant » est celle qui semble enregistrer la plus forte pression. Il serait donc intéressant de suivre à nouveau cette variable dans les futurs essais pour pouvoir faire des tests statistiques.

Sur l'essai A, les modalités T0 ont bien joué leur rôle de témoin négatif en présentant une pression assez homogène et importante sur les 4 blocs avec environ 5 larves/plants. Pour l'essai B, c'est différent car la pression était hétérogène entre les blocs tantôt très forte tantôt plus faible.

Quant au témoin positif, il a également rempli sa fonction en réduisant drastiquement les populations à la suite du traitement. L'expérience a donc fonctionné. Le phénomène a été particulièrement bien mis en évidence sur les blocs 2 et 3 de l'essai A mais il faut mentionner que les modalités T1 de cet essai ont reçu 10 fois la dose homologuée de produit suite à une erreur de calcul.

Pour les 2 essais, les 2 dernières notations (fin juin) ont révélé une réduction du nombre de larves pour presque toutes les unités expérimentales. Effectivement, lors de ces comptages il avait été observé un grand nombre de larves au sol qui portaient se nymphoser.

Outre le fait qu'il n'est pu être effectué des tests statistiques et que la pression soit assez hétérogène, il est pertinent de mentionner que la mise en évidence d'efficacité de produits à aussi pu

être influer par les conditions climatiques de cette année. Les cycles du ravageur ont été décalés dans le temps en raison par exemple des faibles températures. Les 1^{ers} adultes n'ont été observés que fin mai (le 27 et le 28) alors que leur sortie peut se faire dès le mois d'avril. Ce décalage a eu pour conséquence principale que les larves, stade qui est sensé être le plus sensible aux produits, n'ont reçu que 2 traitements sur les 5. De plus, une de ces 2 pulvérisations, la dernière a été effectuée sur des grosses larves (L4) dont une majorité descendait des pieds pour se nymphoser dans le sol.

Pour clôturer la discussion relative à l'infestation hétérogène des 2 essais, il peut être affirmé qu'il y aurait une tendance de l'essai B à cumuler une pression parasitaire plus forte que l'essai A. La parcelle où a été implanté l'essai A a été biofumigée par le passé au bromure de méthyle. La toxicité de cette substance pour *L. decemlineata* a été mise en évidence. Certains pays l'utilisaient même pour protéger les semences de pommes de terre contre ce ravageur (CABI and OEPP, 2003). Les derniers traitements se sont au moins arrêtés en 2016 mais la rémanence de ce biocide n'a pas été trouvée. S'il est toujours présent dans le sol, il aurait pu biaiser l'infestation en doryphores de la parcelle. De plus, il peut être supposé que la plus faible pression chez Frédéric C. est due au fait qu'il cultive ces terres depuis moins longtemps (2 ans) que Wouter VM. (5 ans). Le doryphore n'a peut-être pas encore eu le temps de s'installer.

La complexité de l'analyse des résultats est également due aux caractères intrinsèques des produits testés. Aucun ne se pulvérise selon le même schéma. Le Success 4[®] s'applique en un traitement unique à un stade larvaire précis alors que le Répulso doit être pulvérisé de manière cadencée avant même que le ravageur ne soit présent.

4.4. Propositions d'amélioration

Il est recensé dans cette partie tous les autres problèmes ou limites de l'expérimentation ainsi que les pistes d'amélioration pour les futures essais. En effet, la qualité des résultats expérimentaux obtenus lors d'essais comme ceux qui ont été menés dans la présente étude sont dépendants de nombreux facteurs déclinés ci-après.

Cette année, les conditions climatiques très pluvieuses n'ont pas facilité la mise en exergue d'une efficacité des produits. Les nombreuses précipitations ont pu favoriser un potentiel lessivage des traitements et elles ont alourdi l'IFT puisque après chaque pluie supérieure à 20 mm les pulvérisations devaient être réeffectuées. Dans une certaine mesure, ces averses ont aussi contribué à l'apparition du mildiou *Phytophthora infestans*. Ce fut notamment le cas chez Frédéric COGET où les dernières notations ont été compliquées : plants infestés et renversés, tiges cassées... Il conviendrait de refaire ces essais ultérieurement pour évaluer comment les produits se conduiraient sous des conditions climatiques différentes.

Au niveau du matériel végétal, il faudrait, en cas de renouvellement des essais rechercher une variété « malléable ou robuste » qui tolère d'être manipulée lors des notations. La variété Zen utilisée dans l'essai A s'est montrée particulièrement cassante rendant les dernières notations complexes. Cet

aspect peut être dû aux fortes pluies qui ont gorgé les plants en eau, à un manque en éléments nutritifs (sols sableux et drainants) ou bien simplement aux caractéristiques propres à la variété.

Vient ensuite la question de la pression parasitaire qui, n'ayant pas été homogène sur toute la surface des essais, a rendu la mise en exergue de conclusions fiables complexe. Pour remédier à ce problème, il serait nécessaire de vérifier en début d'essai si le niveau d'infestation dans les témoins négatifs est suffisant. De fait, il faudrait fixer un seuil en dessous duquel l'essai n'est pas réalisable puisque si l'infestation n'est pas suffisante, alors l'efficacité des produits ne peut être démontrée et les résultats n'ont aucune validité (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, 2012). Il pourrait être envisagé de positionner les essais sur des parcelles ayant déjà accueilli une culture de pomme de terre l'année précédente (pas de rotation) pour être certain d'avoir une plus forte pression et qu'elle soit homogène.

La qualité de pulvérisation (précision et pression d'application) des produits est un paramètre très important à surveiller dans des essais de produits phytosanitaires. Or, Agrobio Périgord n'était pas en possession de matériel spécifique à l'expérimentation comme un atomiseur ou un pulvérisateur avec rampe. Le pulvérisateur utilisé offrait une qualité de pulvérisation moindre ne permettant pas de toucher toutes les parties des plants en un passage. L'outil se mettant sous pression manuellement, la force de pulvérisation et, donc, la qualité, était dépendante de la personne en charge du traitement (qui n'était pas la même en fonction des disponibilités organisationnelles). De plus, la pulvérisation de tous les traitements n'a pas été effectuée avec le même pulvérisateur manuel. Les traitements T0, M1 et T1 ont été effectués dans cet ordre précis avec un pulvérisateur Berthoud alors que l'argile sur M2 était pulvérisée avec un outil Technoma ayant un débit bien plus rapide. A propos du matériel, il peut être proposé à nouveau l'achat d'une micropipette (100-1000 μ L) pour un coût compris entre 200 et 300 €. Cette dernière aurait été utile pour effectuer le prélèvement des volumes de Success4[®] qui étaient de l'ordre de 300 μ L.

Concernant les notations, quelques biais ont été identifiés dont la multiplicité des notateurs. En tout, 11 notateurs plus ou moins ponctuels sont intervenus sur les 2 essais, soit autant de manières différentes de noter ayant chacune des inconvénients pouvant entraîner des erreurs de comptages...Il serait préférable que ce soit toujours les mêmes personnes (2 ou 3) qui effectuent ces notations.

De plus, l'expérimentation aurait pu être menée de façon plus « rigoureuse » en réalisant des notations à intervalle régulier c'est-à-dire tous les 7 jours précisément. Néanmoins, les contraintes climatiques et organisationnelles de l'association ne l'ont pas permis.

Pour finir sur les notations, il pourrait être intéressant d'évaluer le taux de défoliation soit par modalité soit par plant pour compléter l'analyse. Ce type de notation aurait normalement dû être effectué au cours de l'essai en cas de développement exponentiel des doryphores. Mais en raison d'un arrêt prématuré de l'expérimentation, il n'en a pas été fait. Cette variable, suivie en parallèle des autres comptages, pourrait par exemple donner des indications sur le caractère anti-appétant des produits, bien qu'étant basée sur des observations dépendantes du notateur. Quant au rendement, c'est variable

Tab. XIV : Calcul du nombre de degrés résiduels en fonction du nombre de sites, du nombre de modalités testées et du nombres de répétitions (blocs) dans un site

Tableau modifié d'après (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, 2012)

Sites	1						4						6					
Répétitions	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
Traitements																		
3	4	6	8	10	12	14	16	24	32	40	48	56	24	36	48	60	72	84
4	6	9	12	15	18	21	24	36	48	60	72	84	36	54	72	90	108	126
5	8	12	16	20	24	28	32	48	64	80	96	112	48	72	96	120	144	168
6	10	15	20	25	30	35	40	60	80	100	120	140	60	90	120	150	180	210
7	12	18	24	30	36	42	48	72	96	120	144	168	72	108	144	180	216	252
8	14	21	28	35	42	49	56	84	112	140	168	196	84	126	168	210	252	294

Légende : Le tableau ci-dessus permet de calculer rapidement le nombre de degrés de liberté. Pour un essai uniquement réalisé sur **1** site ayant **4** traitements et **4** répétitions, il est obtenu un dl de **9**.

Mais cette valeur peut aussi être calculé comme suit :

$$4*4*1 = 16$$

$$16-1 = 15 : \text{dl totaux}$$

$$4-1 = 3 : \text{dl traitement}$$

$$4-1 = 3 : \text{dl bloc}$$

$$\text{Ainsi } 15-3-3 = \mathbf{9} \text{ dl}$$

quantitative importante qui fait loi dans ce genre d'essai puisqu'il constitue une valeur objective mesurée et donc indépendante de tout observateur. L'analyse de cette variable doit être maintenue dans les futurs essais.

La théorie de l'échantillonnage est aussi à revoir puisque 30 plants ont été suivis par micro-placette pour obtenir une représentativité correcte de ce qui s'y passe. A noter que sur une modalité (T0) d'un essai, il manquait un plant. Il conviendra donc d'être attentif à comptabiliser le bon nombre de plants par unité expérimentale. Au demeurant, il aurait fallu des échantillons supérieurs à 30 plants pour que les tests statistiques soient valides. Mais ces agrandissements d'échantillons poseraient un problème d'ordre technique. Sur l'essai A, compter 30 plants sur 16 micro-placettes a pris jusqu'à 4 heures à 2 notateurs. Augmenter le nombre de plants à suivre ne semble pas envisageable au regard du coût salarié.

Le degré de liberté résiduel (dl) est une valeur qui permet de déterminer *a priori* si l'analyse statistique d'un ou plusieurs essais sera valide. Plus la valeur du dl est grande meilleure sera l'analyse. Ce dl est fonction du nombre de modalités testées, du nombre de sites et du nombre de blocs au sein d'un essai. Pour des essais biologiques, il est fortement déconseillé de mettre en place des dispositifs expérimentaux ayant un dl résiduel de moins de 12 (Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes, 2012). Pour les 2 essais suivis dans le présent rapport les dl sont respectivement de 9 pour l'essai A et 6 pour l'essai B, valeurs bien en dessous des 12 conseillés (Tab. XIV). Avant de mettre en place de nouveaux essais, le dl devrait être calculé.

Il peut aussi être proposé de revoir le dispositif expérimental au regard des effets « bordures ». L'idéal serait d'implanter l'essai au milieu d'une parcelle, d'éviter les passages tracteur dans les unités expérimentales et d'éviter de le positionner dans un coin comme ce fut le cas. Effectivement en bordure de parcelle, le sol peut être plus tassé ou plus pauvre à cause de la présence de strate arborée, la culture peut être en compétition avec les arbres pour la lumière...

Par rapport à l'essai en général, il serait judicieux de positionner les essais plus près de l'association. Cela pourrait faciliter la planification des actions sur les essais et faire gagner en rapidité.

Toujours au sujet des bordures, les notations au sein des unités expérimentales devraient se faire uniquement sur la partie centrale (Letourmy, 1999) pour que les plants suivis aient eu le même environnement c'est-à-dire qu'ils aient été entourés de part et d'autre par des plants de pommes de terre et non pas par un plant de pomme de terre et un passage (espace vide). En d'autres termes les plants situés en début et en fin de micro-placette sont exclus des comptages au même titre que les plants situés sur les parties latérales. D'où la question : les notations des 2 essais n'ont-elles pas été faites trop proches des bords ? La technique de notation uniquement centrale est utilisée par des organismes spécialisés dans l'expérimentation comme Staphyt ou Syngenta car les pommes de terre localisées sur les bords sont souvent moins bien couvertes par les traitements. Elles peuvent avoir reçues la dérive d'autres traitements et la pression parasitaire y est en général plus hétérogène. Pour obtenir des données plus concluantes sur les essais de 2022, il est proposé le dispositif expérimental suivant (Charly MESANGE, communication personnelle) :

- des unités expérimentales composées de 3 rangs (et non 2) ayant une longueur de 7 à 10 mètres. Si l'essai mené est certifié Bonnes Pratiques d'Expérimentation (BPE) alors il faudra prendre 4 rangs car 30 m² sont nécessaires par micro-placettes,
- les comptages sont uniquement réalisés sur 2 mètres linéaires du rang central car lorsque les plants sont développés il est difficile de les trier,
- les allées inter-blocs doivent mesurer entre 1,5 et 2 mètres pour limiter les interactions d'un bloc à l'autre,
- il est important de mettre en place des bordures externes de l'essai les plus grandes possibles, environ 5 m, pour limiter les transferts de ravageurs de la parcelle à l'essai. A noter que cela demeure complexe étant donné que le doryphore est un ravageur mobile. Il ne faudrait pas hésiter à faire le tour de l'essai pour détruire les foyers de doryphores.

En somme, le dispositif expérimental doit être plus conséquent et de fait la surface allouée aux essais aussi. Agrandir les essais pourrait permettre de mieux analyser l'aspect répulsif des produits.

D'autres suggestions peuvent être faites comme réitérer les essais en allant jusqu'au bout des traitements comme indiqué sur la « fiche produit » c'est-à-dire de la phase d'élongation de la pomme de terre à la récolte, réeffectuer des tests in-vitro selon le protocole voulu par Stéphanie Legrand d'Herbovital : pulvériser le produit sur plantes entières déjà infectées par le doryphore...

En outre, il semble important de mentionner qu'Agrobio Périgord n'est peut-être pas la structure la plus adaptée pour réaliser des essais de produits. Il conviendrait de se tourner vers des entreprises certifiées BPE pour tester l'efficacité des produits en vue d'une homologation telles que Eurofins, Staphyt ou Antedis. En effet, ces organismes bénéficient d'une organisation, de connaissances, de références et de matériel adapté à l'expérimentation, précis et fiable. Dans cette mesure, il peut être prévu de tester plus de modalités sur les essais comme le Répulso® seul, l'ELICIT-V27® seul, tester des concentrations croissantes pour évaluer celles qui présentent les meilleurs effets, et de mettre en place un témoin granulés à base de granulés inertes ...

5. CONCLUSION

L'objectif de l'étude était de trouver une solution alternative à l'emploi du Spinosad, substance active du Success4® utilisée de manière plus conséquente depuis l'arrêt de commercialisation du Novodor®. Ce dernier était apprécié des maraîchers adhérents à Agrobio Périgord pour sa sélectivité vis-à-vis des insectes auxiliaires faisant de lui le produit phare en agriculture biologique pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre *Leptinotarsa decemlineata*. C'est pourquoi l'efficacité de plusieurs produits naturels ont été examinés sur 2 essais différents : des granulés ELICIT-V27® associés à des pulvérisations foliaires de Répulso® ainsi que du Sokalciarbo WP®.

Il faut retenir de l'analyse effectuée que les données acquises au cours des notations pour les 3 variables suivies, dans les conditions où les produits ont été testés, qu'il n'a pas pu être mis en évidence

de différence d'efficacité de produits (et en l'absence de tests statistiques) ; et ce en raison d'une faible pression pour certaines variables, et d'une hétérogénéité d'infestation entre les blocs.

Par ailleurs, il semblerait que la variable de suivi « nombre d'adultes par plant » ne soit pas forcément utile pour tirer des conclusions.

Des propositions d'améliorations ont aussi été suggérées pour les années futures. Il peut être cité les plus importantes comme refaire les essais dans le temps et dans l'espace c'est-à-dire sur d'autres parcelles ayant des caractéristiques de sol et de pression parasitaire dissemblables, mais aussi de multiplier les essais dans plusieurs régions de France où le climat est différent. Il conviendrait également de réaliser des dispositifs expérimentaux plus conséquent, de tendre vers plus de rigueur que ce soit au niveau des équipements ou de l'organisation....

Il faut donc que la recherche de produits alternatifs persévère pour trouver un ou des produits plus sélectifs n'ayant des effets toxiques ou du moins des effets indésirables (répulsif, anti-appétant) sur le doryphore uniquement. Et ce assez rapidement car *L. decemlineata* engendre des pertes économiques conséquentes pour la filière de la pomme de terre.

6. PARTIE OPTIONNELLE : ACTIVITES COMPLEMENTAIRES

Ce stage de fin d'études portant sur la lutte contre les ravageurs en maraîchage biologique comportait en réalité 2 sujets bien distincts : des essais de produits pour lutter contre le doryphore, (exposé dans le présent rapport) et une autre partie, le suivi des populations de mouches de la carotte. Cette partie-ci n'a pu être traitée dans ce rapport par soucis d'exhaustivité vis-à-vis de la biologie, de l'écologie, des moyens de lutte ainsi que des résultats obtenus grâce aux essais sur le doryphore.

La thématique de la mouche de carotte a été choisie par la Commission maraîchage car elle répondait à une réelle attente de la part des maraîchers adhérents à l'association.

L'objectif global de ce suivi était de constituer une sorte d'outil d'aide à la décision (OAD), en d'autres termes de générer et de partager une information précise et adaptée aux maraîchers bio de la Dordogne. Cela peut être traduit en conseils techniques comme l'identification du moment opportun pour poser les filets de protection anti-insectes puis les retirer afin d'effectuer l'entretien de la culture (désherbage,...) puisque la manipulation de ces filets est très lourde et chronophage.

Les objectifs sous-jacents de cette seconde partie du stage étaient multiples :

Suivre les dynamiques de populations de *Psila rosae*, mouche de la carotte en Dordogne et par ce biais constituer un calendrier de vol du ravageur approprié au département ;

- ~ Vérifier que le ravageur était bien présent dans le département car en 2020, aucune capture n'avait été effectuée sur les pièges mis en place chez Wouter VAN MIL, maraîcher dans le Nord du département à Saint Cyr les Champagnes ;
- ~ Confirmer que les périodes de vols mises en lumière par l'expérimentation étaient bien les mêmes que celles définies dans la littérature ;
- ~ Observer un éventuel décalage du cycle biologique de la mouche entre le Nord et le Sud du département, les deux exploitations suivies étant diamétralement opposées géographiquement.

Le protocole de suivi se présentait de la façon suivante. Cinq pièges chromatiques jaune bouton d'or ont été fournis par l'ACPEL, partenaire d'Agrobio Périgord. Ces pièges ont été positionnés sur une ligne de semis d'une planche dans la parcelle de carottes des deux maraîchers volontaires : Wouter VAN MIL et Frédéric COGET. L'entretien des pièges et les comptages ont eu lieu hebdomadairement. Le seuil de nuisibilité fixé était d'une capture/semaine/piège.

Les données acquises ont été communiquées à Jean-Michel LHOTE de l'ACPEL, pour être publiées dans le BSV maraîchage Nord Nouvelle Aquitaine (NA), Bulletin de Santé du végétal, de la Nouvelle Aquitaine. En cas de présence avérée, une alerte est envoyée à l'ensemble des maraîchers adhérents à Agrobio Périgord. L'ensemble des résultats de ce suivi seront synthétisés dans un article de vulgarisation qui paraîtra dans le bulletin trimestriel de l'association, tout comme les résultats des essais sur le doryphore.

Pour évaluer si le dispositif mis en place était performant, plusieurs hypothèses ont été discutées :

- Est-ce que les pièges ont été positionnés assez tôt ?

- Est-ce que l'identification de la mouche a été réussie ?
- Est-ce que les pièges étaient de la bonne couleur ? Séverine ALFIERI a remarqué que ces derniers étaient d'une couleur légèrement plus pâle que ce qui était prévu.
- Est-ce que la météo a été favorable ou non au développement du ravageur ?
- Les pièges ont-ils été positionnés aux bons endroits et assez proches du lieu de vie de la mouche ?

Au 24 août 2021, il n'a été capturé sur les 2 sites aucune mouche de la carotte. Ceci est en adéquation avec les BSV Nord Nouvelle Aquitaine indiquent une très faible activité de vol.

Non seulement ce stage était diversifié avec les 2 missions présentées ci-avant mais j'ai également eu l'opportunité de découvrir brièvement les missions de mes collègues techniciens en assistant à des réunions « bout de parcelles » ou à des formations. Je pense notamment à Séverine avec les PPAM, Plantes à parfum, aromatiques et médicinales et sa tournée maraîchage, à Marie et sa journée « identification des ravageurs et des auxiliaires en maraîchage », à la formation de Robin sur les maïs populations ainsi qu'Esther qui m'a fait participer à sa réunion sur la biodiversité sauvage et à la visite de collections de blé.

Bibliographie

- Altre JA, Grafius EJ, Whalon ME.** 1996. Feeding Behavior of CryIIIA-Resistant and Susceptible Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) Larvae on *Bacillus thuringiensis* tenebrionis-Transonic CryIIIA-Treated and Untreated Potato Foliage. *Journal of Economic Entomology* **89**, 311–317.
- Alvarez JM, Srinivasan R, Cervantes FA.** 2013. Occurrence of the Carabid Beetle, *Pterostichus melanarius* (Illiger), in Potato Ecosystems of Idaho and its Predatory Potential on the Colorado Potato Beetle and Aphids. *Am. J. Potato Res.* **90**, 83–92.
- Alyokhin A.** 2007. Colorado potato beetle management on potatoes: Current challenges and future prospects. *Fruit, Vegetable, and Cereal Science and Biotechnology* **3**, 10–19.
- Alyokhin A, Baker M, Mota-Sanchez D, Dively G, Grafius E.** 2008. Colorado Potato Beetle Resistance to Insecticides. *Am. J. Potato Res.* **85**, 395–413.
- Anses.** 2014. *Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux intoxications liées à la consommation de tomates cerise en provenance du Maroc*. Maisons-Alfort: ANSES.
- Association française pour l'avancement des sciences.** 1924. Conférences : compte-rendu de la 47^e session, Bordeaux 1923 / Association française pour l'avancement des sciences.
- Aydin T, Cakir A, Kazaz C, Bayrak N, Bayir Y, Taşkesenligil Y.** 2014. Insecticidal Metabolites from the Rhizomes of *Veratrum album* against Adults of Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *Chemistry & Biodiversity* **11**, 1192–1204.
- Barbour JD, Kennedy GG.** 1991. Role of steroidal glycoalkaloid α -tomatine in host-plant resistance of tomato to colorado potato beetle. *Journal of Chemical Ecology* **17**, 989–1005.
- Bellmann H.** 2017. *450 insectes*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- Bellmann H.** 2019. *Guide photo des insectes*. Paris: Delachaux et Niestlé.
- Berger B.** 2021. Fiche informative sur les organismes de quarantaine *Leptinotarsa decemlineata*.
- Boczowska M.** 1946. Essai sur le prédatisme des insectes et des arachnides vis-à-vis du Doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* Say). *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* **15**, 86–87.
- Boiteau G, Misener GC, Singh RP, Bernard G.** 1992. Evaluation of a vacuum collector for insect pest control in potato. *American Potato Journal* **69**, 157–166.
- Bolter CJ, Dicke M, Visser JH, Van Loon JJA, Posthumus MA.** 1997. Attraction of Colorado potato beetle to herbivore-damaged plants during herbivory and after its termination. *Journal of Chemical Ecology* **23**, 1003–1023.
- Boman S.** 2008. Ecological and Genetic Factors Contributing to Invasion Success. The Northern Spread of the Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*).
- Burst GE.** 1884. Natural enemies in straw-mulch reduce Colorado Potato Beetle populations and damage in potato. *Biological Control* **4**, 163–169.
- Busvine JR.** 1981. *Méthodes recommandées pour la mesure de la résistance des ravageurs aux pesticides*. Rome: Food & Agriculture Org.
- CABI, OEPP.** 2003. *Fiche informative sur les organismes de quarantaine Leptinotarsa decemlineata*. Centre for Agricultural Bioscience International and Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes.

Chambre d'agriculture de la Picardie. 2021. Auximore : le Doryphore.

Coombs JJ, Douches DS, Li W, Grafius EJ, Pett WL. 2003. Field Evaluation of Natural, Engineered, and Combined Resistance Mechanisms in Potato for Control of Colorado Potato Beetle. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **128**, 219–224.

Daloze D, Braekman JC, Pasteels JM. 1986. A Toxic Dipeptide from the Defense Glands of the Colorado Beetle. *Science* **233**, 221–223.

De Sangosse. 2012. Biocontrôle des insectes Novodor FR®.

Dickens JC. 2000a. Sexual Maturation and Temporal Variation of Neural Responses in Adult Colorado Potato Beetles to Volatiles Emitted by Potato Plants. *J. Chem. Ecol.* **26**, 1265–1279.

Dickens JC. 2000b. Orientation of Colorado potato beetle to natural and synthetic blends of volatiles emitted by potato plants. *Agricultural and Forest Entomology* **2**, 167–172.

Dinkins CLP, Peterson RKD. 2008. A human dietary risk assessment associated with glycoalkaloid responses of potato to Colorado potato beetle defoliation. *Food and Chemical Toxicology* **46**, 2837–2840.

Dow AgroSciences. 2013. Le Guide Success 4.

Duceppe M-O. 2011. Protéome et bilan photosynthétique de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) en réponse au doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata* Say).

Edwards MA, Seabrook WD. 1997. Evidence for an airborne sex pheromone in the colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *The Canadian Entomologist* **129**, 667–672.

Ertürk Ö, Yaman M, Aslan İ. 2008. Effects of four *Bacillus* spp. of soil origin on the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Entomological Research* **38**, 135–138.

Fernandez P, Hilker M. 2007. Host plant location by Chrysomelidae. *Basic and Applied Ecology* **8**, 97–116.

Ferré J, Van Rie J. 2002. Biochemistry and Genetics of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual review of entomology* **47**, 501–33.

Ferro DN, Alyokhin AV, Tobin DB. 1999. Reproductive status and flight activity of the overwintered Colorado potato beetle. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **91**, 443–448.

FranceAgriMer. 2021. Fiche filière Pommes de terre.

Gabaston J. 2018. Stilbènes de la vigne et d'essences forestières (pin, épicéa): Etude phytochimique et recherche d'activités anti-oomycète et insecticide.

Gabaston J, El Khawand T, Waffo-Teguo P, Decendit A, Richard T, Mérillon J-M, Pavela R. 2018. Stilbenes from grapevine root: a promising natural insecticide against *Leptinotarsa decemlineata*. *Journal of Pest Science* **91**, 897–906.

Gallais P. 2019. *Conception d'un olfactomètre permettant de cribler des substances d'origine naturelle, actives sur les larves de taupin, dans l'objectif de développer un produit de biocontrôle*. Saint Malo: Agro Innovation International - Groupe Roullier.

Gauchi J-P. 2016. Introduction à la méthode des plans d'expériences. , 408.

Grandillot J. 2019. Doryphore : le point sur les méthodes de lutte biologique suite à l'arrêt du Novodor. *Le taupin maraîcher*, 14–17.

- Hammock JA, Vinyard B, Dickens JC.** 2007. Response to host plant odors and aggregation pheromone by larvae of the Colorado potato beetle on a servosphere. *Arthropod-Plant Interactions* **1**, 27–35.
- Hough-Goldstein JA, Geiger J, Chang D, Saylor W.** 1993a. Palatability and Toxicity of the Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to Domestic Chickens. *Annals of the Entomological Society of America* **86**, 158–164.
- Hough-Goldstein JA, Heimpel GE, Bechmann HE, Mason CE.** 1993b. Arthropod natural enemies of the Colorado potato beetle. *Crop Protection* **12**, 324–334.
- Hoy CW, Vaughn TT, East DA.** 2000. Increasing the effectiveness of spring trap crops for *Leptinotarsa decemlineata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **96**, 193–204.
- Hsiao TH, Fraenkel G.** 1968. Selection and Specificity of the Colorado Potato Beetle¹ for Solanaceous and Nonsolanaceous Plants². *Annals of the Entomological Society of America* **61**, 493–503.
- Hsiao TH, Fraenkel G.** 1969. Properties of leptinotarsin. *Toxicon* **7**, 119–130.
- Hussein HM, Habušťová OS, Půža V, Zemek R.** 2016. Laboratory Evaluation of *Isaria fumosorosea* CCM 8367 and *Steinernema feltiae* Ustinov against Immature Stages of the Colorado Potato Beetle. *PLOS ONE* **11**, e0152399.
- Ioset J-R, Marston A, Gupta MP, Hostettmann K.** 2001. Five New Prenylated Stilbenes from the Root Bark of *Lonchocarpus chiricanus*. *Journal of Natural Products* **64**, 710–715.
- Isely D.** 1935. Variations in the Seasonal History of the Colorado Potato Beetle. *Journal of the Kansas Entomological Society* **8**, 5.
- Isman MB.** 2015. A renaissance for botanical insecticides?: A renaissance for botanical insecticides? *Pest Management Science* **71**, 1587–1590.
- Jobbé-Duval M.** 2015. *Produire des légumes biologiques Fiches techniques par légumes*.
- Kostić M, Dražić S, Popović Z, Stanković S, Sivčev I, Živanović T.** 2007. Developmental and Feeding Alternations in *Leptinotarsa Decemlineata* Say. (Coleoptera: Hrysomelidae) Caused by *Salvia Officinalis* L. (Lamiaceae) Essential Oil. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* **21**, 426–430.
- Kowalski SP, Domek JM, Deahl KL, Sanford LL.** 1999. Performance of Colorado potato beetle larvae, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), reared on synthetic diets supplemented with *Solanum* glycoalkaloids. *American Journal of Potato Research* **76**, 305–312.
- Kuhar TP, Mori K, Dickens JC.** 2006. Potential of a synthetic aggregation pheromone for integrated pest management of Colorado potato beetle. *Agricultural and Forest Entomology* **8**, 77–81.
- Laznik Ž, Tóth T, Lakatos T, Vidrih M, Trdan S.** 2010. Control of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* [Say]) on potato under field conditions: a comparison of the efficacy of foliar application of two strains of *Steinernema feltiae* (Filipjev) and spraying with thiametoxam. *Journal of Plant Diseases and Protection* **117**, 129–135.
- Le Hingrat Y, Quere B, Glais L, et al.** 2020. *Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre Guide d'identification et fiches descriptives*. Paris: CIP Médias.
- Legrand S.** 2021a. Fiche produit Complexe ELICIT-V27.
- Legrand S.** 2021b. Fiche produit Répulso.
- Letourmy P.** 1999. Expérimentation agronomique planifiée.

- Lhote J-M, Lebeau N, Preterre A-L, Servant L.** 2021. Bulletin de Santé du Végétal Nouvelle-Aquitaine Pommes de terre. , 1–6.
- Lipa JJ.** 1968. *Nosema leptinotarsae* sp. n., a microsporidian parasite of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Journal of Invertebrate Pathology **10**, 111–115.
- Lopez R, Ferro DN, van Driesche RG.** 1992. Overwintering biology of *Myiopharus aberrans* and *Myiopharus doryphorae* (Dipt.: Tachinidae) larval parasitoids of the Colorado Potato Beetle (Col.: Chrysomelidae). Entomophaga **37**, 311–315.
- Maharijaya A, Vosman B.** 2015. Managing the Colorado potato beetle; the need for resistance breeding. Euphytica **204**, 457–501.
- Maire P, Houssemaine-Florent H, Ouvrard C, Delacroix F, Caron A, Charrier A, de La Cotardière P, Giraud M, Mathieu B, Sanfourche J-P.** 2011. *Le petit Larousse illustré*. Paris: Larousse.
- Mariette N.** 2016. Traits de vie, adaptation et pouvoir invasif de lignées clonales de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre.
- Martel JW, Alford AR, Dickens JC.** 2007. Evaluation of a novel host plant volatile-based attracticide for management of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Crop Protection **26**, 822–827.
- Mazoyer M, Aubineau M, Bouclier J.** 2002. *Larousse Agricole : Le monde paysan au XXIe siècle*. Paris.
- McClure WO, Abbott BC, Baxter DE, Hsiao TH, Satin LS, Siger A, Yoshino JE.** 1980. Leptinotarsin: a presynaptic neurotoxin that stimulates release of acetylcholine. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **77**, 1219–1223.
- Misener GC, Boiteau G, McMillan LP.** 1993. A plastic-lining trenching device for the control of Colorado potato beetle: Beetle Excluder. American Potato Journal **70**, 903–908.
- Mitchell BK.** 1988. Adult leaf beetles as models for exploring the chemical basis of host-plant recognition. Journal of Insect Physiology **34**, 213–225.
- Mitchell BK, McCashin BG.** 1994. Tasting green leaf volatiles by larvae and adults of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. Journal of Chemical Ecology **20**, 753–769.
- Muller M.** 2015. *Gestion intégrée des ravageurs de la vigne à l'échelle d'une appellation*. Angers: Université d'Angers.
- Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes.** 2012. Evaluation biologique des produits phytosanitaires Mise en place et analyse des essais d'évaluation biologique.
- Ortiz de Elguea-Culebras G, Sánchez-Vioque R, Berruga MI, Herraiz-Peñalver D, Santana-Méridas O.** 2017. Antifeedant effects of common terpenes from Mediterranean aromatic plants on *Leptinotarsa decemlineata*. Journal of soil science and plant nutrition **17**, 475–485.
- Otálora-Luna F, Dickens JC.** 2011. Spectral preference and temporal modulation of photic orientation by Colorado potato beetle on a servosphere: Colorado potato beetle visual orientation. Entomologia Experimentalis et Applicata **138**, 93–103.
- Pare-Chamontin A.** 2010. Contribution au développement d'une organisation vigilante Cas de la détection d'organismes nuisibles aux végétaux agricoles en France métropolitaine.
- Pavela R.** 2010. Antifeedant activity of plant extracts on *Leptinotarsa decemlineata* Say. and *Spodoptera littoralis* Bois. larvae. Industrial Crops and Products **32**, 213–219.

- Pavela R, Sajfrtová M, Sovová H, Karban J, Bárnet M.** 2009. The Effects of Extracts Obtained by Supercritical Fluid Extraction and Traditional Extraction Techniques on Larvae *Leptinotarsa decemlineata* SAY. *Journal of Essential Oil Research* **21**, 367–373.
- Pelletier Y, Clark C, Tai GC.** 2001. Resistance of three wild tuber-bearing potatoes to the Colorado potato beetle. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **100**, 31–41.
- Pelletier Y, Dutheil J.** 2006. Behavioural responses of the Colorado potato beetle to trichomes and leaf surface chemicals of *Solanum tarijense*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **120**, 125–130.
- Pelletier Y, McLeod CD, Behnard G.** 1995. Description of Sublethal Injuries Caused to the Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) by Propane Flamer Treatment. *Journal of Economic Entomology* **88**, 1203–1205.
- Pelletier Y, Smilowitz Z.** 1990. Effect of trichome B exudate of *Solanum berthaultii* hawkes on consumption by the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say). *Journal of Chemical Ecology* **16**, 9.
- Picimbon J-F.** 2002. Les péri-récepteurs chimiosensoriels des insectes. *Médecine/Sciences* **18**, 1089–1094.
- Raven P, Johnson G, Mason K, Losos J, Singer S.** 2014. *Biologie*. Paris: De Boeck supérieur.
- Ruiz de Galarreta JI, Pascualena J, Legorburu FJ, Barandalla L, Ritter E.** 2006. The History of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Research in Spain. *Potato Research* **49**, 19–25.
- Sablon L, Dickens JC, Haubruge É, Verheggen FJ.** 2013. Chemical Ecology of the Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae), and Potential for Alternative Control Methods. *Insects* **4**, 31–54.
- Sablon L, Haubruge E, Verheggen FJ.** 2012. Consumption of Immature Stages of Colorado Potato Beetle by *Chrysoperla Carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) Larvae in the Laboratory. *American Journal of Potato Research* **90**, 51–57.
- Sauvion N, Catatayaud P-A, Thiéry D, Marion-Paul F.** 2013. *Interactions insectes-plantes*. Versailles: Quae.
- Schütz S, Weißbecker B, Klein A, Hummel HE.** 1997. Host Plant Selection of the Colorado Potato Beetle as Influenced by Damage Induced Volatiles of the Potato Plant. *Naturwissenschaften* **84**, 212–217.
- Scott IM, Jensen H, Scott JG, Isman MB, Arnason JT, Philogène BJR.** 2003. Botanical insecticides for controlling agricultural pests: Piperamides and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* say (Coleoptera: Chrysomelidae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* **54**, 212–225.
- Stankovic S, Kostic M, Jankovic S, Kljajic P, Todorovic G, Radosav J.** 2012. Resistance of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to neonicotinoids, pyrethroids and nereistoxins in Serbia. *Romanian Biotechnological Letters* **17**, 11.
- Stankovic S, Zabel A, Kostic M, Manojlovic B, Rajkovic S.** 2004. Colorado potato beetle [*Leptinotarsa decemlineata* (Say)] resistance to organophosphates and carbamates in Serbia. *Journal of Pest Science* **77**, 11–15.
- Szafranek B, Synak E, Waligora D, Szafranek J, Nawrot J.** 2008. Leaf surface compounds of the potato (*Solanum tuberosum*) and their influence on Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*) feeding. *Chemoecology* **18**, 205–216.
- Szendrei Z, Grafius E, Byrne A, Ziegler A.** 2012. Resistance to neonicotinoid insecticides in field populations of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Management Science* **68**, 941–946.

- Szentesi A, Weber DC, Jermy T.** 2002. Role of visual stimuli in host and mate location of the Colorado potato beetle. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **105**, 141–152.
- Taghizadeh Saroukolai A, Nouri-Ganbalani G, Rafiee-Dastjerdi H, Hadian J.** 2014. Antifeedant Activity and Toxicity of Some Plant Essential Oils to Colorado Potato Beetle,. *Plant Protect Sciences* **50**, 207–216.
- Thiery D.** 2008. *Les Tordeuses nuisibles à la vigne*. Bordeaux: Féret.
- Thompson LS.** 2014. Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada. *Phytopathology*, 280–281.
- Tian L.** 1995. Étude de l'évaluation du pouvoir insecticide de diverses souches de *Bacillus thuringiensis* envers le doryphore par bioessais en cultures de cellules de doryphore.
- Visser JH, Avé DA.** 1978. General Green Leaf Volatiles in the Olfactory Orientation of the Colorado Beetle, *Leptinotarsa Decemlineata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **24**, 738–749.
- Weber D.** 2003. Colorado beetle: pest on the move. *Pesticide Outlook* **14**, 256.
- Weber DC, Ferro DN, Buonaccorsi J, Hazzard RV.** 1994. Disrupting spring colonization of Colorado potato beetle to nonrotated potato fields. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **73**, 39–50.
- Whalon ME, Wingerd BA.** 2003. Bt: Mode of action and use. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* **54**, 200–211.
- Wilde JD, Van Tol A, Lambers Suverkropp KHR.** 1968. Responses to air flow and airborne plant odour in the Colorado beetle. *Netherlands Journal of Plant Pathology* **75**, 53–57.
- Wraight SP, Ramos ME.** 2002. Application Parameters Affecting Field Efficacy of *Beauveria bassiana* Foliar Treatments against Colorado Potato Beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Biological Control* **23**, 164–178.
- Wraight SP, Ramos ME.** 2015. Delayed efficacy of *Beauveria bassiana* foliar spray applications against Colorado potato beetle: Impacts of number and timing of applications on larval and next-generation adult populations. *Biological Control* **83**, 51–67.
- Zehnder GW, Hough-Goldstein J.** 1990. Colorado Potato Beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) Population Development and Effects on Yield of Potatoes With and Without Straw Mulch. *Journal of Economic Entomology* **83**, 1982–1987.

Sitographie

- Agreste** (2021) Grandes cultures. Une baisse générale des rendements des grandes cultures en 2020, à l'exception de la pomme de terre [consulté le 06/04/2021], <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/IraGcu20144/detail/>
- Agrisynergie** (2021) Sokalciarbo [consulté le 19/07/2021], <http://www.agrisynergie.com/fr/protection-des-cultures/sokalciarbo>
- Arvalis (a)** (2013) Le doryphore, un ravageur nuisible au rendement [consulté le 28/03/2021], <https://www.arvalis-infos.fr/le-doryphore-un-ravageur-nuisible-au-rendement-@/view-13219-arvarticle.html>
- Arvalis (b)** (2020) La lutte contre les doryphore vise en priorité les larves [consulté le 26/03/2021], <https://www.arvalis-infos.fr/se-proteger-de-la-voracite-des-doryphores-@/view-24919-arvarticle.html>
- BASF** (2019) Le doryphore [consulté le 26/03/2021], https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/pomme_de_terre/ravageurs_de_la_pomme_de_terre/doryphore_pomme_de_terre.html

Bayer (2021) Doryphore, un mangeur de feuille [consulté le 26/03/2021], https://www.bayer-agri.fr/cultures/doryphore-un-mangeur-de-feuilles_1168/

Chambre d'agriculture de la Dordogne (2021) Chiffres clés agriculture biologique [consulté le 13/07/2021], <https://dordogne.chambre-agriculture.fr/agriculture-produits/leconomie-agricole-en-dordogne/les-chiffres-cles-par-filiere/chiffres-cles-agriculture-biologique/>

CNIPT (a) (2021) Chiffres clés de la filières [consulté le 15/03/2021], <http://www.cnipt.fr/economie/chiffres-cles/>

CNIPT (b) (2021) La pomme de terre, qu'est-ce que c'est ? [consulté le 11/06/2021], <https://www.lespommesdeterre.com/du-champ-a-lassiette/>

Ephytia (2017) Facteurs de risque [consulté le 20/04/2021], <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20986/Pomme-de-terre-Facteurs-de-risque>

Fauna Europaea (2021) *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) [consulté le 27/07/2021], https://fauna-eu.org/cdm_dataportal/taxon/18c8a433-9abd-41de-a8f7-f8edefe005d4

Futura Sciences (a) (2021) Aposématisme [consulté le 27/07/2021], <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/zoologie-aposematisme-10238/>

Futura Sciences (b) (2021) Spermathèque [consulté le 27/07/2021], <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-spermatheque-5735/>

Il y a de la pomme de terre dans l'air (a) (2021) Une histoire riche et mouvementée [consulté le 24/04/2021], <https://www.lespommesdeterre.com/histoire/>

Il y a de la pomme de terre dans l'air (b) (2021) Les variétés de pommes de terre [consulté le 25/04/2021], <https://www.lespommesdeterre.com/les-varietes-de-consommation-courante/#variete>

Il y a de la pomme de terre dans l'air (c) (2021) Les variétés de pommes de terre [consulté le 25/04/2021], <https://www.lespommesdeterre.com/nutrition/>

IRAC a (2021) Arthropod Pesticide Resistance Database [consulté le 07/07/2021], <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=141>

IRAC b (2021) Colorado Potato Beetle [consulté le 04/05/2021], <https://irac-online.org/pests/leptinotarsa-decemlineata/>

Koppert (2021) Pommes de terre [consulté le 27/04/2021], <https://www.koppert.fr/cultures/cultures-arables/pomme-de-terre/>

Le plant français de pomme de terre (2021) Fiche descriptive des variétés de pommes de terre [consulté le 20/04/2021] <http://plantdepommedeterre.org/index/fiches-descriptives-des-varietes-de-pomme-de-terre>

Ontario (2009) Doryphore de la pomme de terre [consulté le 27/04/2021], <http://www.omafr.gov.on.ca/IPM/french/potatoes/insects/coloradobeetle.html#advanced>

Science&Vie (2019) Crise agricole : la pomme de terre peut-elle sauver le monde ? [consulté le 11/05/2021], <https://www.science-et-vie.com/archives/la-pomme-de-terre-peut-elle-sauver-le-monde-38799>

Syngenta (a) (2021) BBCH : une échelle universelle pour identifier le stade des culture [consulté le 03/06/2021] <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/dossier-bbch/article/echelle-universelle-bbch>

Syngenta (b) (2021) Doryphore de la pomme de terre [consulté le 15/04/2021], <https://www.syngenta.fr/traitements/doryphore-de-la-pomme-de-terre>

Venturini Giorgio - Monaco Nature Encyclopedia - (2019) *Leptinotarsa decemlineata* [consulté le 25/06/2021] <https://www.monaconatureencyclopedia.com/leptinotarsa-decemlineata/?lang=fr>

Yara France (2021) Fertilisation de la pomme de terre [consulté le 03/06/2021], <https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/pomme-de-terre/principes-agronomiques/>

ANNEXES

Ann. I : Trombinoscope de l'équipe salariée et du conseil d'administration d'Agrobio Périgord

Source : Agrobio Périgord®

L'ÉQUIPE SALARIÉE EN 2021

Standard téléphonique ouvert du lundi au vendredi de 13h30 à 17h30

En dehors de ces horaires, vous pouvez laisser un message, ou joindre l'équipe par email ou sur les portables.



Marine JULIEN

m.julien@agrobioperigord.fr
06 08 07 32 54
Direction, relations publiques
Financements
Ressources humaines



Alice PAROT

a.parot@agrobioperigord.fr
05 53 35 88 18
Responsable administrative
et financière
Absente le mercredi



Amélie BLANCHARD

communication@agrobioperigord.fr
06 07 72 54 68
Communication, groupes locaux
Absente le mercredi



Brigitte BARROT

secretariat@agrobioperigord.fr
05 53 35 88 18
Accueil et secrétariat
Comptabilité clients



Marie VIGNEAU

Remplace Camille GALLINEAU
en congé maternité
c.gallineau@agrobioperigord.fr
06 37 52 99 39
Installation, conversion,
aides et réglementation, formations
CPP-AB et Maîtrises des pratiques



Agathe LE GAL

Remplace Stéphanie
BOMME-ROUSSARIE
en congé parental
s.bomme-roussarie@agrobioperigord.fr
06 74 77 58 86



Vie associative - Commercialisation
Restauration collective et
circuits courts
Absente le vendredi



Séverine ALFIERI

s.alfieri@agrobioperigord.fr
06 74 00 11 27
Maraîchage - PPAM
Absente le mercredi



Hélène DOMINIQUE

h.dominique@agrobioperigord.fr
06 32 58 19 48
Élevage, Agroforesterie
Absente le mercredi



Thibault DEBAILLIEU

t.debaillieu@agrobioperigord.fr
07 81 12 82 58
Agronomie
Absent le vendredi

PROGRAMME "CULTIVONS LA BIODIVERSITÉ EN NOUVELLE-AQUITAINE" – DORDOGNE

Maison de la Semence - Grandes cultures et potagères • biodiversite@agrobioperigord.fr



Elodie GRAS

06 40 19 71 18
Coordination du
programme régional
Maison de la Semence
Grandes Cultures



Lorrain MONLYADE

06 86 38 86 41
Maison de la Semence Potagère
Filière maïs population



Esther PICQ

06 31 26 67 68
Maison de la Semence Grandes
Cultures - Expérimentations



Robin NOEL

06 82 87 99 64
Maison de la Semence Grandes
Cultures - Expérimentations

VITICULTURE – BUREAUX À BERGERAC



Éric MAILLE

e.maille@agrobioperigord.fr
06 87 58 48 50
Conseil et formations bio
et biodynamiques
Coordination expérimentations
Réfèrent viticulture biologique
pour la FNAB et l'ITAB



Éric NARRO

e.narro@agrobioperigord.fr
06 82 87 99 63
Réseau DEPHY-ECOPHYTO
Expérimentations,
conseil technique,
formations



Claire MAISONNEUVE

c.maisonneuve@agrobioperigord.fr
07 88 02 29 38
Réseau de surveillance - GIEE



Alexandre BANNES

a.bannes@agrobioperigord.fr
06 07 72 54 36
Projet Optivitis

CONSEIL D'ADMINISTRATION

BUREAU



Guy Forest
Maraîchage-ovins
à Lanouaille
Président



Benjamin Rodier
Maraîchage
à Cognac s/l'Isle
Secrétaire



Fanny Monbouché
Viticulture
à Monbazillac
Trésorière



Nathalie Verdier
Maraîchage
à Sarlande
Porte-parole



Samuel Cuisset
Viticulture
à Saussignac



Gérard Giesen
Élevage caprins
à Issac



Erwan Halpert
Maraîchage
à Saint-Cybranet



Dominique Leconte
Grandes cultures
à St-Martial-
d'Artenet



Carine TRICARD
Maraîchage
à Montpon-
Menesterol

MEMBRES DU CONSEIL D'ADMINISTRATION



Ann. II : Calendrier culturel de la pomme de terre présentant les périodes de travail pour chaque poste

Source : (Mazoyer et al., 2002)

Caractéristiques	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Stockage des semences												
Travail du sol												
Plantation												
Buttage												
Fertilisation												
Arrosage												
Désherbage												
Protection fongique												
Protection insecticide												
Défanage												
Récolte												
Vente												

Ann. III : Classification systématique de *Leptinotarsa decemlineata*, le doryphore de la pomme de terre
 Cours Mme PERRET, Terminale S, Lycée d'Arsonval - Cours de Mme CLAUD, DUT Génie Biologique option Génie de l'environnement, Aurillac - (Deville, 1930; Delvare and Aberlenc, 1989) - Fauna Europaea

Classification	Noms latin	Noms français	Caractéristiques
Domaine	Eucayotae	Eucaryote	• Cellule avec un vrai noyau
Règne	Animalia	Animal	• Hétérotrophes* • Multicellulaire, mobile • Collagène*
Sous-règne	Metazoa	Métazoaires	• Système nerveux • Cavité digestive unique • Tissus musculaires
Division	Bilateria	Bilatérien	• Symétrie bilatérale • Système nerveux central
Sous-division	Protostomia	Protostomiens	• Formation de la bouche en 1 ^{er}
Super-embranchement	Ecdysozoa	Ecdysozoaires	• Présence de cuticule • Croissance par mue
Embranchement	Arthropoda	Arthropodes	• Système circulatoire ouvert • Tube digestif • Exosquelette chitineux* • Corps segmenté et articulé
Sous Embranchement	Mandibulata	Mandibulates	• Présence d’antennes et de mandibules
Super-Classe	Hexapoda	Hexapodes	• 3 paires de pattes thoraciques
	Entognatha	Entognathe	• Pièces buccales non visible
Classe	Insecta	Insecte	• Corps segmenté en 3 parties : tête, thorax, abdomen • Organe particulier de Johnston sur le scape antennaire
Sous-classe	Ptérygota	Ptérygotes	• 2 paires d’ailes membraneuses
Infra-classe	Neoptera	Néoptères	• Aile équipée d’un champ jugal* permettant le repli en arrière au repos
Super-ordre	Endopterygota ou Holometabola	Endoptérygotes ou Holométaboles	• Métamorphose complète en 4 stades (œuf, larve, nymphe, imago*)
Ordre	Coleoptera	Coléoptères	• Pièces buccales de type broyeur • Elytres protégeant les ailes
Sous-ordre	Polyphaga	Polyphages	• Trochanter postérieur développé • Larves avec des pattes à 5 articles
Infra-ordre	Cucujiformia	Cucujiformes	
Super-famille	Chrysomeloidea	Chrysomeloïdes	• Tarses* à 5 articles • Antennes courtes et filiformes • Corps trapu et très bombé
Famille	Chrysomelidae	Chrysomélidés	
Sous- famille	Chrysomelinae	Chrysomèles	
Tribu	Doryphorini		• Tâches noires sur le pronotum • 10 bandes longitudinales sur les élytres
Genre	Leptinotarsa		
Espèce	Leptinotarsa decemlineata	Doryphore de la pomme de terre	

Ann. IV : Critères morphologiques d'identification du doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* en fonction des différents stades de développement

Source personnelle, données issues (Mazoyer et al., 2002; Weber, 2003 ; Le Hingrat et al., 2020), Syngenta,

Stades	Caractéristiques		Photographies
Œuf	Localisation	Face inférieure des feuilles ou sol	 ©Noëlle NEYRAT
	Forme	Ovoïde, allongée	
	Taille	1,5 à 2 mm	
	Couleur	Jaune bouton d'or ou orange	
	Incubation	7 à 15 jours	
	Nombre et disposition	Dressés, et pondus en amas de 30 à 50	
Larve	Localisation	L1-L2 : face inférieure L3-L4 : face supérieure	 ©Noëlle NEYRAT  ©Noëlle NEYRAT
	Forme	Incurvée, abdomen gonflé et mou pourvu de 6 pattes noires courtes	
	Taille	L1-L2 : 2-8 mm L3-L4 : 8-12 mm	
	Couleur	L1-L2 : jaune-orangée L3-L4 : rouge-orangée Tête et pattes noires, 2 rangs de points noirs sur le côté de l'abdomen	
	Durée d'1 génération	2 semaines	
	Nombre de stades	4 stades larvaires	
Nymphe	Localisation	Cocon à 2 à 30 cm de profondeur dans le sol	 (Weber, 2003)
	Forme	Incurvée sur la face ventrale	
	Taille	10 mm	
	Couleur	Orange, rose saumon	
	Incubation	10 à 20 jours	
Imago	Localisation	Au départ sur la feuille puis sur la totalité de la plante	 ©Noëlle NEYRAT
	Forme	Ovale, arrondie, très bombée et trapue	
	Taille	10 à 12 mm de long	
	Couleur	Tête et pronotum *jaune-orangée tacheté de noir, élytres* ornées de 10 rayures noires longitudinales	
	Début de la ponte	Après l'accouplement	
	Fécondité	800 à 1 000 œufs	
	Génération	2 à 4 / an	
	Durée de vie	1 à 2 ans	

Ann. V : Critères permettant la différenciation sexuelle chez *Leptinotarsa decemlineata*

Source : (Busvine, 1981)

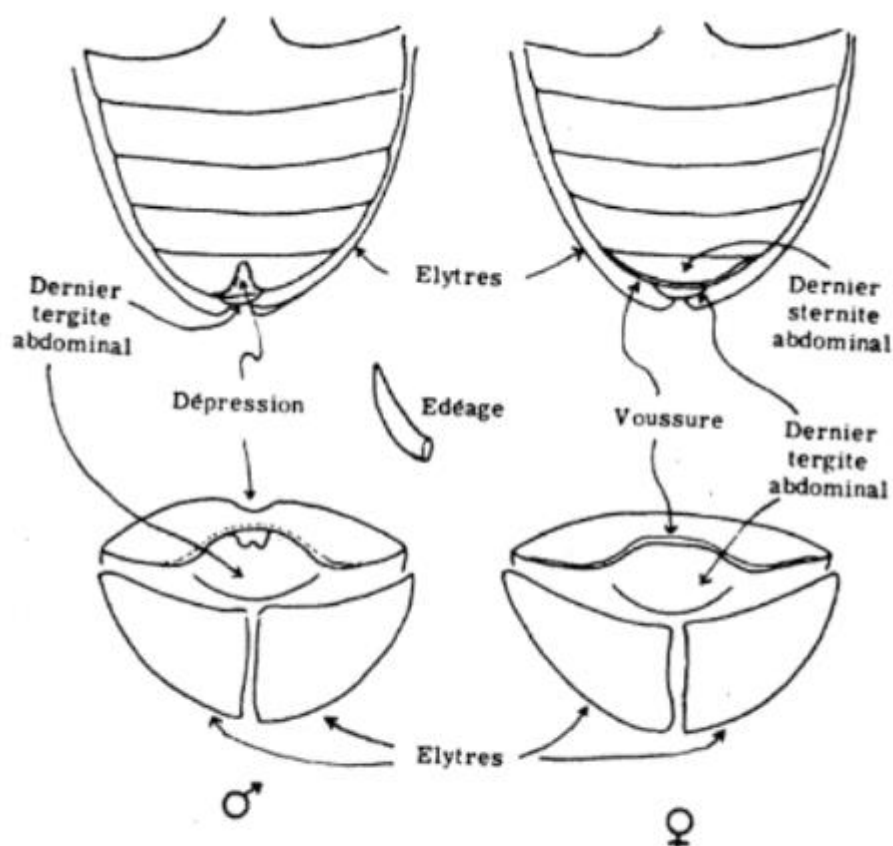


Figure 1. Abdomen des doryphores mâles et femelles. Au-dessus, vue ventrale; au-dessous, vue de l'extrémité. Au centre l'édéage mâle.

Légende : L'extrémité ventrale de l'abdomen du mâle est situé en haut à gauche et celui de la femelle en haut à droit. Les vues des extrémité des abdomens sont proposés en bas.

Ann. VI : Liste des ennemis naturels exerçant une prédation ou un parasitisme sur les doryphores
Source personnelle

Ennemis naturels	Nom Espèce	Impacts sur le doryphore	Références
Prédateurs communs	Oiseaux	Ces prédateurs peuvent se nourrir de larves comme d'adultes. 35 espèces d'oiseaux sont en capacité de prédater les doryphores. Parmi elles, il est retrouvé le moineau, le loriot ainsi que l'étourneau vulgaire.	(Association française pour l'avancement des sciences, 1924; Chambre d'agriculture de la Picardie, 2021)
	Musaraignes		
	Hérissons		
	Couleuvres		
	Arachnides Araignées Acariens	Des essais préliminaires ont montrés que les Opiliones pouvaient s'alimenter d'œufs et de larves. Autres : <i>Chrysomelobia labidamerae</i> , <i>Labidomera clivicollis</i> , <i>Pyemotes tritici</i> , <i>Phalangium opilio</i> .	(Boczowska, 1946; Weber, 2003)
	Hémiptères Punaises prédatrices	<i>Perillus bioculatus</i> se nourrirait exclusivement de doryphores et pourrait réguler les faibles populations. Les 2 ^{ème} et 3 ^{ème} stade larvaire de <i>Podisus maculiventris</i> consomment 1,5 petite larve de doryphore/jour et les 4 ^{ème} et 5 ^{ème} stades s'alimentent avec 1 grosse larve/jour. Autres : <i>Oplomus dichrous</i> , <i>Oplomus severus</i>	(Hough-Goldstein et al., 1993b; Tian, 1995; Thompson, 2014)
	Coléoptères <i>Coccinellidae</i>	<i>Coleomegilla maculata</i> entraîne une forte mortalité chez les œufs du doryphore. D'autres espèces de coccinelles sont soupçonnées : <i>Hippodamia convergens</i> , <i>Aiolocaria mirabilis</i> , <i>Gastrolina thoracica</i> .	(Tian, 1995; Weber, 2003)
Parasitoïdes	Coléoptères <i>Staphylinidae</i> <i>Carabidae</i>	Les staphylins couplés aux Carabes arrivent à limiter les dégâts de 1/3. <i>Lebia grandis</i> adulte est un prédateur des œufs (47/jour) et des larves. Les larves quant à elles, peuvent adopter un comportement de parasitoïdes sur les pré-nymphes de doryphores. Elles émergent des nymphes à l'état adulte. Un <i>Pterostichus melanarius</i> adulte peut consommer 61 œufs et 24 larves/jour. D'autres espèces ou genres peuvent être impliquées : <i>Harpalus sp.</i> , <i>Agonum sp.</i> , <i>Pterostichus sp.</i> , <i>Carabus sp.</i>	(Hough-Goldstein et al., 1993b; Chambre d'agriculture de la Picardie, 2021) (Tian, 1995; CABI and OEPP, 2003; Weber, 2003; Alvarez et al., 2013; Thompson, 2014)
	Névroptères	Une larve de <i>Chrysoperla carenea</i> a consommé 7 œufs, 9 larves L1, 4 de L2 et moins de 1 larve de L3-L4 en une journée. <i>Chrysoperla rufilabris</i> tue 84 % des doryphores en cage. <i>Myrmeleon sp.</i> , <i>Chrysopa vulgaris</i> L.	(Boczowska, 1946; Hough-Goldstein et al., 1993b; Sablon et al., 2012)
Protozoaires	Guêpes	<i>Edovum puttleri</i> parasite essentiellement les œufs des Chrysomélidés mais peut également les tuer uniquement par forage. Le parasitisme n'excède que rarement 50 % des masses d'œufs.	(CABI and OEPP, 2003; Weber, 2003; Thompson, 2014)
	Diptères Mouche tachinide	Les tachinides sont des parasitoïdes des doryphores adultes. Les mouches s'introduisent dans les adultes dans lesquels elles passent l'hiver sous la forme larvaire. Elles ressortent de leur hôte sous forme de mouche. Plusieurs espèces peuvent parasiter les œufs et les larves de doryphores : <i>Myiopharus aberrans</i> , <i>Myiopharus macella</i> , <i>Myiopharus doryphorae</i> , <i>Hyalomyodes triangulifera</i> , ... <i>Myiopharus americanus</i> induit une mortalité de 80 % chez les larves de <i>L. decemlineata</i> .	(Lopez et al., 1992; Hough-Goldstein et al., 1993b; Tian, 1995)
Champignons entomopathogènes (EPF)	<i>Beauveria bassiana</i>	L'étude de Wraight et Ramos a mis en évidence une faible efficacité sur les larves mais une réduction des populations adultes de 80 % avec 3 traitements sur G1. Des produits sont homologués avec cette substance active comme BioCeres WP ou BotaniGard WP mais pas en France. Autres : <i>B. tenella</i> , <i>Paecilomyces farinosus</i> , <i>Penicillium funiculosum</i>	(Wraight and Ramos, 2002, 2015; CABI and OEPP, 2003)
Nématodes entomopathogènes (EPN)	<i>Steinernema feltiae</i>	La souche B30 contribuerait à réduire significativement le nombre de larves mais aucun effet n'a été avéré sur œufs et adulte. La souche Entonem a aussi été efficace dans le contrôle des larves.	(CABI and OEPP, 2003; Laznik et al., 2010)
	<i>Isaria fumosorosea</i>	La souche CCM 8367 a causé la mort de 92,6 % des larves L4. Couplé à <i>S. feltiae</i> la mortalité est montée à 98 %.	(Hussein et al., 2016)
	Autres	D'autres nématodes peuvent potentiellement prédatés le doryphore : <i>Mermis</i> , <i>Phaecilomyces farinosus</i> , <i>Paecilomyces fumosus-roseus</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i>	(Association française pour l'avancement des sciences, 1924; Tian, 1995)
Bactéries entomopathogènes (EPB)	<i>B. pumilus</i> <i>B. sphaericus</i>	Les mortalités induites par ces 2 espèces étaient respectivement comprises entre 95,7 % - 26,7 % et 74,5 % - 23,3 %.	(Ertürk et al., 2008)
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Efficacité mis en exergue par Whalon au début du 21 ^{ème} siècle	(CABI and OEPP, 2003; Whalon and Wingerd, 2003)
	Autres	<i>Bacillus popilliae</i> , <i>Bacillus lentimorbus</i>	(Tian, 1995)

Source personnelle



Nombre de pommes de terre/unité expérimentale ≈ 37

1 : rang de pommes de terre

Les parcelles sont composées de 2 rangs de pommes de terre, comme les bordures.

Attention, les parcelles ne sont pas à l'échelle,
il faut se référer aux cotes !

Source personnelle



Ann. IX : Modalités et traitements de l'essai A

Source personnelle, données issues du protocole

Applications		Modalités	Produits	Dose	Volume eau	Volume de bouillie
Date	Type					
Application A 07/05/2021	Pré-émergence	T0	Eau	200 mL	200 mL	200 mL
		M1	Répulso®	10 mL	190 mL	200 mL
		M2	Sokalciarbo®	10 g	200 mL	200 mL
Application B 20/05/2021	Pré-émergence	T0	Eau	600 mL	600 mL	600 mL
		M1	Répulso®	30 mL	570 mL	600 mL
Application B 21/05/2021		M2	Sokalciarbo®	30 g	600 mL	600 mL
Application C 27/05/2021	Post-émergence adulte	T0	Eau	600 mL	600 mL	600 mL
	Pré-émergence œufs et larves	M1	Répulso®	30 mL	570 mL	600 mL
		M2	Sokalciarbo®	30 g	600 mL	600 mL
Application D 09/06/2021	Post-émergence	T0	Eau	800 mL	800 mL	800 mL
		M1	Répulso®	40 mL	760 mL	800 mL
		M2	Sokalciarbo®	40 g	800 mL	800 mL
Application D 10/06/21		T1	Success 4®	3 mL	800 mL	800 mL
Application E 24/06/2021	Post-émergence	T0	Eau	850 mL	850 mL	850 mL
		M1	Répulso®	42,5 mL	807,5 mL	850 mL
		M2	Sokalciarbo®	42,5 g	850 mL	850 mL

Légende : Les témoins négatifs traités à l'eau sont identifiés par la couleur bleue. Le témoin positif traité au Success 4® est caractérisé par la couleur jaune. Les doses de produits sont données pour une modalité d'un bloc à l'exception du Success 4® où un prélèvement unique a été effectué puisque la précision du matériel à disposition n'était pas suffisante pour prélever la quantité nécessaire placette par placette.

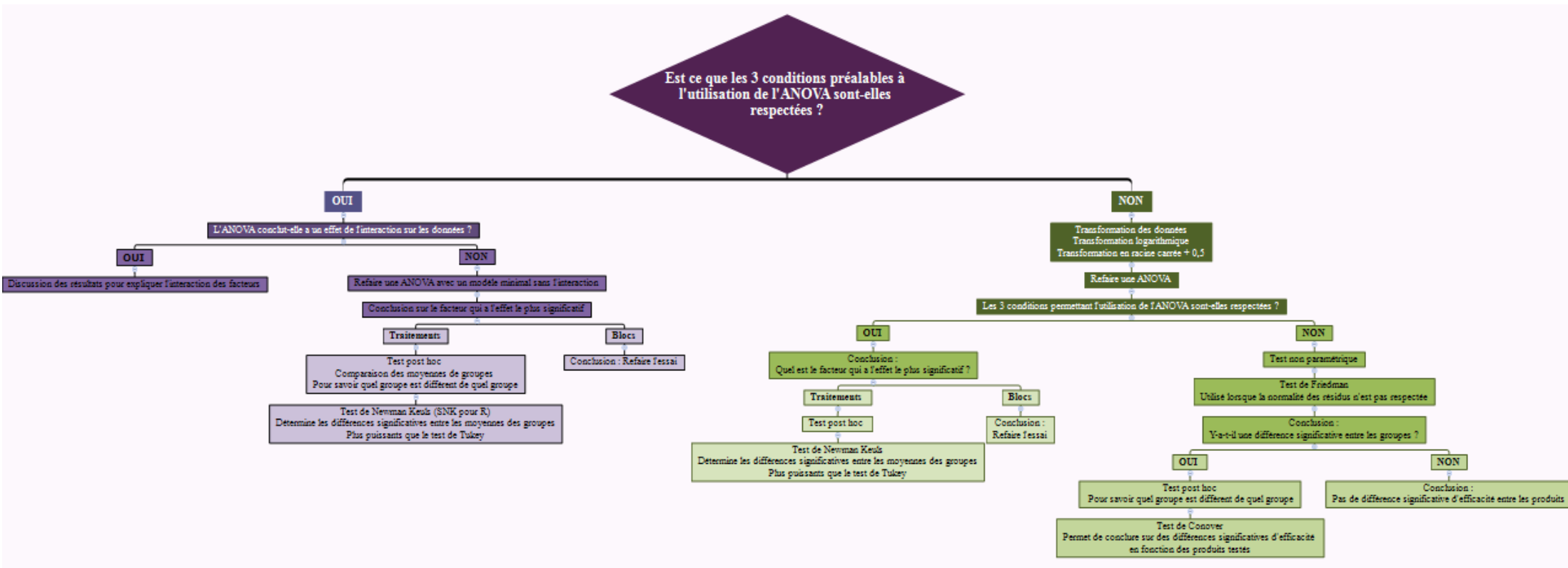
Il apparaît en rouge et en gras la quantité de produit prélevée pour l'ensemble des 4 modalités à traiter. Il s'avère que le produit a été appliqué à 10 fois la dose. L'ensemble des 4 micro-placettes (36m²) aurait du recevoir uniquement 0,3 mL.

A la 1^{ère} et la 2^{de} pulvérisation du produit, il n'y avait pas encore de pression parasitaire d'où le « pré-émergence ». En d'autres termes, le doryphore n'était pas encore sorti de sa diapause ou n'avait pas encore trouvé les pommes de terre. Pour D et E, les applications sont dites de « post-émergence » c'est-à-dire que tous les stades du cycle sont observés au champ : les adultes, les œufs et les larves.

Sur l'essai A, il y a eu à 2 reprises des problèmes organisationnels (applications B et D) qui n'ont pas pris de traiter toutes les modalités le même jour. La modalité manquante a été traitée le lendemain.

Ann. X : Arbre de décision pour décider quel test statistique doit être fait avec le jeu de données à disposition

Source personnelle



Ann. XI : Résultats des tests statistiques préalables à l'emploi de l'ANOVA (Shapiro-Wilk, Levene, Durbin-Watson) testant la distribution normale des résidus, l'homogénéité des variances et l'indépendance des données de l'essai A

Source personnelle

Variable	Date	Données brutes			Données transformées par logarithme			Données transformées par racine carrée + 0,5		
		p-value Shapiro-Wilk Normalité des résidus	p-value test de Levene Homoscédasticité résidus	p-value Durbin-Watson Indépendance des résidus	p-value Shapiro-Wilk Normalité des résidus	p-value test de Levene Homoscédasticité résidus	p-value Durbin-Watson Indépendance des résidus	p-value Shapiro-Wilk Normalité des résidus	p-value test de Levene Homoscédasticité résidus	p-value Durbin-Watson Indépendance des résidus
Adultes	27/05/2021	7,70E-42	0,11320361	0,45	9,55E-42	0,11817836	0,464	1,00E-41	0,12507355	0,528
Adultes	31/05/2021	2,40E-41	0,51029323	0,824	3,16E-41	0,48084088	0,77	3,38E-41	0,46509352	0,746
Adultes	09/06/2021	4,58E-38	0,5956392	0,226	1,10E-37	0,73735471	0,156	1,13E-37	0,76950428	0,094
Adultes	17/06/2021	4,81E-42	0,67807768	0,536	4,81E-42	0,67807768	0,578	4,81E-42	0,67807768	0,504
Adultes	23/06/2021	2,37E-42	0,22447645	0,478	3,16E-42	0,15728183	0,372	3,51E-42	0,12853575	0,368
Adultes	29/06/2021	3,32E-41	0,41808673	0,734	3,32E-41	0,41808673	0,708	3,32E-41	0,41808673	0,662
Foyers d'œufs	31/05/2021	6,47E-40	0,00058297	0,038	1,07E-39	0,00022683	0,03	1,22E-39	0,00015949	0,026
Foyers d'œufs	09/06/2021	1,60E-34	0,65073725	0,898	9,08E-30	0,37661022	0,552	3,11E-29	0,26856969	0,444
Foyers d'œufs	17/06/2021	1,94E-34	0,03549631	0,054	4,25E-34	0,03452541	0,15	4,46E-34	0,03587365	0,22
Foyers d'œufs	23/06/2021	9,22E-38	0,10802882	0,108	1,10E-37	0,093574	0,09	1,10E-37	0,08846098	0,062
Foyers d'œufs	29/06/2021	4,49E-37	0,00057203	0,994	1,28E-36	0,00015903	0,918	1,72E-36	9,40E-05	0,802
Larves	09/06/2021	3,10E-37	0,00032827	0,098	1,17E-34	7,75E-09	0,008	2,86E-35	1,21E-07	0,014
Larves	17/06/2021	6,99E-31	0,00100669	0,002	1,60E-21	9,49E-11	0	1,96E-23	3,82E-09	0
Larves	23/06/2021	8,01E-30	6,21E-08	0	6,92E-17	6,67E-18	0	4,36E-19	5,66E-16	0
Larves	29/06/2021	1,26E-37	0,00532189	0,016	6,34E-26	1,25E-06	0	1,02E-26	1,74E-06	0

Légende : Les valeurs en rouge signifient que c'est l'hypothèse alternative H1 qui est acceptée (H0 rejetée). En d'autres termes cela traduit un non-respect de la distribution normale des résidus, une hétérogénéité des variances et le fait que les résidus ne sont pas indépendants.

Ann. XII : Résultats des tests statistiques préalables à l'emploi de l'ANOVA (Shapiro-Wilk, Levene, Durbin-Watson) testant la distribution normale des résidus, l'homogénéité des variances et l'indépendance des données de l'essai B

Source personnelle

Variable	Date	Données brutes			Données transformées par logarithme			Données transformées par racine carrée + 0,5		
		p-value Shapiro-Wilk Normalité des résidus	p-value test de Levene Homoscédasticité résidus	p-value Durbin Watson Indépendance résidus	p-value Shapiro-Wilk Normalité des résidus	p-value test de Levene Homoscédasticité résidus	p-value Durbin Watson Indépendance résidus	p-value Shapiro-Wilk Normalité des résidus	p-value test de Levene Homoscédasticité résidus	p-value Durbin Watson Indépendance résidus
Adultes	26/05/2021	9,17E-35	0,04216019	0,136	1,16E-34	0,042298946	0,15	1,17E-34	0,043625956	0,118
Adultes	01/06/2021	9,12E-29	0,048239543	0,352	1,63E-28	0,057671174	0,264	1,52E-28	0,063961173	0,222
Adultes	07/06/2021	2,62E-30	0,303649312	0,222	3,03E-30	0,344366666	0,268	2,56E-30	0,3695508	0,374
Adultes	10/06/2021	7,62E-31	0,485599791	0,876	3,09E-30	0,445772505	0,804	4,32E-30	0,428393911	0,804
Adultes	14/06/2021	1,40E-30	0,489672264	0,868	6,78E-30	0,384943621	0,816	9,12E-30	0,346716479	0,864
Adultes	21/06/2021	2,69E-32	0,023568161	0,952	3,01E-32	0,024094451	0,958	2,84E-32	0,024851256	0,896
Adultes	28/06/2021	3,72E-37	0,715320529	0,566	3,72E-37	0,715320529	0,478	3,72E-37	0,715320529	0,522
Foyers d'œufs	01/06/2021	2,00E-21	1,62E-09	0,026	3,76E-19	9,63E-08	0,018	4,56E-19	9,30E-07	0,016
Foyers d'œufs	07/06/2021	2,35E-15	5,19E-10	0,002	1,77E-06	4,93E-07	0	2,49E-06	2,08E-05	0
Foyers d'œufs	10/06/2021	6,08E-22	5,18E-05	0,228	1,09E-06	0,001723798	0,004	1,09E-07	0,029457685	0,01
Foyers d'œufs	14/06/2021	4,03E-27	0,044549034	0,042	4,86E-10	0,000839521	0	9,47E-12	0,015591137	0
Foyers d'œufs	21/06/2021	9,48E-28	0,264184592	0,02	1,77E-25	0,258154695	0	2,69E-25	0,245322034	0
Foyers d'œufs	28/06/2021	6,00E-31	0,011447345	0,558	1,82E-30	0,011343917	0,46	2,11E-30	0,011914194	0,46
Larves	01/06/2021	2,07E-38	0,448714147	0	2,07E-38	0,448714147	0	2,07E-38	0,448714147	0
Larves	07/06/2021	1,92E-36	0,170457665	0,558	8,01E-36	0,077000182	0,412	6,28E-36	0,093641944	0,604
Larves	10/06/2021	1,44E-32	0,033241965	0,226	1,68E-28	6,70E-05	0,036	1,74E-29	0,000377613	0,034
Larves	14/06/2021	8,66E-19	4,77E-11	0,028	3,92E-09	5,14E-07	0	7,70E-11	1,58E-09	0
Larves	21/06/2021	1,56E-20	6,11E-18	0	2,25E-06	1,40E-11	0	5,44E-10	7,42E-16	0
Larves	28/06/2021	6,07E-24	4,99E-07	0,038	1,09E-06	0,686703231	0	5,77E-13	0,124060297	0

Légende : Les valeurs en rouge signifient que c'est l'hypothèse alternative H1 qui est acceptée (H0 rejetée). En d'autres termes cela traduit un non-respect de la distribution normale des résidus, une hétérogénéité des variances et le fait que les résidus ne sont pas indépendants.

Ann. XIII : Tableau de synthèse des statistiques descriptives pour l'essai B (moyenne, écart type, valeurs minimales et maximales)

Source personnelle modifié d'après les sorties R de Lorrain MONLYADE

Blocs	Moda.	Date	Nbre plant	Moyenne			Ecart type			Valeurs minimales			Valeurs maximales		
				Adultes /plant	Foyers /plant	Larves /plant	Adultes	Foyers d'oeufs	Larves	Adultes	Foyers d'oeufs	Larves	Adultes	Foyers d'oeufs	Larves
1	M1	14/05/2021	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	M1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	M1	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	M1	01/06/2021	30	0,13333	0,23333	0	0,34575	0,50401	0	0	0	0	1	2	0
1	M1	07/06/2021	30	0,2	1,76667	0,8	0,48423	1,47819	4,3818	0	0	0	2	7	24
1	M1	10/06/2021	30	0,1	1,23333	1,56667	0,54772	1,25075	4,7828	0	0	0	3	5	16
1	M1	14/06/2021	30	0,1	0,4	22,7667	0,40258	0,62146	30,355	0	0	0	2	2	111
1	M1	21/06/2021	30	0,03333	0,33333	10,8333	0,18257	0,66089	10,485	0	0	0	1	2	49
1	M1	28/06/2021	30	0	0,03333	14,1333	0	0,18257	15,945	0	0	0	0	1	74
1	T0	14/05/2021	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	T0	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	T0	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	T0	01/06/2021	30	0,1	0,23333	0	0,40258	0,50401	0	0	0	0	2	2	0
1	T0	07/06/2021	30	0,06667	0,66667	0	0,25371	0,66089	0	0	0	0	1	2	0
1	T0	10/06/2021	30	0,2	1,53333	2	0,48423	2,90936	9,5556	0	0	0	2	16	52
1	T0	14/06/2021	30	0,16667	1,7	18,9333	0,37905	1,78403	21,624	0	0	0	1	8	64
1	T0	21/06/2021	30	0	0,43333	35,0667	0	1,0063	26,289	0	0	1	0	5	89
1	T0	28/06/2021	30	0	0	30,1333	0	0	25,363	0	0	2	0	0	108
1	T1	14/05/2021	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	T1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	T1	26/05/2021	30	0,03333	0	0	0,18257	0	0	0	0	0	1	0	0
1	T1	01/06/2021	30	0,33333	1,23333	0	0,71116	1,27802	0	0	0	0	2	4	0
1	T1	07/06/2021	30	0,2	2,16667	1,4	0,48423	1,68325	5,8345	0	0	0	2	7	31
1	T1	10/06/2021	30	0,33333	2,33333	7	0,7581	1,82574	12,725	0	0	0	3	5	46
1	T1	14/06/2021	30	0,2	2,36667	44,7333	0,48423	1,93842	36,525	0	0	0	2	7	121
1	T1	21/06/2021	30	0,1	0,13333	0,4	0,30513	0,43417	1,3025	0	0	0	1	2	6
1	T1	28/06/2021	30	0,03333	0,1	5,33333	0,18257	0,30513	14,533	0	0	0	1	1	75
2	M1	14/05/2021	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	M1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	M1	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ann. XIII : Tableau de synthèse des statistiques descriptives pour l'essai B (moyenne, écart type, valeurs minimales et maximales)

Source personnelle modifié d'après les sorties R de Lorrain MONLYADE

Blocs	Moda.	Date	Nbre	Moyenne			Ecart type			Valeurs minimales			Valeurs maximales		
				Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves
2	M1	01/06/2021	30	0,23333	0,46667	0	0,50401	0,68145	0	0	0	0	2	2	0
2	M1	07/06/2021	30	0,1	0,9	0,03333	0,30513	1,26899	0,1826	0	0	0	1	6	1
2	M1	10/06/2021	30	0,13333	0,46667	1,93333	0,43417	0,7303	7,3949	0	0	0	2	3	40
2	M1	14/06/2021	30	0,2	0,36667	14,3667	0,48423	0,85029	24,22	0	0	0	2	4	103
2	M1	21/06/2021	30	0,03333	0,1	20,0333	0,18257	0,40258	27,447	0	0	0	1	2	134
2	M1	28/06/2021	30	0	0,03333	11,1667	0	0,18257	13,827	0	0	0	0	1	62
2	TO	14/05/2021	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	TO	21/05/2021	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	TO	26/05/2021	29	0,03448	0	0	0,1857	0	0	0	0	0	1	0	0
2	TO	01/06/2021	29	0,2069	0,34483	0	0,55929	0,85673	0	0	0	0	2	3	0
2	TO	07/06/2021	29	0,06897	1,48276	0	0,25788	1,4298	0	0	0	0	1	5	0
2	TO	10/06/2021	30	0,16667	1,1	2,83333	0,46113	1,34805	11,185	0	0	0	2	5	60
2	TO	14/06/2021	29	0,24138	0,93103	21,7586	0,51096	1,06674	26,161	0	0	0	2	3	86
2	TO	21/06/2021	29	0	0,58621	37,1034	0	1,42722	27,194	0	0	1	0	7	127
2	TO	28/06/2021	29	0	0,06897	29,4483	0	0,25788	29,688	0	0	1	0	1	140
2	T1	14/05/2021	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	T1	21/05/2021	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	T1	26/05/2021	30	0,03333	0	0	0,18257	0	0	0	0	0	1	0	0
2	T1	01/06/2021	30	0,03333	0,03333	0	0,18257	0,18257	0	0	0	0	1	1	0
2	T1	07/06/2021	30	0,03333	0,56667	0	0,18257	0,77385	0	0	0	0	1	2	0
2	T1	10/06/2021	30	0,13333	0,66667	0,1	0,50742	0,8023	0,5477	0	0	0	2	3	3
2	T1	14/06/2021	30	0,16667	0,66667	9,06667	0,46113	1,06134	18,861	0	0	0	2	5	74
2	T1	21/06/2021	30	0,1	0,3	3,46667	0,30513	0,74971	9,1604	0	0	0	1	3	43
2	T1	28/06/2021	30	0	0	1,46667	0	0	3,1919	0	0	0	0	0	16
3	M1	14/05/2021	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	M1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	M1	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	M1	01/06/2021	30	0,16667	0,23333	0	0,46113	0,50401	0	0	0	0	2	2	0
3	M1	07/06/2021	30	0,03333	0,2	0	0,18257	0,48423	0	0	0	0	1	2	0
3	M1	10/06/2021	30	0,1	0,56667	0,93333	0,30513	1,10433	5,1121	0	0	0	1	5	28
3	M1	14/06/2021	30	0,03333	0,5	4,53333	0,18257	0,62972	11,593	0	0	0	1	2	48

Ann. XIII : Tableau de synthèse des statistiques descriptives pour l'essai B (moyenne, écart type, valeurs minimales et maximales)

Source personnelle modifié d'après les sorties R de Lorrain MONLYADE

Blocs	Moda.	Date	Nbre	Moyenne			Ecart type			Valeurs minimales			Valeurs maximales		
				Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves
3	M1	21/06/2021	30	0	0,43333	6	0	0,8172	10,062	0	0	0	0	3	0
3	M1	28/06/2021	30	0	0,3	8,86667	0	0,70221	12,859	0	0	0	0	3	0
3	T0	14/05/2021	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	T0	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	T0	26/05/2021	30	0,1	0	0	0,30513	0	0	0	0	0	1	0	27
3	T0	01/06/2021	30	0,03333	0,3	0	0,18257	0,65126	0	0	0	0	1	3	13
3	T0	07/06/2021	30	0,03333	0,3	1,56667	0,18257	0,65126	6,0326	0	0	0	1	3	24
3	T0	10/06/2021	30	0	0,23333	1	0	0,43018	3,1073	0	0	0	0	1	11
3	T0	14/06/2021	30	0,03333	0,83333	1,73333	0,18257	4,00933	5,0099	0	0	0	1	22	53
3	T0	21/06/2021	30	0	0,1	0,66667	0	0,40258	2,0229	0	0	0	0	2	0
3	T0	28/06/2021	30	0	0	4,63333	0	0	12,408	0	0	0	0	0	0
3	T1	14/05/2021	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	T1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	T1	26/05/2021	30	0,13333	0	0	0,43417	0	0	0	0	0	2	0	0
3	T1	01/06/2021	30	0,33333	0,5	0	0,71116	0,73108	0	0	0	0	2	2	51
3	T1	07/06/2021	30	0,2	1,26667	0	0,48423	1,55216	0	0	0	0	2	5	139
3	T1	10/06/2021	30	0,16667	1,76667	2,66667	0,46113	1,90613	9,9458	0	0	0	2	7	32
3	T1	14/06/2021	30	0,16667	1,36667	21,4333	0,59209	1,49674	32,345	0	0	0	3	5	36
3	T1	21/06/2021	30	0,13333	0,3	1,46667	0,34575	0,59596	6,1067	0	0	0	1	2	0
3	T1	28/06/2021	30	0,03333	0,23333	3,33333	0,18257	0,56832	7,2175	0	0	0	1	2	0
4	M1	14/05/2021	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	M1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	M1	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	M1	01/06/2021	30	0	0,03333	0,03333	0	0,18257	0,1826	0	0	0	0	1	0
4	M1	07/06/2021	30	0,13333	0,16667	0	0,34575	0,37905	0	0	0	0	1	1	46
4	M1	10/06/2021	30	0,06667	0,53333	0	0,25371	0,77608	0	0	0	0	1	3	64
4	M1	14/06/2021	30	0,03333	0,8	3,3	0,18257	0,76112	11,225	0	0	0	1	2	83
4	M1	21/06/2021	30	0	0,26667	17,4333	0	0,69149	17,194	0	0	0	0	3	0
4	M1	28/06/2021	30	0,03333	0,03333	17,5	0,18257	0,18257	16,145	0	0	0	1	1	0
4	T0	14/05/2021	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T0	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ann. XIII : Tableau de synthèse des statistiques descriptives pour l'essai B (moyenne, écart type, valeurs minimales et maximales)

Source personnelle modifié d'après les sorties R de Lorrain MONLYAD

Blocs	Moda.	Date	Nbre	Moyenne			Ecart type			Valeurs minimales			Valeurs maximales		
				Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves
4	Date	Nbre	Adult	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	Adultes	Foyers	Larves	42
4	T0	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T0	01/06/2021	30	0,13333	0,43333	0	0,50742	0,85836	0	0	0	0	2	4	0
4	T0	07/06/2021	30	0,06667	0,3	0	0,25371	0,53498	0	0	0	0	1	2	0
4	T0	10/06/2021	30	0,1	0,73333	0,2	0,40258	0,73968	1,0954	0	0	0	2	2	6
4	T0	14/06/2021	30	0,13333	0,83333	5,36667	0,50742	1,36668	10,688	0	0	0	2	5	52
4	T0	21/06/2021	30	0,03333	0,53333	17,6667	0,18257	1,10589	22,34	0	0	0	1	5	92
4	T0	28/06/2021	30	0,03333	0,16667	16,6	0,18257	0,53067	20,46	0	0	0	1	2	102
4	T1	14/05/2021	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T1	21/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T1	26/05/2021	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T1	01/06/2021	30	0,06667	0,2	0	0,25371	0,61026	0	0	0	0	1	3	0
4	T1	07/06/2021	30	0,16667	0,8	0	0,46113	1,29721	0	0	0	0	2	5	0
4	T1	10/06/2021	30	0,23333	1,06667	1,83333	0,67891	1,38796	8,0776	0	0	0	3	5	43
4	T1	14/06/2021	30	0,06667	1,3	10	0,25371	1,57896	21,433	0	0	0	1	5	76
4	T1	21/06/2021	30	0,16667	0,23333	1,8	0,46113	0,50401	6,0023	0	0	0	2	2	29
4	T1	28/06/2021	30	0	0,1	1,93333	0	0,40258	3,0618	0	0	0	0	2	10

Légende : Au vu de la longueur du tableau, seul les données pour un des 2 essais ont été fournies en annexe.

Annexe XIV : Graphiques manquants à la page 22

Source personnelle

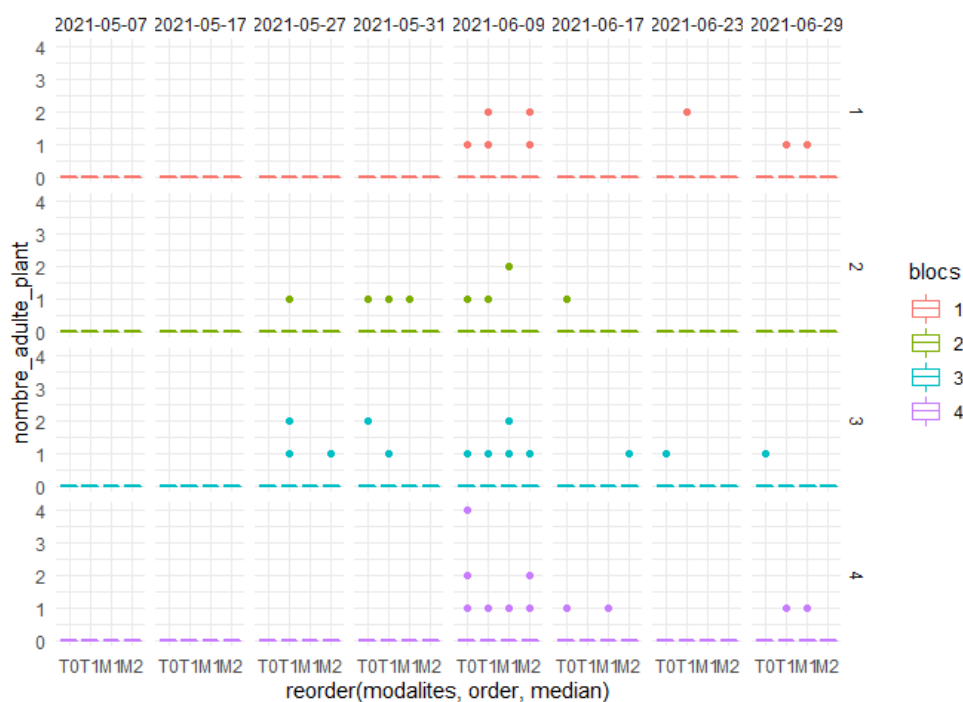


Fig. 19 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre d'adultes par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai A

Source : Lorrain MONLYADE

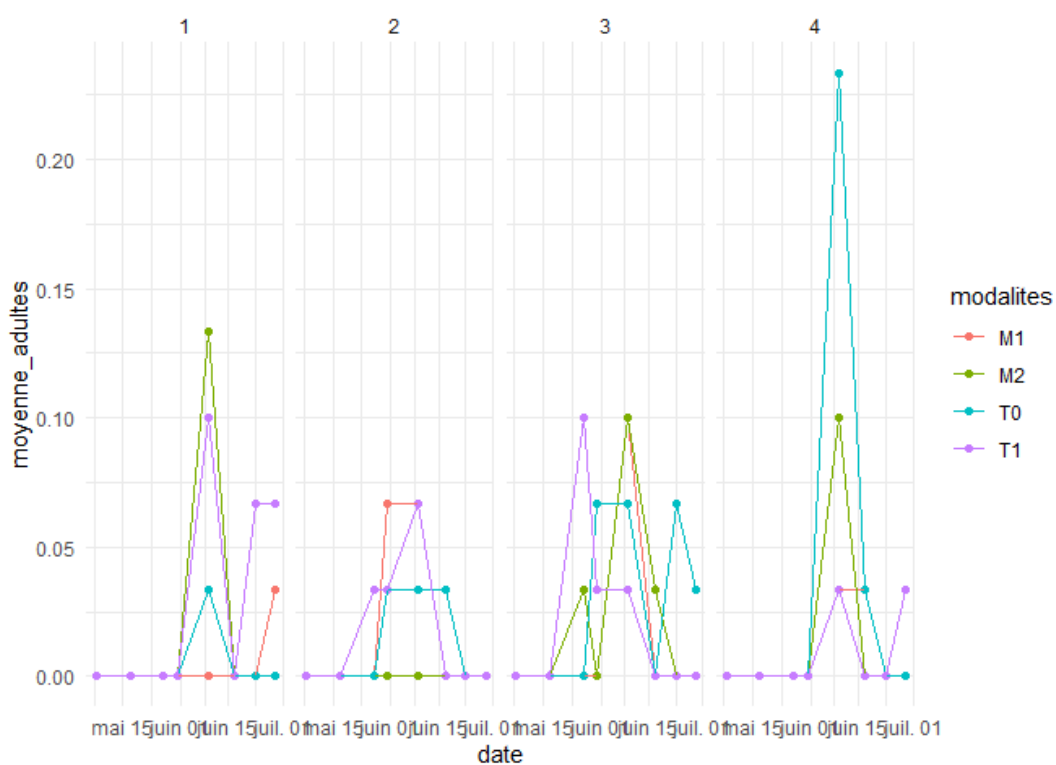


Fig. 20 : Evolution du nombre moyen d'adulte par plant au sein de chaque bloc pour chacune des modalités pour l'essai A

Source : Lorrain MONLYADE

Annexe XIV : Graphiques manquants à la page 22

Source personnelle

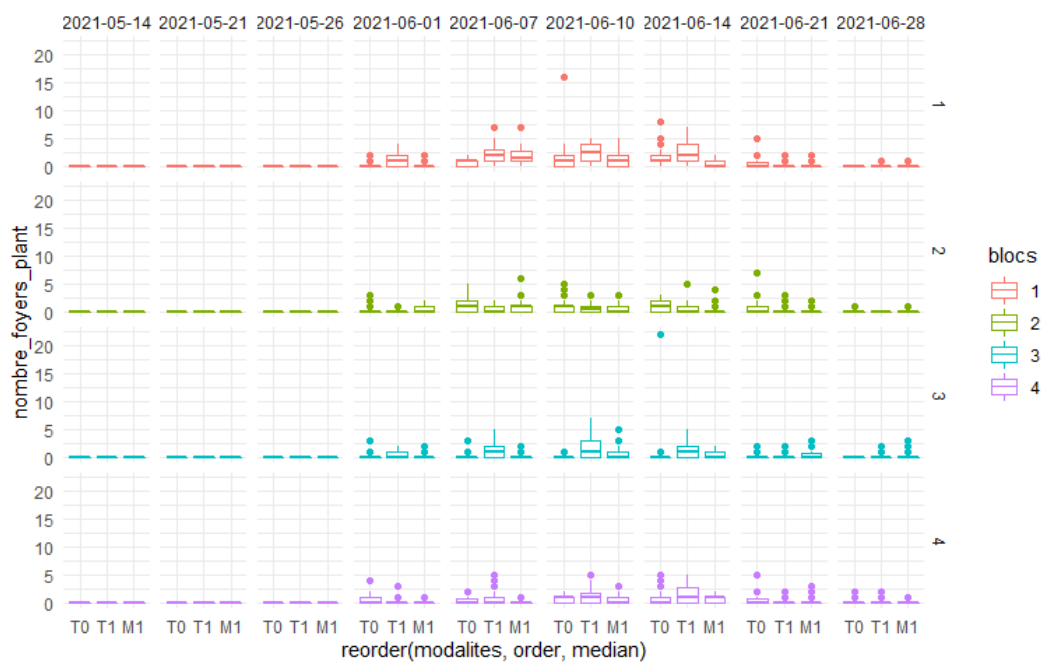


Fig. 21 : Distribution des données pour la variable quantitative « nombre de foyers par plant » sur chaque bloc et pour chaque modalité sur l'essai B

Source : Lorrain MONLYADE

	Diplôme : Master Mention : Biologie végétale (BV) Parcours : Gestion de la Santé des Plantes
Auteur : Noëlle NEYRAT Date de naissance : 14 octobre 1998 Nb pages : 41 Annexes : 14 Année de soutenance : 2021	Organisme d'accueil : Agrobio Périgord Adresse : 7, impasse de la Truffe 24430 COURSAC Maîtres de stage : Lorrain MONLYADE et Séverine ALFIERI
Titre en français : Lutte contre les ravageurs en maraîchage biologique Mise en place et conduite d'essais « efficacité » de produits utilisables en agriculture biologique pour lutter contre le doryphore de la pomme de terre <i>Leptinotarsa decemlineata</i> Titre en anglais : Pest control in organic vegetable production Setting up and conducting « efficiency » trials of products that can be used in organic farming to control the Colorado Potato Beetle <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	
Résumé (1600 caractères maximum) En agriculture biologique, une grande majorité des maraîchers utilisait jusqu'en 2019 un insecticide à base de Bt, le Novodor® pour lutter contre <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , le doryphore de la pomme de terre. Retiré du marché par l'entreprise qui le commercialisait, les paysans se sont tournés vers le seul autre produit encore autorisé, le Success4®. En tant qu'insecticide total, ce dernier ne correspond pas aux valeurs éthiques des adhérents d'Agrobio Périgord. Ces derniers ont donc demandé à l'association de tester l'efficacité de produits plus naturels qui pourraient potentiellement être employés dans la lutte contre le ravageur dans les années futures. Ainsi, 2 essais ont été mis en place testant 2 produits différents : ELICIT-V27® couplé au Répulso® et Sokalciarbo WP®. Au cours des notations, 3 variables quantitatives ont été suivies : le nombre d'adultes, de foyers d'œufs et de larves par plant de pomme de terre. Les données brutes n'ont pu être analysées avec des tests paramétriques (ANOVA à 2 facteurs) à cause du non-respect de la normalité de la distribution des résidus, de l'homoscédasticité des variances et de l'indépendance des données. Le test non paramétrique de Friedman a été envisagé mais en raison de contraintes techniques et organisationnelles, ce dernier n'a pu être effectué de manière fiable. Les résultats sont donc analysés <i>via</i> des statistiques descriptives. Pour les 3 variables, il semblerait que la dispersion des données ait été peu importante et que la pression parasitaire au sein des essais ait été assez hétérogène. De fait, dans les conditions où ont été testés les produits cette année, il n'a pas été possible de mettre en évidence une quelconque différence d'efficacité des traitements.	
Abstract (maximum 1600 typeface) : In organic farming, a large majority of market gardeners used a Bt-based insecticide, Novodor until 2019 to control <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , the Colorado potato beetle. When the company that marketed it withdrew it from the market, farmers turned to the only other product still authorized, Success4. As a total insecticide, it does not correspond to the ethical values of the members of Agrobio Perigord. Therefore, they asked the association to test the effectiveness of more natural products that could potentially be used in the fight against the pest in futures years. Thus, 2 trials were set up testing 2 different products: ELICIT-V27 coupled with Repulso and Sokalciarbo WP. During the surveys, 3 quantitative variables were monitored: the number of adults, egg foci and larvae per potato plant. The raw data could not be analysed with parametric test (2-factor ANOVA) because of the non-respect of normality of the distribution of the residuals, the homoscedasticity of the variances and the independence of the data. The non-parametric Friedman test was considered but due to technical and organizational constraints, it could not be reliably performed. The result are therefore analyzed using descriptive statistics. For, the 3 variables, it seems that the dispersion of the data was not very important and that the pest pressure within the trials was quite heterogeneous. In fact, under the conditions where the products were tested this year, it was not possible to show any difference in the effectiveness of the treatments.	
Mots clés : agriculture biologique, maraîchers, Novodor®, Bt, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , doryphore, pomme de terre, Success4®, Agrobio Périgord, ELICIT-V27®, Répulso®, Sokalciarbo WP® Keywords : organic farming, market gardeners, Novodor®, Bt, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , Colorado potato beetle, potato, Success4®, Agrobio Périgord, ELICIT-V27®, Répulso®, Sokalciarbo WP®	