



Mémoire de stage
Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en horticulture,
option Inter-Etablissement Protection des Plantes et Environnement

Sur le thème

**Intérêt d'une huile de paraffine
dans le cadre d'une protection biologique intégrée
en culture de fraisier sous-abri**

Par
Laura BOISSINOT
Ecole de rattachement : Agrocampus-Ouest site d'Angers

Stage réalisé à : KOPPERT France
147 Avenue des Banquets
84 300 CAVAILLON

Sous la Direction de :
Nicolas HULAS

confidentiel

Soutenu le 27 septembre 2016 à Montpellier, devant le jury composé de :

Président: Romain BONAFOS
Membres: Lilian GOUT
Marie-Stéphane TIXIER
Jean-Luc REGNARD



AUTORISATION DE DIFFUSION DU MEMOIRE

1. Identification du rapport et de l'auteur

Nom et Prénom de l'auteur: Boissinot Laura

Titre du mémoire: Intérêt d'une huile de paraffine dans le cadre d'une protection biologique intégrée en culture de fraisier sous-abri

Ecole d'inscription: Agrocampus Ouest site d'Angers

2. Autorisation de diffusion par l'Auteur

Par la présente, je déclare être titulaire du droit d'auteur pour le mémoire mentionné ci-dessus. J'autorise sans limitation de temps la Bibliothèque à diffuser ce mémoire dans un format électronique adapté et à effectuer toutes éventuelles modifications techniques nécessaires à une amélioration de la diffusion (modification du format) Si ce mémoire est confidentiel, la confidentialité sera respectée dans les mêmes conditions pour les exemplaires électroniques que pour les exemplaires papiers.

Signature de l'Auteur:



Date: 07 septembre 2016

3. Autorisation de diffusion par le Maître de stage

J'autorise par la présente l'auteur à diffuser le mémoire mentionné ci-dessus:

Intranet	NON	Prêt	NON
Internet	NON	Prêt entre bibliothèques	NON
Après une période de confidentialité	OUI Durée: 24 mois	Résumé diffusable	NON
Consultation en bibliothèque	NON	Reproduction	NON

Signature du Maître de stage:



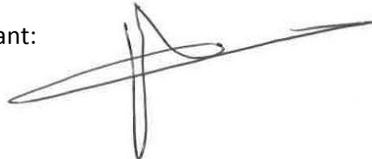
Date: 09 septembre 2016

4. Autorisation de diffusion par le Tuteur

J'autorise par la présente l'auteur à diffuser le mémoire mentionné ci-dessus:

Intranet	OUI	Prêt	OUI
Internet	OUI	Prêt entre bibliothèques	OUI
Après une période de confidentialité	NON	Résumé diffusable	OUI
Consultation en bibliothèque	OUI	Reproduction	OUI

Signature du tuteur enseignant:



Date: 07 septembre 2016

CONCLUSIONS:

Confidentialité absolue:

OUI

NON

Durée exigée:

Le Responsable de l'Option PPE

Remerciements

Je souhaite dédier ce travail à la mémoire de mon maître de stage Nicolas Hulas, que je n'aurai jamais l'occasion de remercier. Merci Nico pour m'avoir fait découvrir Koppert, pour ton implication dans ce stage, pour la qualité du suivi malgré la distance, pour ta disponibilité et ton écoute. Je te remercie aussi pour les heures passées en ma compagnie dans les serres qui m'ont prouvé à quel point tu tenais à cœur ce projet et la réussite des essais. J'espère pouvoir honorer ton travail dans ce mémoire.

Mes remerciements vont ensuite à Audrey Vignaud, Gisèle Broquier et Cécile Le Mitouard, technico-commerciales du Sud-Est pour m'avoir permis de les accompagner sur le terrain, pour m'avoir partagé leur expérience et leur passion et pour m'avoir appris énormément sur la PBI.

Je tiens à remercier sincèrement Cyrille Verdun pour avoir pris le relai de Nicolas dans le suivi de mon stage, pour sa disponibilité et pour m'avoir apporté ses conseils dans la rédaction de ce mémoire. Je le remercie aussi pour m'avoir donné l'opportunité de participer à un autre projet de développement en vigne.

Je voudrais également remercier Anne-Isabelle Lacordaire pour ses conseils avisés et ses réflexions qui nous ont été d'une grande aide dans l'élaboration des protocoles d'essais.

Je remercie Fanny Campas pour son écoute lors des moments de doutes et de réflexions sur ce stage et pour la relecture de ce mémoire.

Je tiens à remercier chaleureusement toute l'équipe de Koppert Cavaillon pour leur accueil et leur sympathie, pour m'avoir permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions et pour le soutien qu'ils m'ont témoigné.

Je souhaite aussi remercier l'ensemble des producteurs chez qui les essais ont eu lieu : Mr Allegre, Mr Combe, Mr Dupouy, Mr Lambert, Mr Soubra, Mr Gallet, Mr Soula, Mr Viret et Mr Gauthier. Je les remercie pour m'avoir accordé du temps et de la confiance, pour tous les échanges enrichissants que nous avons eu et pour l'intérêt qu'ils ont porté aux essais.

Je remercie Anthony Ginez de l'Association Provençale de Recherche et d'Expérimentation Légumière et Annie Geny de Légumes Centre Action pour nous avoir aidés à ajuster au mieux le protocole des essais.

Je remercie aussi Jean-Christophe Imbert de la société Agrolis pour sa participation technique au cours du dernier essai.

Je voudrais également remercier Elsa Ballini, ma cotutrice de stage pour sa réactivité à mes questions et ses conseils et remarques sur la rédaction de ce mémoire.

Je remercie Agathe Allibert et Yannick Outreman pour leur précieuse aide pour les analyses statistiques.

Je remercie Florence Rouille de la Chambre d'Agriculture du Vaucluse et Lucie Bonardot sa stagiaire pour m'avoir permis de participer à leurs essais en vergers de pommiers et donné l'occasion de sortir des serres pendant quelques jours.

Je voudrais aussi remercier Josiane Le Corff, ma maître de stage de DUT, qui m'a initié au monde des insectes et de la lutte biologique et qui m'a aidé à me découvrir une vocation.

Un merci tout particulier à mes colocos Auréline et Simon avec qui j'ai passé de très bons moments pendant ces 6 mois dans le Sud-Est.

Enfin, je voudrais remercier ma famille pour leur soutien tout au long de mes études.

Résumé

En Europe, les huiles paraffiniques sont encore réservées à des usages insecticides hivernaux en arboriculture du fait de leur réputation historique de causer une phytotoxicité. Les progrès des procédés de raffinage ont cependant permis d'optimiser leur propriétés physico-chimiques pour rendre possible leur application en saison contre un large spectre de ravageurs. Leur faible impact sur les auxiliaires de culture en font une solution intéressante à investir dans des stratégies de protection biologique intégrée (PBI).

Des essais en conditions de production ont donc été menés pour étudier l'intérêt du DEV1502, une huile de paraffine, en culture de fraisier sous-abri, où la PBI montre encore quelques limites. Ils ont permis d'évaluer son efficacité sur les pucerons et son impact sur les phytoséides. Le DEV1502 s'est montré plus efficace que le PIRIMOR sur des pucerons localisés sur feuilles. En revanche il n'a pas permis de contrôler la population dans le cœur des plants en comparaison du CALYPSO, un insecticide systémique. L'efficacité du produit est liée à son mode d'action par contact et nécessite par conséquent une couverture optimale de la cible. Les résultats ont aussi permis de vérifier sa compatibilité avec les phytoséides. D'autres essais sont nécessaires pour affiner la stratégie d'utilisation de ce produit.

Mots-clés : huile minérale, biocontrôle, Protection Biologique Intégrée, fraise, pucerons, *Tetranychus urticae*, phytoséides.

Abstract

Mineral oils insecticidal properties were discovered well before the arrival of synthetic pesticides. Advances in refining processes allowed to improve their use in plant protection. However in Europe these products are still used only for the control of dormant pests in fruit production because they were notoriously known for causing phytotoxicity. But contemporary highly-refined mineral oils are now safer for plants, which makes possible their use in summer against a wide range of pests. Furthermore, they are generally non-disruptive to natural enemies of pests and beneficial arthropods and then, ideal for use in sustainable pest and disease management programs.

Trials have been carried out in 5 different sites of indoor strawberry production in order to understand the potential of a paraffinic oil named DEV1502 for the control of aphids and red mites. Despite the support of a number of biocontrol agents, aphids control still shows some difficulties and growers have a limited number of phytosanitary products which are compatible with Integrated Pest Management. DEV1502 have been compared to two of them : PIRIMOR and CALYPSO. Results show that DEV1502 is more effective than PIRIMOR against aphids located on leaves. In contrast, it did not allow a good control of aphid populations in the heart of plants when compared to CALYPSO which has systemic action. Results show that DEV1502 effectiveness seems to be closely related to spray conditions because of his mode of action by contact. In a trial on the european red mite *Tetranychus urticae*, DEV1502 appeared to be as effective as a conventional acaricide (FLORAMITE). In addition, DEV1502 did not disrupt predatory mites populations. Besides, DEV1502 did not show phytotoxicity to strawberry at the dose of 15 liters per hectare. Further trials should be carried out to study the effects of DEV1502 on other beneficials and powdery mildew, in order to increase the opportunities of this biopesticide.

Key-words : mineral oil, biopesticide, Integrated Pest Management, strawberry, aphids, *Tetranychus urticae*, predatory mites

Sommaire

Introduction	1
Synthèse bibliographique	5
I. <u>Les huiles minérales : des insecticides historiques à réinvestir</u>	5
I.1. Du pétrole aux huiles minérales : une transformation pour une palette d'utilisations	5
I.2. Des premières émulsions de kérosène aux huiles minérales horticoles modernes : une évolution marquée par d'importantes avancées	7
I.3. Un mode d'action pour un large spectre de cibles.....	7
I.4. Une phytotoxicité avérée dans certaines conditions	11
I.5. Des perspectives de développement en tant que produit de biocontrôle	11
II. <u>La protection biologique intégrée en culture de fraise : un challenge technique</u>	15
II.1. Quelques chiffres sur la fraise française.....	15
II.2. Une culture aux multiples facettes.....	17
II.3. Des ravageurs problématiques et des auxiliaires complémentaires	19
II.4. Une PBI difficile à mettre en place malgré une large gamme d'auxiliaires	24
III. <u>Le produit DEV1502 et son potentiel intérêt en culture de fraise</u>	24
III.1. Présentation du DEV1502	24
III.2. Les avantages du DEV1502 à exploiter en culture de fraise	26
Matériel & Méthodes	29
I. <u>Sites d'essais</u>	29
II. <u>Dispositif expérimental</u>	29
III. <u>Application du DEV1502</u>	29
IV. <u>Observations</u>	31
IV.1. Observations en généralisé.....	31
IV.2. Observations sur foyers	31
IV.3. Identification des espèces de pucerons	31
IV.4. Evaluation de la phytotoxicité du DEV1502	31
IV.5. Autres observations	31
V. <u>Eléments complémentaires</u>	31
V.1. Qualité de pulvérisation.....	31
V.2. Enregistrement des données climatiques	33
VI. <u>Analyse des résultats</u>	33
Résultats & Discussion	36
I. <u>Efficacité du DEV1502 sur les pucerons</u>	36
II. <u>Efficacité du DEV1502 sur l'acarien tétranyque</u>	44
III. <u>Effets du DEV1502 sur les auxiliaires</u>	46
IV. <u>Sensibilité du fraisier aux applications de DEV1502</u>	48
Conclusion et perspectives	50
Références bibliographiques	52
Liste des Annexes	58

Introduction

Dans un contexte de réduction des intrants phytosanitaires, la recherche et le développement de solutions alternatives pour protéger les cultures des bioagresseurs est au cœur de l'évolution des pratiques agricoles. Le plan national Ecophyto vise notamment à réduire la dépendance des exploitations agricoles aux pesticides tout en maintenant une production de quantité et de qualité satisfaisante. Sa deuxième version lancée le 26 Octobre 2015 réaffirme l'objectif de réduire de 50% le recours aux produits phytosanitaires en 10 ans. Ces dernières années, la prise de conscience sociétale de l'impact de ces produits sur l'environnement et la santé publique s'observe de plus en plus et fait l'objet de reportages polémiques. De plus, le retrait du marché de nombreuses substances actives et l'apparition croissante de phénomènes de résistance des bioagresseurs face à ces produits entraînent les agriculteurs dans des impasses techniques et économiques. C'est dans ce contexte que la protection intégrée des cultures est presque vue aujourd'hui comme une nécessité.

Le réseau ENDURE (European Network for the DURable Exploitation of crop protection strategies) définit la protection intégrée comme « une approche durable de la gestion des bioagresseurs qui combine des outils biologiques, culturels et chimiques de manière à minimiser les risques économiques, environnementaux et sanitaires » (www.endure-network.eu). Le principe est d'associer les différents moyens de lutte disponibles en privilégiant les alternatives aux produits phytosanitaires pour produire de façon économiquement viable en préservant l'environnement, l'applicateur et le consommateur. Parmi ces moyens de lutte alternatifs, on trouve les produits de biocontrôle qui sont définis dans le code rural par « des agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures. Ils comprennent en particulier : les macro-organismes ; les produits phytopharmaceutiques comprenant des micro-organismes, des médiateurs chimiques comme les phéromones ou kairomones et des substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale ». Le plan Ecophyto II prévoit des mesures tendant au développement de ces produits de biocontrôle.

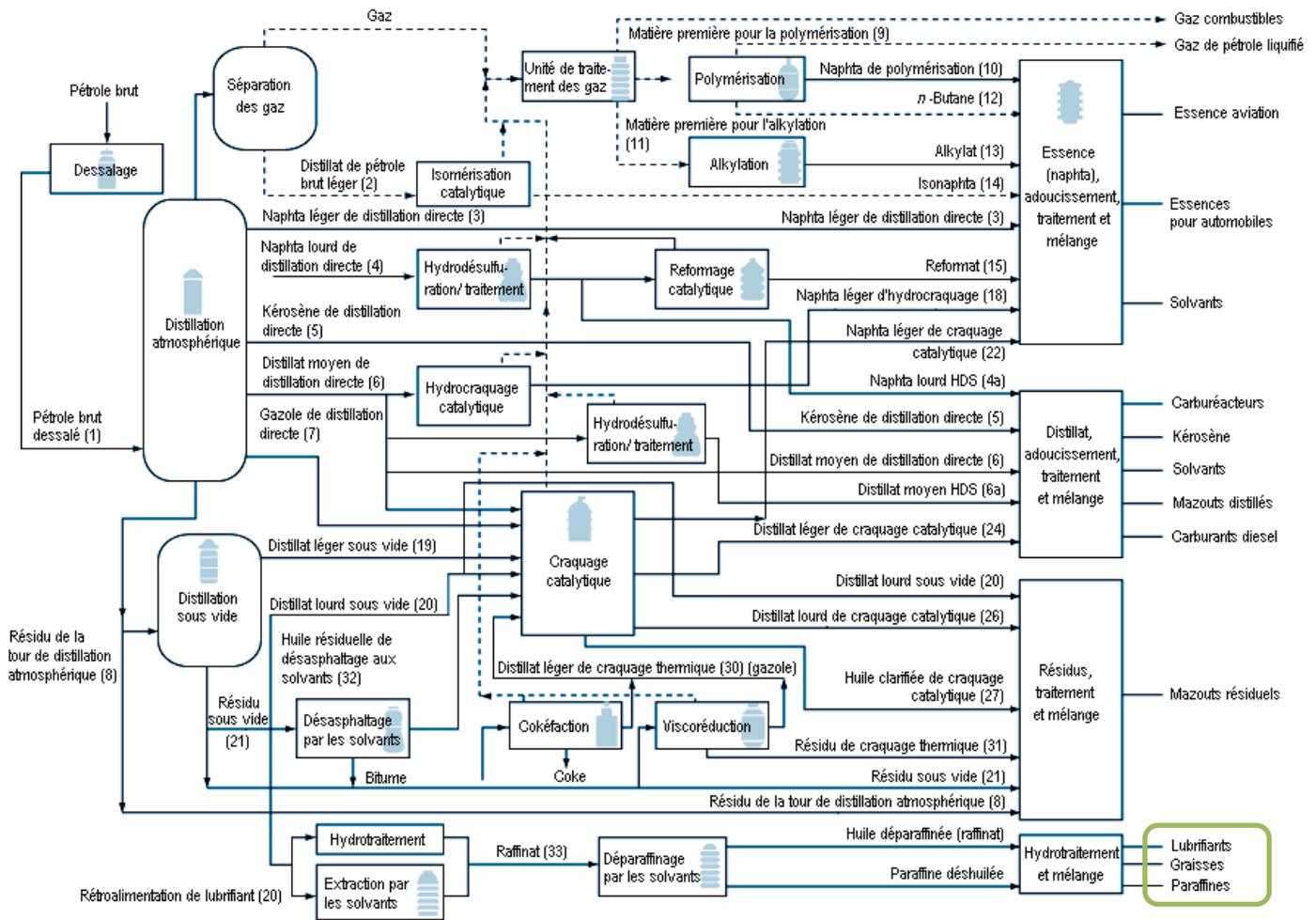
Leader du marché mondial de la Protection Biologique Intégrée (PBI), l'entreprise Koppert Biological Systems, fondée en 1967 aux Pays-Bas, développe, produit et commercialise des agents de lutte biologique et des pollinisateurs. Elle propose une gamme de plus de soixante agents biologiques (insectes et acariens prédateurs, parasitoïdes et microorganismes) dont l'essentiel est destiné à lutter contre les ravageurs des cultures ornementales et maraîchères sous abris et des espaces verts. Pour s'adapter aux besoins des producteurs, Koppert propose également des solutions de biocontrôle à base de substances naturelles et une série de produits nécessaires aux stratégies PBI (panneaux englués, pièges, attractifs...) ou destinés aux infrastructures (nettoyants, peintures, produits de blanchiment et déblanchiment des serres...).

La filiale française de Koppert s'est implantée en 1984 et se divise aujourd'hui en trois délégations régionales basées à Cavaillon (84) (siège social et délégation Sud-Est), Nantes (44) (délégation Nord) et Estillac (47) (délégation Sud-Ouest). Elles encadrent, dans leur secteur géographique respectif, les activités commerciales et logistiques de distribution des auxiliaires et fournissent un conseil technique aux producteurs et distributeurs locaux, en matière de stratégies PBI et d'utilisation des produits. Koppert France cherche aujourd'hui à développer sa gamme et élargir son secteur d'activité. Le service Innovation & Développement intervient dans cet objectif, avec pour mission de tester les nouveaux produits et d'optimiser leur utilisation dans le cadre des stratégies PBI et des pratiques agricoles locales.

Un projet en partenariat avec la firme Total Fluides est en cours pour le développement d'une huile de paraffine, codée DEV1502 en interne. Ce produit insecticide est déjà homologué en France sous le nom de marque Ovispray depuis plus de 10 ans, mais réservé à des usages d'hiver en arboriculture. Son mode d'action physique lui confère de nombreux avantages : son spectre d'action est étendu et l'apparition d'une résistance des ravageurs à ce produit semble peu probable. De plus, son profil toxicologique est acceptable vis-à-vis de l'applicateur, du consommateur et de l'environnement. Ces propriétés en font un produit très intéressant et potentiellement utilisable sur toute culture grâce à son degré de raffinage élevé.

L'objectif de Koppert France est de l'intégrer dans les stratégies PBI en cultures maraichères pour compléter l'apport des auxiliaires et de pallier aux lacunes de produits phytosanitaires sur certaines cultures. Pour cela, des essais ont été menés en culture de fraise, où la PBI rencontre encore des difficultés contre certains ravageurs, notamment les pucerons et les acariens tétranyques. Ces essais ont été conduits chez des producteurs de fraise sous-abri dans le Sud-Est de la France, afin de valider l'efficacité insecticide et acaricide du produit, d'étudier son impact sur les auxiliaires déjà en place mais aussi d'évaluer la sensibilité du fraisier aux applications de DEV1502.

Ce mémoire de stage présente dans un premier temps une synthèse bibliographique sur l'utilisation des huiles minérales en protection des cultures, l'évolution de ces produits au cours de l'histoire et leur intérêt dans les stratégies de protection intégrée actuelles. Une partie de la synthèse fait état des connaissances sur la protection intégrée en fraise et les différentes raisons de la complexité de sa mise en place. La deuxième partie de ce mémoire présente le protocole qui a été construit pour mener les essais. Enfin, les résultats des essais sur 5 sites de production différents sont présentés et discutés en fin de mémoire. L'accent est porté sur les préconisations techniques de l'utilisation du DEV1502 qui peuvent déjà être adressées au vu des résultats de ces premiers essais pratiques.



Note: les nombres entre parenthèses font référence à des circuits types du schéma de traitement. HDS = produits hydrodésulfurés.

Liquides ——— Gaz - - - - -

Figure 1 Procédé de raffinage du pétrole (Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 1996)

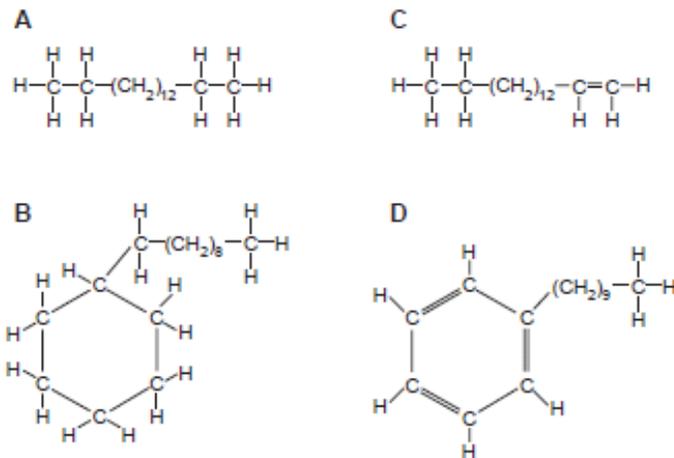


Figure 2 Structures chimiques des composés d'une huile minérale. A - Paraffines, B - Naphthènes, C - Oléfines, D - Aromatiques (Jacques & Kuhlmann 2002)

Synthèse bibliographique

I. Les huiles minérales : des insecticides historiques à réinvestir

I.1. Du pétrole aux huiles minérales : une transformation pour une palette d'utilisations

Les huiles minérales sont issues du pétrole brut qui est à la base un mélange complexe d'hydrocarbures. Le procédé de raffinage permet d'obtenir différents produits aux utilisations industrielles variées (figure 1).

Les différentes étapes consistent à séparer les composants du pétrole brut pour obtenir ce qu'on appelle des fractions ou coupes, qui contiennent des molécules de même type. Une première distillation atmosphérique va d'abord séparer les constituants du pétrole brut selon leur volatilité. Le pétrole brut dessalé est chauffé à une température d'environ 350°C dans une colonne de fractionnement. Les fractions les plus légères qu'on retrouve au sommet de la colonne sont les gaz combustibles. Les fractions à intervalle d'ébullition intermédiaires vont subir différents traitements pour produire de l'essence, du kérosène, du gazole et du fioul. Les fractions lourdes sont condensées en bas de la colonne, ce sont les résidus de la première distillation. Ils vont être soumis à une seconde distillation plus poussée sous vide. Les distillats obtenus sont le gazole, les huiles lubrifiantes de base et des résidus bitumeux comme l'asphalte.

Les huiles lubrifiantes contiennent encore de nombreux contaminants comme les composés azotés, soufrés, les sels métalliques et les oléfines : des hydrocarbures non saturés. L'hydrotraitement ou hydrocraquage va permettre de les éliminer en grande partie : cela consiste à apporter de l'hydrogène sous des conditions extrêmes (427°C – 20 700 kPa) avec un catalyseur métallique, ce qui permet de casser les cycles aromatiques et de les saturer en hydrogène. Au début des années 70, ce procédé remplace l'extraction par solvant qui produisait un raffinat moins purifié. Enfin, le déparaffinage consiste à faire précipiter les cires de paraffine par refroidissement et mélange avec un solvant, pour récupérer la phase liquide. L'huile obtenue reste ainsi liquide même à basse température (Agnello 2002, OSHA 1996).

Les huiles issues du pétrole sont un mélange d'hydrocarbures qui peuvent être séparés en 4 catégories (figure 2):

- les paraffiniques (alcane) : chaînes saturées linéaires ou ramifiées de formule C_nH_{2n+2} ,
- les naphthéniques : de formule C_nH_{2n} ,
- les aromatiques (benzène, toluène, naphthalène...) : molécules cycliques,
- les insaturés ou oléfines (alcènes, acétylènes, terpènes...).

L'origine latine du mot paraffine « *parum affinis* » qui signifie « peu d'affinité » souligne la faible réactivité chimique des hydrocarbures paraffiniques. Les autres hydrocarbures ont tendance à s'oxyder plus facilement et réagissent avec l'acide sulfurique.

Les huiles minérales sont utilisées dans l'industrie agro-alimentaire en tant qu'agent d'enrobage, sous le code d'additif alimentaire E905, qu'on retrouve notamment dans les confiseries. Une enquête menée par l'ONG foodwatch en 2015 a révélé leur présence dans des aliments secs comme le riz, les céréales, les lentilles. Elles proviendraient des emballages cartons recyclés, et seraient considérées par l'ONG comme dangereuses pour la santé du fait de la détection d'hydrocarbures aromatiques ou saturés (www.foodwatch.org).

En pharmacie, l'huile de paraffine ou vaseline est utilisée dans la formulation de pommades comme excipient de base. Certaines préparations pour le traitement des peaux sèches, squameuses ou eczémateuses en contiennent. C'est également un produit laxatif.

Mais c'est surtout dans le secteur des cosmétiques que l'huile de paraffine est utilisée, pour sa fonction d'émollient (assouplit la peau) et d'agent occlusif. Ses propriétés hydratantes sont indirectes : elle recouvre les pores de la peau par un film imperméable et empêche donc le dessèchement. Elle est ainsi présente sous le nom de « *petrolatum* » ou « *paraffinum liquidum* » dans des crèmes (dont les crèmes solaires), produits pour les cheveux, produits de maquillage (en particulier les baumes à lèvres) et huiles de massage. A la différence des huiles végétales composées d'acides gras, elles sont chimiquement inertes et donc beaucoup plus stables car moins sensibles à l'oxydation.

Grade	Minimum UR (%) (ASTM D 483)	% Distilled at 335.6° C (ASTM D 447)	Viscosity (SUS) at 37.8° C (ASTM D 446)
Light	90	64–79	55–65
Light-medium	92	52–61	60–75
Medium	92	40–49	70–85
Heavy-medium	92	28–37	80–95
Heavy	94	10–25	90–105

Tableau 1 Niveaux standards californiens pour distinguer les types d'huiles minérales basés sur l'indice de sulfonation et les propriétés de distillation (Agnello 2002)

I.2. Des premières émulsions de kérosène aux huiles minérales horticoles modernes : une évolution marquée par d'importantes avancées

Goeze en 1787 évoque déjà dans la littérature l'effet insecticide des huiles dérivées du pétrole mais ce n'est qu'à la fin du 19^{ème} siècle qu'une émulsion de kérosène devient un produit largement utilisé contre les cochenilles et les pucerons des agrumes. Les dégâts causés par le Pou de San José *Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock) suscitent l'intérêt pour ces produits sous forme d'émulsions. Mais les distillats de pétrole à cette époque sont encore trop variables en composition et les dégâts qu'ils causent sur les arbres et les fruits ne sont pas acceptables. De plus l'apparition de la bouillie sulfo-calcique dans les années 1900 freine le développement des huiles minérales (Agnello 2002).

Quatre grandes découvertes vont permettre d'optimiser les huiles dérivées du pétrole pour une utilisation plus adaptée en protection des plantes. En 1915, De Ong démontre que l'acide sulfurique permet de retirer les composés phytotoxiques des huiles qui sont en fait les composés aromatiques et insaturés. La première huile « purifiée » est alors produite en 1924 pour traiter les agrumes en Californie. L'indice de sulfonation (en anglais : unsulfonated residue, abrégé UR) permet de mesurer le degré de raffinage de l'huile : c'est le pourcentage de composés non absorbés par l'acide sulfurique. Ainsi, plus cet indice est fort, plus l'huile est purifiée de ses composés instables qui sont toxiques pour les tissus végétaux. En dessous de 92%, l'huile est considérée potentiellement phytotoxique.

Smith démontre plus tard en 1932 que la phytotoxicité et l'efficacité insecticide des huiles sont liées au poids moléculaire de ses composés. Pour un usage en été sur des plantes plus sensibles (maraîchage, ornement), le poids moléculaire doit être compris entre 290 et 330 g/mol. Une nouvelle classification est alors mise en place pour caractériser les huiles en fonction de leur indice de sulfonation, leur viscosité et leur température de distillation (tableau 1).

Le volume d'huile déposé est vu par Ebeling en 1932 comme un troisième facteur influençant son efficacité et sa phytotoxicité. La concentration, l'émulsifiant, l'équipement de pulvérisation, la dose par arbre et la surface traitée sont des paramètres qui vont jouer sur ce volume.

Enfin, Pearce découvre en 1942 que l'efficacité pesticide est liée à la composition chimique de l'huile, notamment son taux de composés paraffiniques. Une huile contenant plus de 60% de ses atomes de carbones dans des molécules paraffiniques (alcanes) peut être considérée comme une huile paraffinique et est susceptible de contenir moins de composés aromatiques ou insaturés (Agnello 2002).

Ces avancées importantes et celles des procédés de raffinage ont conduit à la production d'huiles minérales de plus en plus performantes, mais aussi à beaucoup de confusion par rapport à leur caractérisation physico-chimique. C'est pourquoi Kuhlmann & Jacques (2002) proposent une classification standardisée pour faciliter leur utilisation. Ils déclinent les huiles dérivées du pétrole en 3 familles, au degré de raffinage croissant :

- les huiles minérales (MO) ayant une température d'ébullition de 232°C,
- les huiles minérales agricoles (AMO) avec un indice de sulfonation supérieur à 92% et 60 % minimum de carbones paraffiniques,
- les huiles minérales horticoles (HMO), satisfaisant les mêmes propriétés que les AMO avec une spécification supplémentaire : le nombre de carbones paraffiniques équivalent, c'est-à-dire le nombre de carbones d'une alcane qui a la même température d'ébullition que l'huile. La médiane de ce nombre doit se situer à 21, 23 ou 25 et son intervalle doit être de 5 ou 6.

I.3. Un mode d'action pour un large spectre de cibles

Le mode d'action des huiles minérales sur les arthropodes est décrit pour la première fois par les travaux de De Ong en 1926 en Californie. Il observe que des huiles lubrifiantes raffinées pénètrent sur une courte distance dans le tronc trachéen de la cochenille rouge de l'oranger *Aonidiella aurantii* (Maskell) en entrant par les spiracles, causant apparemment sa mort par asphyxie.

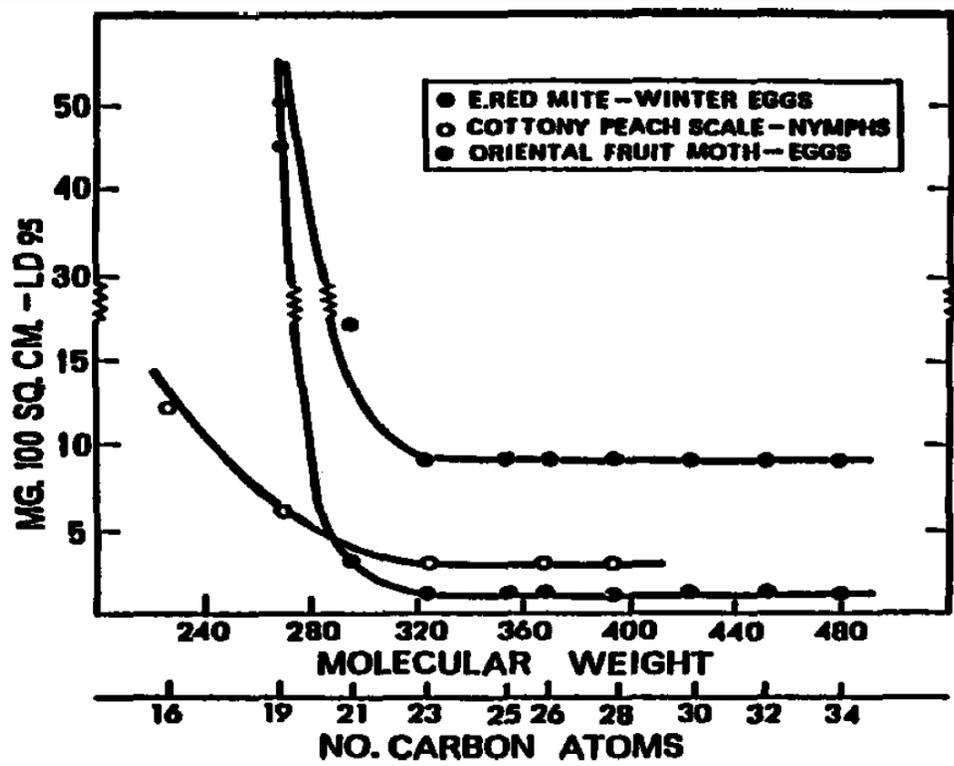


Figure 3 Efficacité pesticide d'isoparaffines corrélée au nombre médian de carbones paraffiniques (Pearce & Chapman 1952)

Depuis, 3 théories ont été admises pour expliquer le mode d'action des huiles minérales, selon leur composition chimique :

- les fractions lourdes saturées (>nC23) forment une barrière physique à la respiration en bloquant les spiracles et tuent l'insecte par asphyxie,
- les fractions légères insaturées liquides (<nC19) pénètrent dans les tissus et dissolvent les corps gras, détruisant la structure cellulaire interne,
- les composés hautement volatiles agissent comme fumigants narcotiques (Shepard 1939).

Cependant, les huiles minérales actuelles ne contiennent plus de molécules volatiles à action fumigante. C'était le cas du kérosène, très utilisé au XXème siècle contre les cochenilles et les larves de moustique. Il a en effet été prouvé que les vapeurs de kérosène sont toxiques et agissent sur le système nerveux des arthropodes (Shafer 1911, Freeborn & Atsatt 1918).

Plusieurs études montrent la relation entre l'efficacité insecticide et le poids moléculaire des hydrocarbures (Knight *et al.* 1929, Smith 1932). Des hydrocarbures de poids moléculaire élevé restent plus longtemps dans la trachée tandis que des composés plus légers comme le kérosène s'évaporent trop rapidement avant que l'insecte soit asphyxié. La figure 3 montre les résultats des études de Pearce & Chapman en 1952 sur la dose létale à 95% d'iso-paraffines pures à différents poids moléculaires, sur les œufs de l'acarien *Panonychus ulmi* (Koch), les nymphes de la cochenille *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni-Tozzeti) et les œufs de la tordeuse orientale *Cydia molesta* (Busck). A partir de 23 carbones, l'efficacité pesticide ne progresse plus.

D'autre part, les huiles paraffiniques (qui contiennent plus de 60% de leurs carbones en chaînes) montrent plus d'efficacité que les huiles naphthéniques (qui en contiennent moins de 60% en chaînes) sur le pou de San José *Q. perniciosus*, la cochenille *A. aurantii*, l'acarien des agrumes *Panonychus citri* (McGregor) et les œufs de la tordeuse orientale *Grapholita molesta* (Busck) et du carpocapse *Cydia pomonella* (L.) (Chapman *et al.* 1944, Riehl & Jeppson 1953, Chapman *et al.* 1943). Pearce & Chapman (1952) expliquent que les huiles paraffiniques se diffusent mieux sur le tronc des arbres à feuilles caduques et agissent ainsi sur les œufs de l'acarien rouge *P. ulmi*. Elles permettent un meilleur contrôle des formes immobiles.

L'action ovicide des huiles minérales est attribuée selon Hoskins (1943) à leur capacité à prévenir l'éclosion en recouvrant la membrane et à interférer sur l'équilibre en eau et les échanges gazeux.

D'après van OverBeek & Blondeau (1954), les composés insaturés des huiles minérales sont capables de solubiliser les membranes lipidiques qui composent la cuticule des insectes. Cette propriété contribue à favoriser la dessiccation de l'insecte, puisque la cuticule empêche en grande partie la transpiration. Grâce à cette capacité, les huiles minérales sont aussi utilisées en tant qu'adjuvant pour des pesticides de synthèse, qu'elles aident à traverser la cuticule de l'insecte normalement imperméable. Les huiles à faible viscosité passent plus rapidement à travers cette couche de lipides mais aussi dans la trachée.

Le mode d'action fongicide des huiles minérales a également été étudié puisqu'elles sont largement utilisées pour le contrôle de la cercosporiose de la banane (*Mycosphaerella musicola* Leach). Calpouzos (1966) suggère que les huiles n'auraient pas d'action directe sur l'agent pathogène *M. musicola*, mais que l'effet sur la maladie serait plutôt dû à l'altération physiologique de la plante, augmentant sa capacité à résister contre le champignon. Le film huileux formé sur les feuilles réduirait la photosynthèse et la transpiration.

Selon McWhorter (1927), Wilson (1961) et Northover & Schneider (1996), les huiles minérales auraient un effet antisporulant sur l'Oïdium de la vigne, de la rose et la Septoriose du céleri. Dans l'étude de Northover & Schneider (1996), 3 huiles minérales montrent une efficacité modérée sur l'oïdium de la vigne en préventif. L'efficacité est meilleure en curatif et les huiles montrent une excellente action antisporulante, même si le surfactant utilisé dans la formulation semble jouer un rôle dans l'efficacité de l'huile.

Les huiles minérales ont également une action sur la transmission des virus non-persistants, d'après Bradley *et al.* (1962). Ils font l'hypothèse que les pucerons vecteurs acquièrent l'huile dans leur stylet quand ils acquièrent le virus et l'huile est ensuite inoculée dans la plante avec le virus, ce qui empêche sa multiplication dans les cellules végétales. L'huile minérale interfère avec le processus d'infection après l'inoculation. Peters & Lebbink (1975) confirment cette hypothèse en montrant que la transmission du CMV (Cauliflower Mosaic Virus)

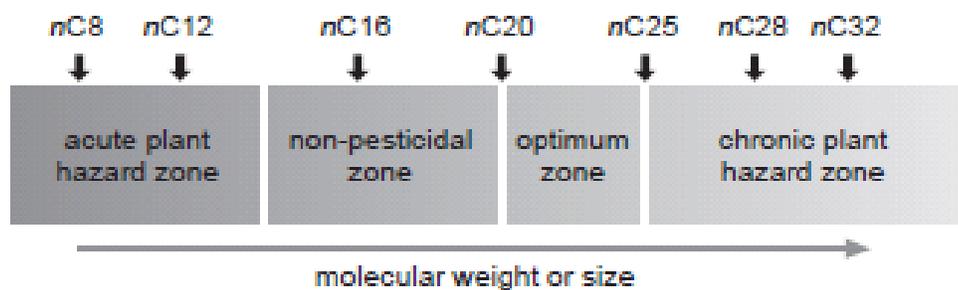


Figure 4 Effet du nombre de carbones paraffiniques équivalent (nC_y) sur la phytotoxicité et l'efficacité d'une huile (Jacques & Kuhlmann 2002)

Tableau 2 Impact de 2 huiles minérales horticoles sur les rendements d'oranges Valencia sur 3 ans en Australie (Jacques & Kuhlmann 2002)

Month of spray application	nC23 HMO	nC24 HMO	Unsprayed control
November	115 *a	85*	146
December	125	111*	
January	134	109*	
February	144	100*	
March	159	116*	
April	147	89*	
May	136	113*	

a. Effect during flowering; * Significant difference from no treatment (P < 0.01).

Flowered in October, harvested following October–November (1975–1977)

est inhibée après une inoculation manuelle du virus en mélange avec de l'huile. Vanderveken (1977) donne une autre explication en disant que les huiles peuvent modifier la structure de surface ou la charge électrique des stylets, empêchant l'adsorption et l'éluion des virions. Des études plus récentes montrent que les huiles interfèrent avec le comportement alimentaire des pucerons (Tjallingii 1978).

I.4. Une phytotoxicité avérée dans certaines conditions

Plusieurs études s'intéressent à l'effet des huiles minérales sur la physiologie des plantes. 2 types d'effets sont évoqués par Hodgkinson *et al.* (2002) :

- une phytotoxicité aigue se traduisant par des brûlures et lésions sur les feuilles, une augmentation des coups de soleil sur fruit, la chute précoce des feuilles et des fruits, des dégâts sur les tissus méristématiques perturbant la production de phytohormones et le dépérissement des rameaux,
- un effet chronique qui s'exprime par un arrêt de la croissance, des métabolismes (photosynthèse, transpiration, respiration), le phénomène d'alternance et une baisse du taux de sucre dans le jus des fruits.

Ces symptômes sont le résultat d'un stress induit par l'application d'une huile minérale qui s'ajoute aux stress déjà existants (conditions environnementales, irrigation, autres traitements...). Les caractéristiques physiologiques de la plante comme le type de feuille ou l'épaisseur de la cuticule et le positionnement de l'application par rapport à son cycle de croissance vont également déterminer la capacité de la plante à résister à ce stress.

La phytotoxicité des huiles minérales peut s'expliquer par la capacité des composés aromatiques et insaturés à dissoudre la membrane végétale semi-perméable (van Overbeek & Blondeau 1954). Cette dissolution est favorisée par un petit poids moléculaire et une forte polarité des hydrocarbures.

La dose d'huile appliquée, la polarité du surfactant utilisé et l'épaisseur de la cuticule sont des facteurs qui entrent en jeu dans ce processus. L'intensité lumineuse au moment de l'application et par la suite est également très importante, car les composés aromatiques des huiles se photodégradent. De même, une forte température et une faible humidité qui sont favorables à la transpiration et augmentent la perméabilité de la cuticule, sont des conditions propices à la phytotoxicité.

Quant aux symptômes chroniques, ils seraient directement liés à la température de distillation de l'huile (exprimée par le nombre de carbones paraffiniques équivalent), la dose et la durée d'application. D'après Riehl (1981), les huiles avec un nombre de carbones paraffiniques équivalent supérieur à 24 sont plus susceptibles de provoquer une phytotoxicité chronique. Comme le montre la figure 4, il faut donc un compromis entre nC20 et nC25 pour obtenir une huile suffisamment efficace sur sa cible, tout en minimisant le risque de phytotoxicité.

Plusieurs essais conduits sur l'effet des huiles minérales sur le rendement des fruits dans des vergers d'agrumes apportent des résultats contradictoires. Furness & Maelzer (1981) montrent une réduction significative du rendement après 3 ans de traitements avec une huile nC24 à 2% (tableau 2), tandis que les essais de Beattie *et al.* (1989) ne montrent aucun effet avec des traitements annuels jusqu'à 3,2% d'huiles nC21, nC23 et nC24.

I.5. Des perspectives de développement en tant que produit de biocontrôle

Grâce à l'évolution des procédés de raffinage, à la compréhension de leur mode d'action et de leur aptitude à exprimer de la phytotoxicité, les huiles minérales modernes sont de plus en plus adaptées à une utilisation en protection des cultures, que ce soit en hiver ou en été. L'optimisation de ces huiles a permis de les intégrer dans les programmes de protection intégrée de plusieurs cultures.

Stansly *et al.* (2002) se sont intéressés à l'effet d'une huile minérale sur l'aleurode, sa plante hôte et ses ennemis naturels. Il ressort de leur étude que les huiles testées ont un effet répulsif sur l'oviposition de *Bemisia argentifolii* et se montrent aussi efficaces que des pyrèthroïdes sur la mortalité des larves. Cependant, l'efficacité est très dépendante de la couverture du film huileux sur les feuilles, de par son mode d'action. Concernant l'impact sur les ennemis naturels, des essais par trempage de feuilles dans l'huile montrent une

toxicité sur les œufs des chrysopes *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) et *Ceraeochrysa cubana* (Hagen) et ceux de la coccinelle *Nephaspis oculatus* (Blatchley). Le parasitoïde *Encarsia pergandiella* (Howard) est aussi affecté, bien que la toxicité soit moindre par rapport à celle de la bifenthrine. Cependant, ces effets obtenus par trempage des feuilles sont réduits par pulvérisation.

En arboriculture, les huiles minérales sont considérées comme des pesticides « doux » qui trouvent leur place au sein des stratégies de protection intégrée à condition de connaître leur effet sur les ennemis naturels (Childers 2002). Leurs avantages selon Chapman (1967) sont qu'elles présentent peu de risques pour la santé humaine, ont un bon rapport coût-efficacité et ne sont pas concernées par l'apparition de résistance des insectes.

Schoonees & Giliomee (1982) ont mesuré la toxicité résiduelle d'une huile nC21 utilisée pour le contrôle de la cochenille rouge des agrumes *A. aurantii* sur son parasitoïde *Aphytis melinus* (DeBach). Selon leurs travaux, la toxicité est suffisamment faible pour permettre la survie du parasitoïde et contrôler les populations de la cochenille. Une application à bas-volume (935L/ha) s'avère efficace sur le contrôle de *A.aurantii* dans les vergers d'agrumes californiens, tout en minimisant la mortalité des parasitoïdes (Riehl 1981). En Australie, il en est de même selon Smith (1985) et les huiles minérales sont considérées comme les moins néfastes pour les parasitoïdes.

En Floride, les huiles minérales permettent d'après Childers *et al.* (1996) :

- le contrôle des cochenilles et des acariens,
- l'élimination de la maladie des tâches grassieuses *Mycosphaerella citri* (Whiteside),
- l'augmentation de l'efficacité des pesticides (abamectine, ethion) en améliorant la rétention des substances actives chimiques à la surface des feuilles et des fruits,
- le contrôle des aleurodes et pucerons avec l'huile seule,
- la réduction de la fumagine sur les feuilles, causée par les cochenilles, pucerons et aleurodes.

Childers (2001) observe un faible impact de 2 applications d'huiles en été sur les phytoséides : il explique cela par le fait que les prédateurs évitent la lumière et la chaleur pendant la journée en restant dans la canopée dense des arbres, et par une faible activité résiduelle des huiles.

Au Vietnam, une huile minérale appliquée à 0,5% a montré ses preuves en vergers d'agrumes pour le contrôle de 5 ravageurs : la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* (Stainton), les acariens *P. citri* et *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) et les cochenilles *A. aurantii* et *Planococcus citri* (Risso) (Nguyen *et al.* 2002). L'effet sur les acariens prédateurs et les coccinelles est considéré comme faible selon l'étude. De plus, même avec 10 applications annuelles de l'huile à 0,5% pour un volume hectare de 3000L, aucune phytotoxicité n'a été observée. Des résultats similaires ont été obtenus en Chine, premier producteur mondial d'agrumes (Tang *et al.* 2002, Ping & Yongfan 2002).

Le potentiel des huiles minérales en vergers de pommiers a également été étudié en Australie (Twaithe *et al.* 2002). Les huiles minérales sont de bons outils pour la lutte contre *P. ulmi* après floraison. En revanche, le contrôle de *Tetranychus urticae* (Koch) par les huiles est efficace seulement si la pression est faible. L'effet est mineur sur les populations de typhlodromes comparé aux acaricides conventionnels (methidathion, pyridaben), et permet le renouvellement des populations après 1 mois. Les huiles seraient aussi intéressantes pour lutter contre l'oïdium sur des variétés peu ou modérément sensibles à la tavelure. Les auteurs ont rapporté l'incompatibilité des huiles minérales avec 3 substances actives fongicides : le captane, le zirame et le dihanon et un acaricide : le propargite. De plus, Beattie *et al.* (1997) recommandent de ne pas traiter avec une température supérieure à 32°C ou inférieure à 7°C et de ne pas faire plus de 5 applications, au risque d'observer une défoliation.

Aux Etats-Unis, l'application d'une huile minérale horticole nC23 à 1% en complément de la confusion sexuelle contre le carpocapse des pommes et des poires *C. pomonella* a permis de réduire de 75% sur 4 ans le recours aux pesticides de synthèse, notamment aux organophosphates (VanBuskirk *et al.* 2002). Elle a aussi permis de réduire le coût des stratégies de protection intégrée.

Tableau 3 Utilisations d'huiles minérales enregistrées en Californie (Zalom & Walsh 2002)

California tree and vine crops

Crop ¹	Number of applications	Tonnes applied
Almond (<i>Prunus amygdalus</i> Batsch [Rosales: Rosaceae])	4 325	2 221
Apple (<i>Malus domestica</i> Borkh. [Rosales: Rosaceae])	1 080	285
Apricot (<i>Prunus armeniaca</i> L.)	694	144
Avocado (<i>Persea americana</i> Mill. [Laurales: Lauraceae])	59	18
Cherry (<i>Prunus avium</i> L.)	574	160
Citrus (<i>Citrus</i> spp. [Sapindales: Rutaceae])	6 388	3 557
Grape (<i>Vitis vinifera</i> L. [Rhamnales: Vitaceae])	367	63
Nectarine (<i>Prunus persica</i> var. <i>nucipersica</i> (Suckow) C. Schneider)	2 737	521
Olive (<i>Olea europaea</i> L. [Scrophulariales: Oleaceae])	266	139
Peach (<i>Prunus persica</i> L.)	3 882	778
Pear (<i>Pyrus communis</i> L. [Rosales: Rosaceae])	1 999	907
Pistachio (<i>Pistacia vera</i> L. [Sapindales: Anacardiaceae])	46	29
Plum (<i>Prunus domestica</i> L.)	2 464	485
Prune (<i>P. domestica</i>)	1 323	588
Walnut (<i>Juglans</i> spp. [Juglandales: Juglandaceae])	190	21

1. Some use (< 30 applications) is also reported on fig, kiwifruit and strawberry.

California field and vegetable crops

Crop ¹	Number of applications	kg applied
Artichoke (<i>Cynara cardunculus</i> L. [Asterales: Asteraceae])	42	498
Carrots (<i>Daucus carota</i> L. [Apiales: Apiaceae])	62	339
Celery (<i>Apium graveolens</i> L. [Apiales: Apiaceae])	493	2 093
Cotton (<i>Gossypium hirsutum</i>)	1 181	41 475
Cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L. [Violales: Cucurbitaceae])	50	388
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L. [Asterales: Asteraceae])	135	1 170
Peppers (<i>Capsicum anuum</i> L. [Solanaceae: Solanaceae])	103	784
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. [Solanales: Solanaceae])	30	688

1. Some use (< 30 applications) is also reported on alfalfa, barley, beans, bok choy, Brussels sprouts, cabbage, cauliflower, Chinese cabbage, corn, garlic, oats, onion, potato, spinach, sweet potato and watermelon.

Miscellaneous sites in California

Site	No. applications	kg applied
Landscape maintenance	2 161	38 101
Nursery—greenhouse	689	6 588
Nursery—outdoor	1 278	18 411
Public health pests	41	321
Rights of way	53	892
Structural pest control	3 037	3 570
Uncultivated non-agricultural areas	327	3 389
Vertebrate pest control	38	39

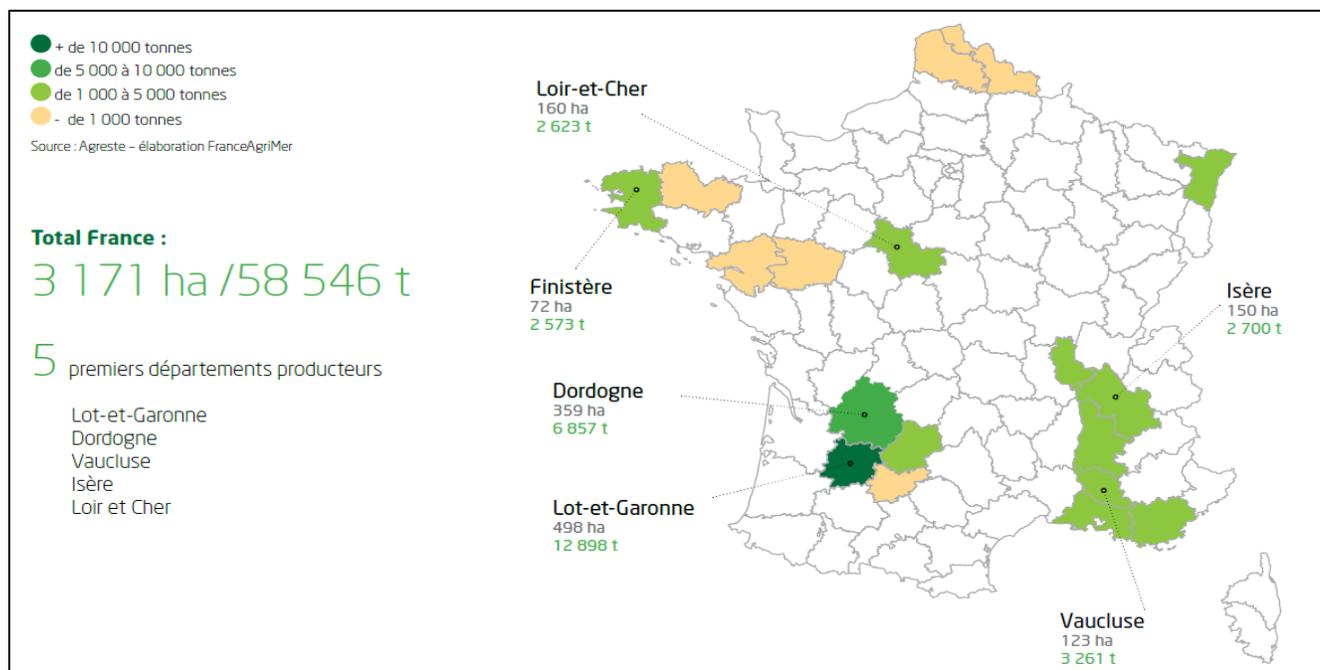


Figure 5 Répartition de la production française de fraise en 2014 (Agreste 2014)

En Californie, les utilisations de produits classés comme « huiles de pétrole non classées », « huiles minérales » et « distillats de pétrole raffinés » dans des programmes de protection intégrée ont été référencées sur une grande diversité de cultures (tableau 3) (Zalom & Walsh 2002). Bien que les huiles minérales restent privilégiées en arboriculture, certaines utilisations en cultures maraichères et ornementales sont aussi rapportées par ces auteurs. Par exemple, en culture de fraise en Californie, des applications hivernales d'une huile minérale agricole ou horticole ont donné de bons résultats contre l'acarien *T. urticae*, tout en fournissant des rendements plus élevés et en provoquant une plus faible phytotoxicité en comparaison avec des acaricides conventionnels.

En culture de rose en Australie, l'application hebdomadaire d'une huile nC24 à 0,3% permet une meilleure protection que des fongicides conventionnels contre l'oïdium et une protection efficace également contre l'acarien *T. urticae* lorsque le seuil de tolérance économique n'est pas dépassé (Cooper *et al.* 2002).

Les résultats de l'étude de Nicetic *et al.* (2002) approuvent l'efficacité d'une huile minérale horticole contre l'oïdium en culture de tomate hors-sol quand elle est pulvérisée à haut volume (300-400mL/plant) et basse concentration (0,5 – 1%). D'après ces résultats, les huiles minérales montrent un potentiel à réduire significativement l'utilisation de fongicides de synthèse, couramment employés en culture de tomate en Australie. Clift *et al.* (2002) ajoutent que ces huiles en tomate permettent aussi de contrôler 2 insectes vecteurs de maladies : le thrips *Frankliniella schultzei* (Trybom), vecteur du Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV) et la cicadelle *Orosius argentatus* (Evans), vectrice du phytoplasme Tomato Big Bud (TBB), réduisant ainsi l'incidence des 2 maladies avec une efficacité équivalente à celle des pesticides conventionnels.

L'étendue des différents usages pour lesquels les huiles minérales ont été étudiées montre bien tout l'attrait qu'elles suscitent et les atouts dont ces produits disposent en protection intégrée. D'origine naturelle, les huiles minérales sont inscrites en France dans la liste des produits de biocontrôle. Mais ces produits sont encore considérés comme traitement d'hiver. Pourtant, toutes ces publications internationales démontrent leur potentiel en tant qu'insecticide biologique à utiliser en saison de culture.

II. La protection biologique intégrée en culture de fraise : un challenge technique

II.1. Quelques chiffres sur la fraise française

En Europe, la France est le 6^{ème} pays producteur de fraises, avec 58 546 tonnes produites en 2014. L'Espagne est le plus gros producteur européen, suivi de la Pologne et l'Allemagne. A eux seuls ils réalisaient plus de 2/3 de la production européenne en 2012.

A l'échelle nationale, la fraise représente 2% des volumes et des surfaces de production dans la filière fruitière (Agreste 2014). L'essentiel de la production est réparti sur 4 grands bassins : le Sud-Ouest, le Sud-Est, le Val de Loire et la Bretagne (figure 5). C'est le département du Lot-et-Garonne qui est en tête, réalisant plus de 25% de la production nationale. Pour valoriser la fraise française, un Label Rouge Fraise du Lot-et-Garonne a été obtenu en 2009 pour les variétés Gariguette et Ciflorette et en 2011 pour la Charlotte.

Pourtant, la demande pour ce fruit en France est bien supérieure à l'offre. Le journal La France Agricole déclare selon un sondage réalisé en 2014 que 67,3% des français citent la fraise comme leur fruit préféré. Il en résulte que la France se trouve aujourd'hui parmi les plus gros importateurs européens de fraise. Ainsi, plus de 50% des fraises vendues en France seraient d'origine espagnole. Cela s'explique par des prix bien plus bas que les fraises françaises, assurés par un coût de main d'œuvre moins élevé et une meilleure productivité des plants espagnols. En 2014, l'association Producteurs de légumes de France protestait contre le magasin Auchan qui proposait une barquette de 500g de fraises à 79 centimes d'euro.

Pour faire face à cette concurrence, la production en culture hors-sol est en progression ces dernières années car elle permet d'étaler les créneaux de production et d'augmenter les rendements. Entre 2013 et 2014, elle est passée de 20 à 39% de la surface de production.

II.2. Une culture aux multiples facettes

Le fraisier est une plante herbacée vivace de la famille des Rosacées. Son cycle physiologique est fortement dépendant de la photopériode et de la température.

Pour les variétés classiques de jours courts, la plantation s'effectue en été, quand les jours longs et les températures élevées permettent le développement végétatif. A l'automne, l'initiation florale démarre avec les jours décroissants et les températures fraîches. Pendant cette phase, la plante constitue également ses réserves pour affronter l'hiver : les bourgeons axillaires forment de nouveaux cœurs ou des stolons. La plante va ensuite rentrer en dormance sous l'action du froid hivernal et des jours courts. Selon les variétés, les besoins en froid diffèrent pour déclencher la levée de dormance. Au printemps, les jours croissants et les températures plus élevées font redémarrer la croissance avec la floraison puis la fructification. Dans certains cas, une nouvelle initiation florale peut avoir lieu si la plante est stimulée pendant l'hiver, c'est le cas des productions hors-sol précoces.

La longueur du jour critique nécessaire à l'induction florale détermine le type variétal du fraisier. On distingue :

- les variétés de jours courts (non-remontantes), où l'induction florale se fait en automne quand les jours font moins de 13h, la plante va alors produire au printemps,
- les variétés semi-remontantes : l'induction florale commence en août quand le jour critique est d'environ 14h30, les premières hampes peuvent se former avant l'hiver,
- les variétés remontantes : la longueur du jour critique est de 16h et la floraison est alors théoriquement continue.

A la différence des variétés précoces non-remontantes qui présentent en général 2 pics de production entre mars et juin, les variétés remontantes produisent régulièrement d'avril à novembre.

Plusieurs types de plants existent par rapport à l'itinéraire technique choisi :

- les plants frais à racines nues, issus de pépinière sol pour les variétés précoces (non-remontantes et semi-remontantes),
- les plants frigo qui sont conservés à -2°C après arrachage pendant la dormance, triés selon le calibre du cœur (B ; A ; A+ ; AA),
- les plants mottes élevés pendant 3 à 4 semaines ayant subi un arrêt de végétation,
- les trayplants qui sont des stolons racinés repiqués sur une motte de 8 cm entre juillet et août et qui grossissent pendant 3 à 4 mois minimum sous aspersion fertilisante. Ils sont conservés au froid selon les besoins de la variété et la date de plantation prévue,
- les minitrays qui sont des trayplants racinés sur une plus petite motte,
- les plants waiting-bed (WB) issus d'un grossissement en pépinière d'un plant frais, frigo ou motte en attente : la plantation se fait en août pour un arrachage en décembre et un stockage en frigo.

Concernant les cultures hors-sol, les substrats les plus communément utilisés sont la tourbe, l'écorce de pin, les fibres de coco ou la laine de roche.

Entre la serre en verre, la multichapelle plastique simple ou double paroi, les tunnels, la chenille au sol ou surélevée, le producteur dispose aussi d'une grande diversité de choix en matière d'abri ou de support de culture.

En fonction des tous ces choix, on observe 4 créneaux de production en France :

- le créneau précoce chauffé : l'objectif est de se positionner très tôt (février) pour concurrencer la fraise d'Espagne. L'abri doit être équipé d'un chauffage et de rampes d'éclairage permettant la levée de dormance. Les variétés les plus fréquentes sont Gariguettes et Ciflorette pour le Sud.
- le créneau précoce et saison à froid pour une production un peu plus tardive (avril-mai),
- le créneau automne/printemps non chauffé, qui vise 2 pics de production avec des variétés précoces (septembre et mai),
- le créneau remontante pour produire pendant tout l'été et l'automne et éventuellement au printemps.

Il découle de toute cette diversité de variétés, de types de plants et de structures de production, des opportunités de production multiples et propres à chaque fraiseur. Ainsi, l'environnement de chaque culture est unique et peut laisser lieu à des dynamiques de populations de ravageurs et d'auxiliaires bien spécifiques.

Tableau 4 Les principaux ravageurs et auxiliaires de culture en fraise (Ginez 2013)

Ravageur	Prophylaxie/ Observations	Auxiliaires utilisables	Introduction
Thrips 	Panneaux jaunes et bleus (avec ou sans attractif)	<i>Neoseiulus cucumeris</i>	Dès mi-février (10–12°C minimum). 1 sachet pour 2 mètres linéaires (ou en vrac)
		<i>Amblyseius swirskii</i> également prédateur d'acariens tétranyques et aleurodes	A partir de 20–22°C de température diurne. 1 sachet pour 2 mètres linéaires (ou en vrac)
		Sur foyers : <i>Amblyseius swirskii</i> <i>Orius</i> spp.	<i>Amblyseius swirskii</i> en sachet ou en vrac et/ou <i>Orius</i> spp. (adultes ou larves)
Pucerons	Intervenir dès l'observation des premiers individus	<i>Chysoperla</i> spp. Parasitoïdes <i>Aphidoletes aphidimyza</i>	Voir détail dans la partie « Pucerons, ravageurs les plus problématiques »
Acariens tétranyques 	Bien observer la face inférieure des feuilles (notamment sur feuilles âgées)	<i>Neoseiulus californicus</i>	En février – mars (8°C minimum), 1 sachet pour 2 mètres linéaires (ou en vrac) En fonction de l'évolution des populations un deuxième lâcher peut être envisagé
		<i>N. cucumeris</i> / <i>A. swirskii</i>	Déjà introduits contre les thrips
		Sur foyers : <i>Phytoseiulus persimilis</i> (activité prédatrice plus élevée que les autres acariens prédateurs)	Nécessite une installation de 2–3 semaines (en conditions favorables) et une hygrométrie inférieure à 60%
Si le développement des acariens est trop rapide, intervenir rapidement avec un produit compatible avec la protection intégrée.			
Tarsonèmes	Etre attentif aux premiers symptômes (feuilles gaufrées et froissées, nanisme au coeur des plantes) notamment sur jeunes plants. Faire déterminer si nécessaire. Si apparition de dégâts de tarsonèmes, appliquer des traitements compatibles avec la protection intégrée.	Les acariens prédateurs d'acariens tétranyques sont également prédateurs de tarsonèmes	Déjà introduits contre d'autres ravageurs
Aleurodes 	Panneaux jaunes	<i>Amblyseius swirskii</i>	Déjà introduits contre les thrips
Duponchella	– Filets brise vent aux ouvrants – Pièges à phéromones pour détecter l'entrée du papillon	Nématodes entomopathogènes	Apport au sol ou dans le substrat
Noctuelles 	– Filets brise vent aux ouvrants – Pièges à phéromones pour détecter l'entrée du papillon – Si présence de larves, application de produits à base de <i>Bacillus thuringiensis</i> . Meilleure efficacité sur jeunes larves : intervenir rapidement		

Tableau 5 Produits acaricides homologués en fraise en 2015 (Izard 2015)

Produit (action sur) (1)	Dose /ha	DAR	DRE	Nombre maxi d'applications	Utilisation protection intégrée	Mention abeille	Concerné par la réglementation mélanges
FLORAMITE 240 SC (o, fm)	0,4 L	3 j	48 h	2	oui		
NISSORUN (o)	0,5 kg	3 j	6/8 h		oui		
BORNEO (o, larves)	0,25 L	3 j	6/8 h	1		oui	
MAGISTER (o, fm)	1 L	3 j	24 h	2	oui		
VERTIMEC GOLD (2) (fm)	1,2 L	3 j	24 h	3			
Autorisé sous abri uniquement, sauf en période hivernale (novembre à février). Produit retiré du marché, délai de distribution 27/10/2015, délai d'utilisation 27/10/2016.							
VERTIMEC PRO (2) (fm)	1,2 L	3 j	8 h	3			
Autorisé sous abri uniquement, sauf en période hivernale (novembre à février).							

(1) action sur : o : oeuf / fm : formes mobiles = larves, nymphes, adultes.

(2) VERTIMEC GOLD ou AGRIMEC GOLD, VERTIMEC PRO ou AGRIMEC PRO.

II.3. Des ravageurs problématiques et des auxiliaires complémentaires

Les 3 ravageurs majeurs de la culture de fraise sont le thrips, les pucerons et l'acarien tétranyque. La réapparition du tarsonème *Phytonemus pallidus* (Banks) s'observe également depuis 2007 et coïnciderait avec le retrait de la matière active endosulfan (Bardet *et al.* 2013). Une augmentation d'aleurodes est aussi observée depuis plusieurs années. Plus récemment, l'émergence de *Drosophila suzukii* (Matsumura) pose problème, notamment en fraise remontante où les pertes de récolte peuvent être considérables. Enfin, les punaises du genre *Lygus*, la pyrale *Duponchelia fovealis* (Zeller) et l'otiorhynque de la vigne peuvent également occasionner des dégâts. Les stratégies de PBI contre ces ravageurs sont résumées dans le tableau 4.

II.3.1. Le thrips *Frankliniella occidentalis*

Le thrips est un petit insecte piqueur-suceur de l'ordre des Thysanoptères. L'espèce qui cause le plus de dégâts dans les cultures sous-abri est le thrips californien *Frankliniella occidentalis* (Pergande), peu sensible aux pesticides car préférant les habitats plus protégés. En fraise on le retrouve dans les fleurs et à la base des fruits, sur lesquels il occasionne des dégâts importants. Ses piqûres font avorter la fleur et ternir les fruits qui prennent une coloration bronzée. Grâce à l'absence de diapause dans son cycle biologique, le thrips californien est capable de coloniser la culture très tôt (Malais & Ravensberg 2006).

C'est l'impasse de solutions conventionnelles contre le thrips qui a entraîné la conversion des premières cultures de fraisier en PBI. Aujourd'hui, la lutte contre le thrips est globalement bien maîtrisée par les acariens prédateurs *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) et *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) qui sont lâchés dans la culture de manière préventive dès l'ouverture des fleurs. Se nourrissant de pollen, ils peuvent coloniser la plante avant même que les thrips apparaissent. La punaise *Orius laevigatus*, ayant cette même propriété, peut venir compléter la lutte biologique. Cette année, seuls 2 produits insecticides sont autorisés en fraise contre le thrips, dont un pyrèthroïde incompatible avec la PBI.

II.3.2. L'acarien *Tetranychus urticae*

Le tétranyque tisserand, encore appelé « l'araignée rouge », est l'espèce d'acarien la plus répandue en cultures sous-abri. C'est l'espèce la plus polyphage de la famille des Tetranychidés. Sa durée de développement dépend de la température, de l'humidité relative mais aussi de la variété, de l'âge et de la qualité de la culture. Il vit dans le microclimat créé par la couche limite de l'air à la surface de la feuille. Il provoque des dégâts en vidant le contenu des cellules. Lors d'une forte infestation, la feuille se nécrose et sa transpiration est réduite, l'humidité relative baisse, ce qui favorise la multiplication rapide du ravageur. Lorsque les populations pullulent, les adultes tissent des toiles qui peuvent recouvrir la plante (Malais & Ravensberg 2006).

La protection contre cet acarien est d'autant plus difficile qu'il est connu pour développer rapidement des résistances aux acaricides (Barritt 1980). Aujourd'hui, 5 produits sont encore homologués pour cet usage, alors qu'il y'en avait 11 en 2007 (tableau 5).

Les lâchers d'auxiliaires contre ce ravageur figurent parmi les premiers réalisés en maraîchage. En effet, *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) fut le premier auxiliaire produit par Koppert. Dans les stratégies actuelles, il est combiné avec *Amblyseius californicus* (McGregor) qui est moins dépendant de sa proie et peut tolérer des températures plus élevées et une humidité relative plus faible. Le diptère *Feltiella acarisuga* (Vallot) dont la larve est prédatrice d'acariens, se retrouve naturellement dans les foyers, mais sa population peut être augmentée par des lâchers.

II.3.3. Les pucerons, ravageurs n°1 en fraise en conduite PBI

Les pucerons sont des insectes appartenant à l'ordre des Hémiptères, au sous-ordre des Homoptères et à la superfamille des Aphidoïdes. Les principales espèces de pucerons nuisibles sont dans la famille des Aphididés. Ce sont des ravageurs importants du fait de leur vitesse de reproduction, de leur courte durée de génération et de leur capacité à transmettre des virus. Ces insectes sont de type piqueur-suceur. Ils prélèvent leur nourriture de la sève des plantes et perturbent l'équilibre en hormones de croissance, ce qui peut résulter d'un retard de développement de la plante attaquée. De plus, ils secrètent les excédents de sucres provenant de la sève sous forme de miellat.

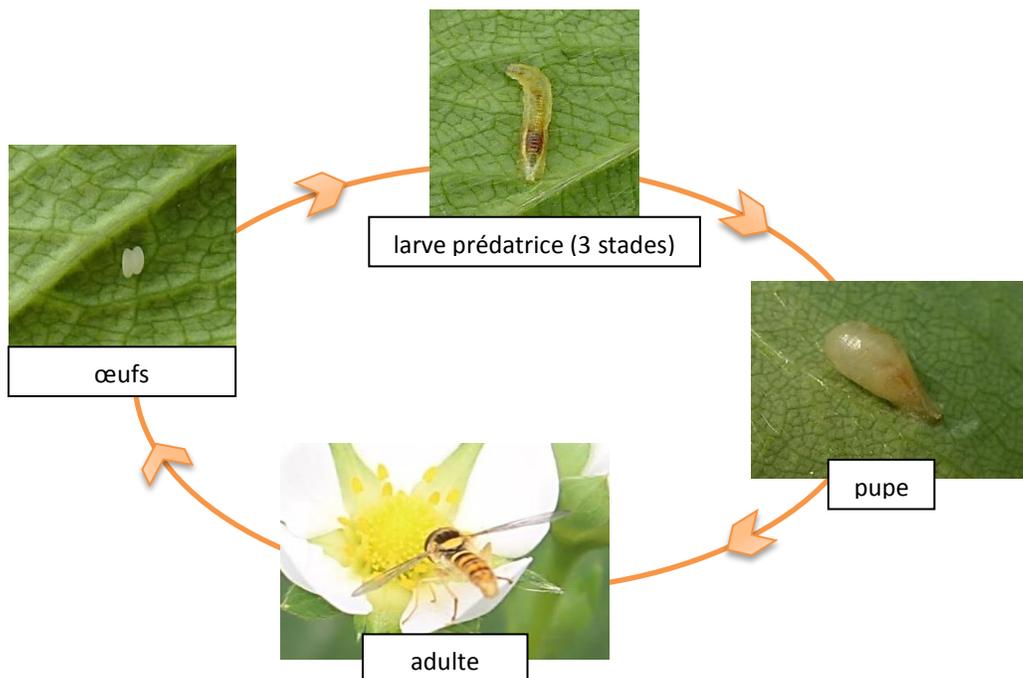
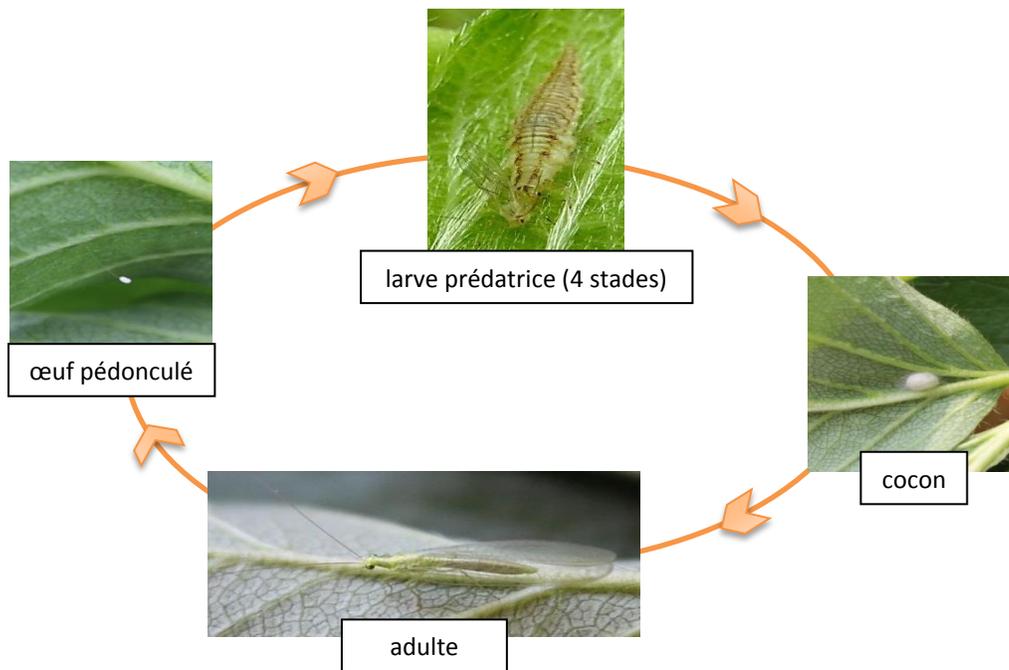
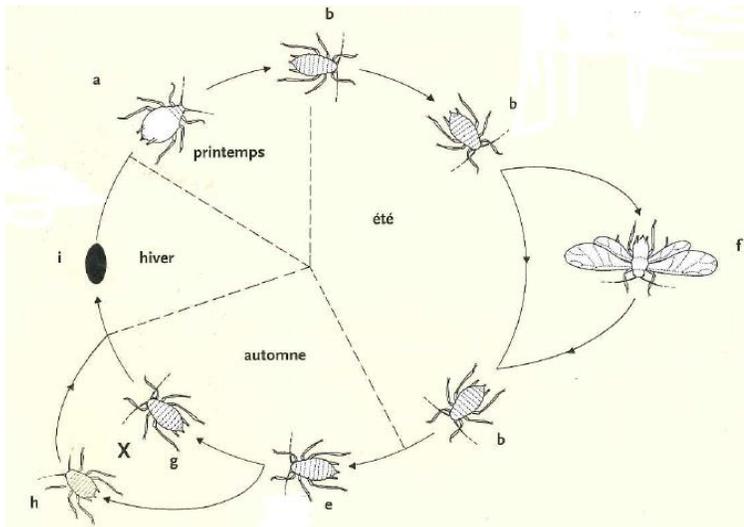


Tableau 6 Parasitisme des pucerons du fraisier (Ginez 2013)

Pucerons	Parasitoïdes	<i>Aphidius ervi</i>	<i>Aphidius colemani</i>	<i>Aphidius matricariae</i>	<i>Praon volucre</i>	<i>Aphelinus abdominalis</i>
<i>Acyrtosiphon malvae rogersii</i>		●			●	
<i>Aphis</i> spp.			●		●	
<i>Aulacorthum solani</i>		●			●	●
<i>Chaetosiphum fragaefolii</i>						
<i>Macrosiphum euphorbiae</i>		●			●	●
<i>Myzus persicae</i>			●	●		
<i>Rhodobium porosum</i>		●				

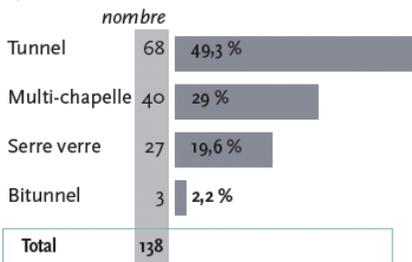
● Bon parasitisme ● Parasitisme aléatoire



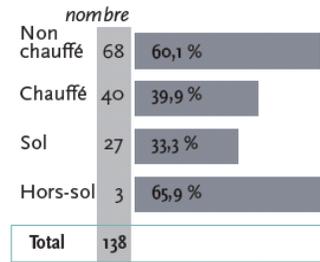
a – fondatrice de colonie
 b – femelle vivipare (aptère)
 e – puceron produisant des descendants en reproduction sexuée
 f – femelle vivipare (ailée)
 g – femelle pondreuse
 h – mâle ailé
 i – œuf
 X - accouplement

Figure 6 Cycle de développement d'un puceron sans changement de plante hôte d'après Jones 1942 (Malais & Ravensberg 2006)

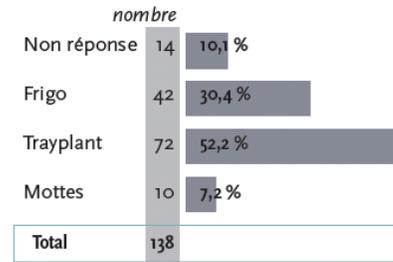
Type d'abri



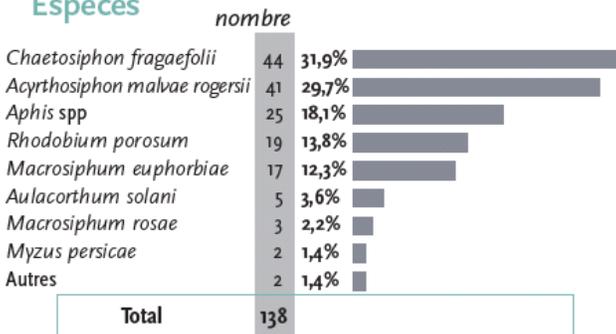
Type de conduite



Type de plant



Espèces



Localisation des pucerons

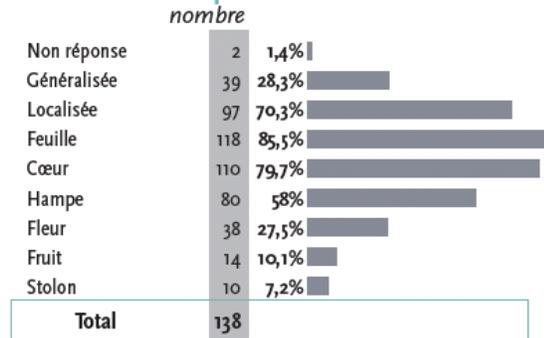


Figure 7 Résultats de l'enquête sur les espèces de pucerons en fraise dans le Sud-Est (Trottin et al. 2014)

La fumagine, un champignon opportuniste (*Cladosporium* spp.) peut se développer sur ce miellat et ainsi souiller les fruits et les cultures ornementales, les rendant invendables. Les rendements sont aussi réduits à cause de ce champignon qui gêne l'activité photosynthétique des plantes.

En culture sous-abri, les pucerons ont été maîtrisés efficacement pendant longtemps par des pesticides chimiques sélectifs qui avaient peu d'effets négatifs sur les auxiliaires lâchés pour contrôler d'autres ravageurs. Mais l'apparition de phénomènes de résistance s'est manifestée à la fin des années 80, obligeant les producteurs à se tourner vers des alternatives.

Le cycle de développement des pucerons est complexe et diffère selon les espèces (figure 6). Selon les conditions, les formes adultes sont ailés ou aptères. Les formes ailés peuvent apparaître pour plusieurs raisons : la surpopulation, la réduction de la teneur en eau et en éléments fertilisants dans la plante hôte, la température et la photopériode ou encore les facteurs génétiques. La reproduction des pucerons est majoritairement parthénogénétique, c'est-à-dire qu'une femelle non fécondée produit des descendants qui lui sont génétiquement identiques. Les larves passent ensuite par 4 stades avant de devenir adultes, en laissant une exuvie blanche après chaque mue. Sous serre, les pucerons ne changent pas d'hôte et ne pondent pas, la reproduction est uniquement parthénogénétique, on parle de développement anholocyclique (Malais & Ravensberg 2006).

Contrairement aux autres ravageurs du fraisier, plusieurs espèces de pucerons sont rencontrées en culture de fraise. Une enquête a été réalisée de 2010 à 2013 dans le Sud-Est pour identifier les espèces et comparer les échantillons en fonction du type d'abri, de conduite et de plant (figure 7) (Trottin *et al.* 2014). Elle confirme la présence d'une année sur l'autre d'au moins 6 espèces de pucerons. Parmi ces espèces, une seule est spécifique du fraisier : *Chaetosiphon fragaefolii* (T.D.A. Cockerell), les autres étant polyphages. Cette diversité d'espèces complique considérablement les méthodes de lutte. En effet, chaque espèce présente un comportement différent au niveau de la plante et de la culture. Toutefois, plusieurs auxiliaires peuvent être introduits contre le puceron en fraise, et certains peuvent être rencontrés naturellement dans la serre.

Les chrysopes (*Chrysoperla* spp.) sont des prédateurs de pucerons au stade larvaire uniquement (cycle figure 8). Elles ne sont pas spécifiques d'une espèce. Les larves ont une préférence alimentaire pour les pucerons mais peuvent aussi consommer des aleurodes, des thrips et des acariens. Elles se nourrissent pendant 2 à 3 semaines avant de tisser leur cocon. C'est l'espèce *Chrysoperla carnea* (Stephens), espèce de Chrysopidae la plus répandue en Europe qui est élevée et commercialisée par Koppert. C'est le prédateur le moins exigeant en termes de température de développement. Un premier apport de larves à la dose de 10 à 20 larves/m² de foyer peut donc s'effectuer dès l'apparition des premiers pucerons. Il faut ensuite renouveler si besoin et étendre en généralisant sur toute la culture à la dose de 1 à 2 larves par plante. L'observation des larves dans la culture est assez difficile car leur période d'activité est plutôt nocturne.

Les larves de syrphes sont également prédatrices de pucerons (cycle figure 9). Elles se nourrissent la nuit et consomment environ 300 à 500 pucerons durant toute leur vie larvaire. Les adultes sont pollinisateurs et se retrouvent naturellement dans les cultures.

Le prédateur de pucerons le plus connu du grand public reste la coccinelle, qui s'attaque au stade adulte et larvaire. La plupart des coccinelles ne peuvent pas maintenir les populations de ravageurs à un bas niveau, mais beaucoup d'espèces apparaissent de façon spontanée sous serre et peuvent aider au contrôle biologique des pucerons.

La cécidomyie *Aphidoletes aphidimyza* est un prédateur qui peut participer à la lutte contre les pucerons quand la température augmente et qu'elle dépasse 16°C la nuit. Ce sont également les larves qui consomment les pucerons. Elle est introduite en serres depuis 1989 mais peut aussi apparaître naturellement.

En plus de ces prédateurs, il existe plusieurs espèces de parasitoïdes qui parasitent les pucerons. Les plus importantes appartiennent au genre *Aphidius*. Les espèces les plus introduites en serre ont chacune leur spécialisation sur une ou plusieurs espèces de pucerons (tableau 6). L'espèce à lâcher est donc à choisir en fonction du puceron identifié, mais aussi des températures dans la serre (Ginez 2013).

Tableau 7 Produits aphicides homologués en fraise en 2015 (Izard 2015)

Produit	Dose /ha	DAR	DRE	Nombre maxi d'applications	Utilisation protection intégrée	Mention abeille	Concerné par la réglementation mélanges
PIRIMOR G ⁽¹⁾ Autorisé sous abri uniquement	0,75 kg	7 j	24 h		oui avec prudence		oui
CALYPSO	0,25 L	3 j	48 h	2			oui
DECIS PROTECH	0,83 L	3 j	6/8 h	3			oui
KARATE ZEON ou LAMBDASTAR ⁽²⁾	0,125 L	3 j	48 h	2			oui

(1) PIRIMOR G n'est pas autorisé contre *Myzus persicae*. Traiter en fin d'après-midi par beau temps. Fermer la serre après traitement (effet vapeur). Nouveau DAR 7 jours.

(2) KARATE XPRESS n'est pas conseillé à cause de sa nouvelle mention de danger H301 "Toxique par ingestion".

Tableau 8 Effets secondaires des produits insecticides et acaricides homologués en fraise (Koppert 2015)

Extrait du "Guide des effets secondaires" Koppert

		FRAISE 2015-2016		Ravageurs																	
Ravageurs	Spécialités commerciales	Substances actives	DAR	Précautions pour les ruches	Rémanence bourdons (j)	Rémanence auxiliaires (sem)	A. swirskii	A. cucumeris	A. limonicus	Orius sp.	A. californicus	Phytoseiulus	Feltiella acarisuga	Aphelinus	Aphidius sp.	Aphidoletes	Chrysoperla carnea	MYCOTAL	Heterorhabditis bacteriophora	Steinernema feltiae - carpocapsae	
Pucerons	CALYPSO	Thiaclopride	3j	←	1 à 2	0 à 1	1	1	2	4	?	3	?	?	3	?	?	?	?	?	?
	DECIS PROTECH / PEARL PROTECH / SPLIT	Deltaméthrine	3j	←	2	8 à 12	?	4	?	4	4	4	?	4	4	4	4	1	1	1	1
	KARATE XPRESS / POOL	Lambda-cyhalothrine	3j	X	15	8 à 12	?	4	?	4	?	4	?	4	4	4	4	?	1	1	1
	KARATE ZEON		3j	X	15	8 à 12	?	4	?	4	?	4	?	4	4	4	4	?	1	1	1
	PIRIMOR G	Pyrimicarbe	7j	←	1	0 à 1/2	1	3	3	1	1	2	?	?	1	4	2	1	?	?	?
Acariers / Tarsonèmes	ACRAMITE (o-l-a)	Bifénazate	3j	o	0	0 à 1	1	1	1	1	1	3	1	?	?	1	1	?	1	1	1
	BORNEO (o-l-a)	Etoxazole	3j	←	3	2 à 8	?	?	?	3	4	4	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	FLORAMITE (o-l-a)	Bifénazate	3j	o	0	0 à 1	1	1	1	1	1	3	1	?	?	1	1	?	1	1	1
	MAGISTER (l - a)	Fenazaquin	3j	←	1/2	0 à 3	?	4	?	?	3	4	?	?	?	?	?	1	?	?	?
	NISSORUN (o - l)	Héxythiazox	3j	Λ	0	0	?	1	1	1	1	1	1	?	1	1	1	2	1	1	1
	ORYTIS (a - l)	Acinathrine	3j	←	2	4 à 12	4	4	?	4	4	4	?	?	4	4	1	?	?	?	?
	VERTIMEG PRO (l-a)	Albamectine	3j	←	1 1/2	1 à 2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	4
Noctuelles	BACTURA df * / XENTARI*	Bacillus t	1j	Λ	0	0	1	2	?	1	1	2	?	1	1	1	1	1	1	1	1
	KARATE ZEON	Lambda-cyhalothrine	3j	X	15	8 à 12	?	4	?	4	?	4	?	4	4	4	4	?	1	1	1
	KARATE XPRESS / POOL		3j	X	15	8 à 12	?	4	?	4	?	4	?	4	4	4	4	?	1	1	1
	DECIS ou PEARL ou SPLIT PROTECH	Deltaméthrine	3j	←	2	8 à 12	?	4	?	4	4	4	?	4	4	4	4	1	1	1	1
Thrips	ORYTIS	Acinathrine	3j	←	2	4 à 12	4	4	?	4	4	4	?	?	4	4	1	?	?	?	?
	DECIS ou PEARL ou SPLIT PROTECH	Deltaméthrine	3j	←	2	8 à 12	?	4	?	4	4	4	?	?	4	4	?	1	1	1	1
	SUCCESS 4 * / MUSDO 4*	Spinosad	3j	←	2	0 à 2	4	4	4	4	1	2	4	?	4	?	4	?	?	?	1
Otorhynques	ENTONEM	Steinernema feltiae	0	Λ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LARVANEM	Hétérorhabditis bacteriophora	0	Λ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mouches	GF-1640	Spinetoram fin dérogation 7/09/2015	3j	?	?	0 à 2	4	3	?	?	4	3	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Aleurodes	ADMIRAL Pro (l)	Pyriproxyfène	3j	Λ	0	0	2	1	1	1	2	1	3	?	1	1	1	1	?	?	1
	CALYPSO	Thiaclopride	3j	←	1 à 2	0 à 1	1	1	2	4	?	3	?	?	3	?	?	?	?	?	?
	MYCOTAL (l) *	Leonicillium m.	0j	Λ	0	0	1	1	?	2	?	1	?	1	1	1	?	1	?	?	?

LEGENDE:

o : oeufs- l : larves- a : adultes

* : produits utilisables en AB

- Compatible pollinisateurs
- Couvrir les ruches
- Retirer les ruches
- incompatible

Compatibilité Faune auxiliaire

- 1 - Inoffensif : réduction de 25% de l'efficacité de la faune auxiliaire
- 2 - Peu dangereux : réduction de 25 à 50 % de l'efficacité de la faune auxiliaire
- 3 - Moyennement dangereux : réduction de 50 à 75 % de l'efficacité de la faune auxiliaire
- 4 - Très dangereux : réduction de + de 75% de l'efficacité de la faune auxiliaire

En lutte chimique, le nombre de produits aphicides efficaces est très limité (tableau 7), ce qui met les producteurs dans une impasse et les pousse à utiliser des produits non homologués pour l'usage fraise. Alors que le contrôle des thrips et des acariens est plutôt bien maîtrisé avec les auxiliaires, les limites de la lutte contre le puceron peuvent compromettre l'ensemble de la PBI.

II.4. Une PBI difficile à mettre en place malgré une large gamme d'auxiliaires

Selon une enquête menée l'année dernière, presque 79% des producteurs de fraise interrogés dans le Lot-et-Garonne utilisent la Protection Biologique Intégrée et parmi eux, 77% ont commencé après 2009 (Philip 2015). Le développement de la PBI est donc plutôt récent en fraise. Cela peut s'expliquer par plusieurs raisons.

Dans l'enquête, les producteurs interrogés évoquent en premières raisons l'implication et le coût. Il est vrai que les stratégies PBI ont encore un coût élevé par rapport aux insecticides conventionnels. Il faut compter 0,30 à 0,40€ au m² pour une lutte contre pucerons ou thrips et 0,20€ au m² pour une lutte contre acariens tandis que le coût des traitements phytosanitaires classiques ne dépasse pas 0,05€ au m² (détail des coûts en annexe 1).

La multitude d'itinéraires techniques de la culture du fraisier implique des difficultés à mettre au point une stratégie « standard » efficace. Sur les variétés précoces, le PBI est d'autant plus difficile à développer du fait que les conditions de température empêchent le bon développement de la plupart des auxiliaires jusqu'au mois d'avril. D'autre part, ces variétés ont en général 2 pics de production sur une brève période, contrairement aux variétés remontantes. Les enjeux économiques sont donc plus importants pour les producteurs et les seuils de tolérance des ravageurs bien plus bas. Le prix de la PBI est en général plus acceptable pour les cultures remontantes, qui produisent sur un plus long créneau.

Un frein important au développement de la PBI en fraisculture est le manque de produits phytosanitaires compatibles avec les auxiliaires. Face au développement de résistance par certaines espèces de pucerons et par l'acarien tétranyque, le nombre de produits efficace est déjà limité et leur compatibilité avec les auxiliaires n'est pas toujours acceptable (tableau 8). Pour les pucerons par exemple, seuls le Pirimor et le Calypso ont peu d'effets sur les auxiliaires. Le Pirimor est un produit assez ancien qui présente l'inconvénient d'un délai avant récolte de 7 jours. De plus, à ce jour, il devient difficile pour les producteurs de s'en procurer par les distributeurs (Broquier, communication personnelle, 2016). Le Calypso présente un profil toxicologique assez conséquent puisqu'il est classé CMR2 (Cancérigène Mutagène Reprotoxique de classe 2) (annexe 2). Ce genre de produits est très susceptible d'être retiré du marché dans les années à venir. L'homologation d'un produit compatible avec les auxiliaires utilisés en fraise est donc un enjeu essentiel pour affiner les stratégies de PBI actuelles.

III. Le produit DEV1502 et son potentiel intérêt en culture de fraise

III.1. Présentation du DEV1502

Le produit DEV1502 est une huile de paraffine de dernière génération et de très haute pureté, équivalente aux huiles de paraffine utilisées en pharmacopée. Produit par la branche Total Fluides, il est enregistré sous le numéro CAS 64742-46-7 et commercialisé sous les noms de marque Ovispray, Catane, Insectes d'hiver ou Ovipron plus. Il est actuellement homologué pour 2 usages :

- contre ravageurs au stade hivernant en traitement des parties aériennes sur 4 cultures : le pommier, le pêcher, le prunier et le cerisier à la dose de 2,5 L/hL
- contre acariens et phytoptes en traitement des parties aériennes sur le pommier à la dose de 2L/hL.

Il est formulé en concentré émulsionnable avec 800g/L d'huile de paraffine (www.ephy.anses.fr). Sa densité est comprise entre 815 et 840 kg/m³.

Ce produit est utilisable en agriculture biologique. Il fait partie de la liste des produits de biocontrôle à base de substances naturelles (annexe 3) et des produits NoDU vert. Il ne contient donc pas de substance active classée dangereuse, c'est-à-dire non-qualifiée de problématique pour la santé et l'environnement

d'après l'arrêté relatif à la redevance pour pollutions diffuses. Il est sans classement pour l'environnement (annexe 4).

DEV1502 est un produit qui agit par contact en provoquant la mort par asphyxie de nombreux ravageurs tels que les pucerons, les cochenilles ou les aleurodes. Le produit DEV1502 est également efficace contre l'oïdium. Son spectre étroit en chaînes carbonées (de C18 à C25) lui confère une bonne sélectivité sur le végétal.

De nombreux essais d'homologation ont été menés par Total Fluides dans plusieurs pays d'Europe et sur différentes cultures. Total Fluides a reçu le permis d'expérimenter de l'ANSES en France pour développer des usages supplémentaires en arboriculture, vigne, cultures maraichères, ornementales, espaces verts pour le traitement des parties aériennes contre plusieurs ravageurs : pucerons, aleurodes, acariens, chenilles phytophages... mais aussi contre certaines maladies comme l'oïdium (annexe 4). Dans ce projet, Koppert France a été choisi comme partenaire privilégié. Un dossier d'homologation pour un usage contre la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick) est en cours de dépôt dans plusieurs pays européens.

III.2. Les avantages du DEV1502 à exploiter en culture de fraise

Les huiles minérales ont gardé leur réputation en Europe de montrer de la phytotoxicité lors d'applications en été et donc d'être réservées à des usages d'hiver en arboriculture. Or DEV1502 est une huile de paraffine dont le degré de raffinage assure une certaine sécurité pour des usages en été et sur cultures maraichères.

Cet insecticide et fongicide présente un mode d'action qui fait que son spectre d'action est large et que le risque d'apparition de résistances est très faible. En culture de fraise, DEV1502 a une efficacité potentielle sur le puceron, l'aleurode, l'acarien tétranyque et l'oïdium. La baisse d'efficacité de certains produits de synthèse ces dernières années prouve qu'ils sont sujets à développer des résistances rapidement.

Compte tenu de la haute pureté de la substance active, l'ANSES n'a pas jugé nécessaire l'estimation de l'exposition à l'applicateur. La toxicité de ce produit est en effet considérée comme faible pour la santé humaine.

DEV1502 a un délai avant récolte de 1 jour, ce qui peut être très intéressant en culture de fraise sur laquelle la récolte peut s'échelonner en continu sur plusieurs mois. Ce produit pourrait donc apporter plus de souplesse dans les stratégies de protection adoptées.

Pour finir, ce produit est aussi exempté de la législation sur les limites maximales de résidus sur fruits.

Tous ces points positifs en font une solution alternative aux perspectives de développement très intéressantes, qui s'accordent avec le contexte actuel de réduction des intrants phytosanitaires. Malgré tout, il est essentiel de le tester en conditions de production pour évaluer son réel intérêt en culture de fraise. Pour cela, des essais ont été mis en place avec 3 objectifs principaux :

- vérifier l'efficacité de DEV1502 pour le contrôle des différentes espèces de pucerons retrouvées en culture de fraise et pour l'acarien *T. urticae*,
- étudier son impact sur les auxiliaires lâchés et indigènes dans les stratégies de PBI actuelles,
- évaluer la sensibilité du fraisier aux applications de DEV1502 (sa sélectivité par rapport à la culture).

Les essais permettront aussi d'avoir le ressenti des producteurs face à ce nouveau produit au mode d'action physique.

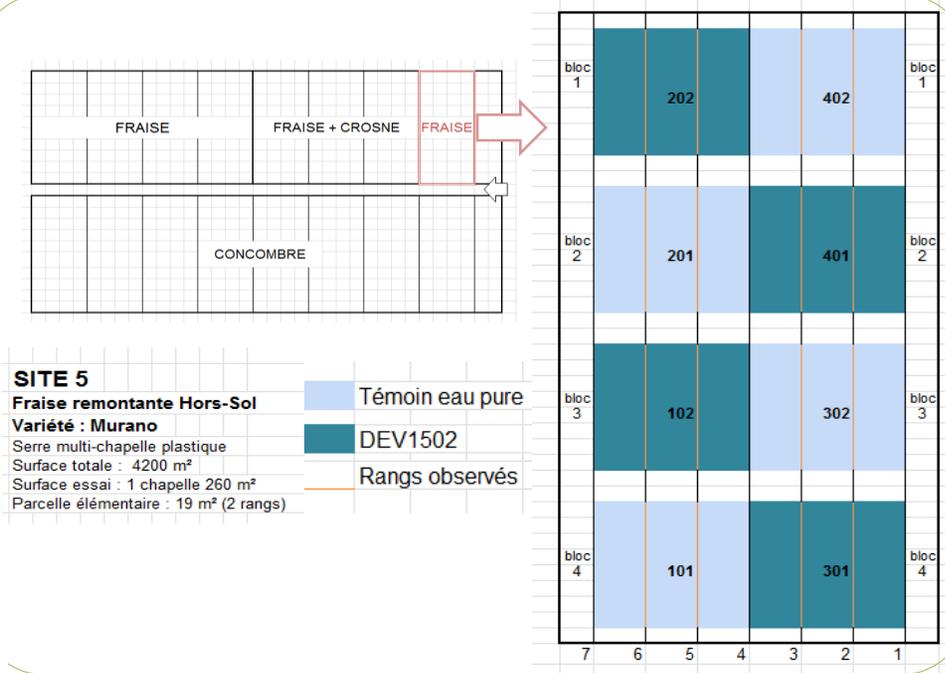
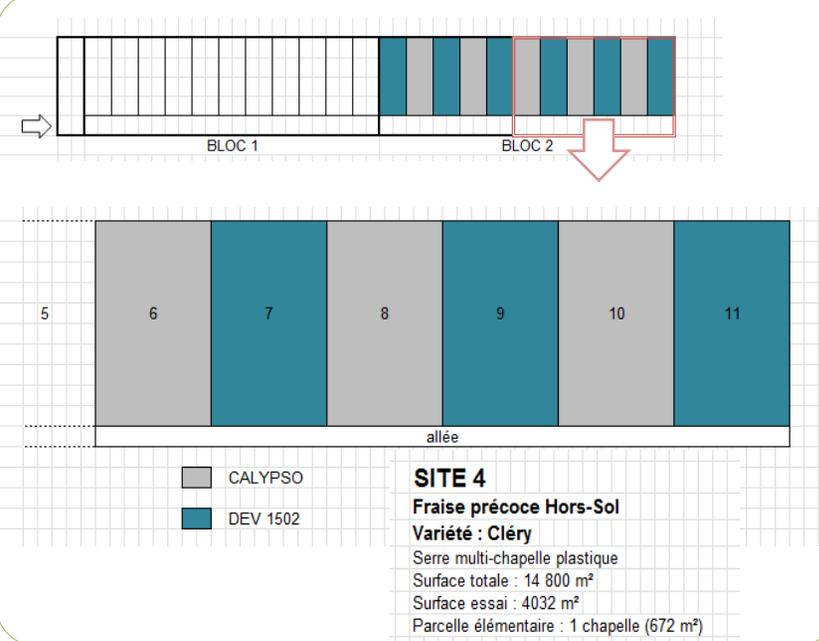
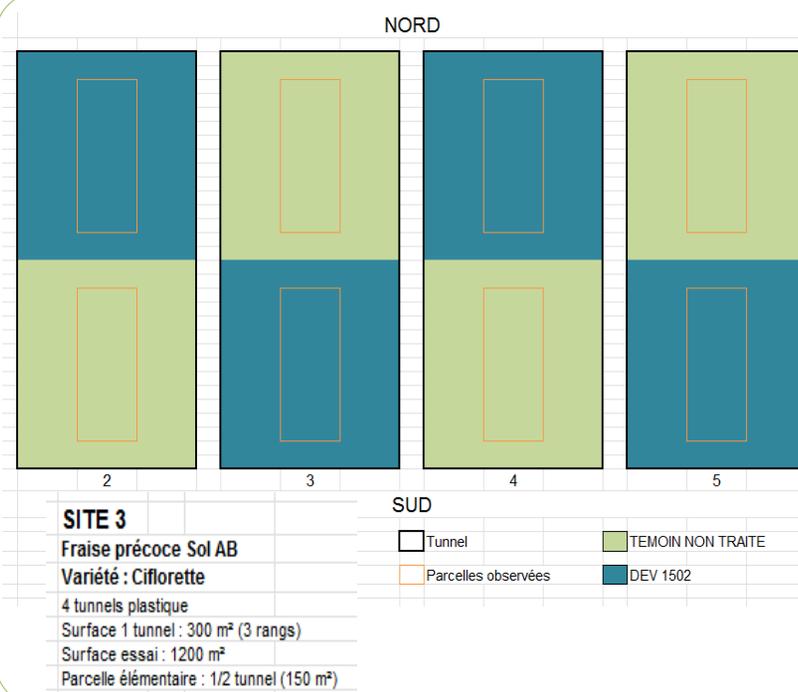
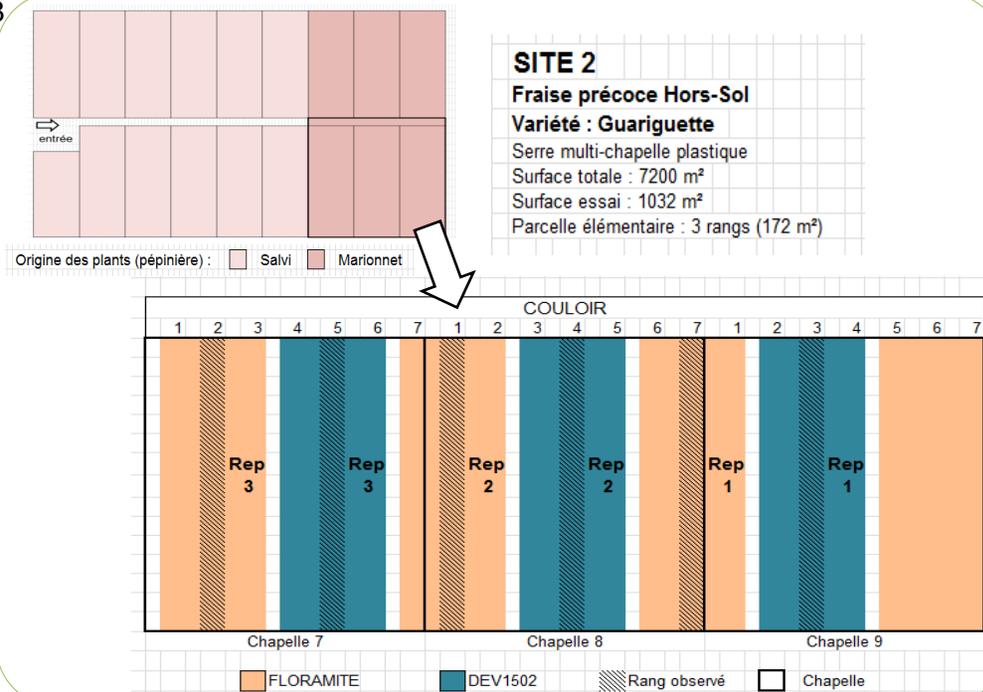


Figure 14 Dispositifs expérimentaux des sites 2, 3, 4 et 5

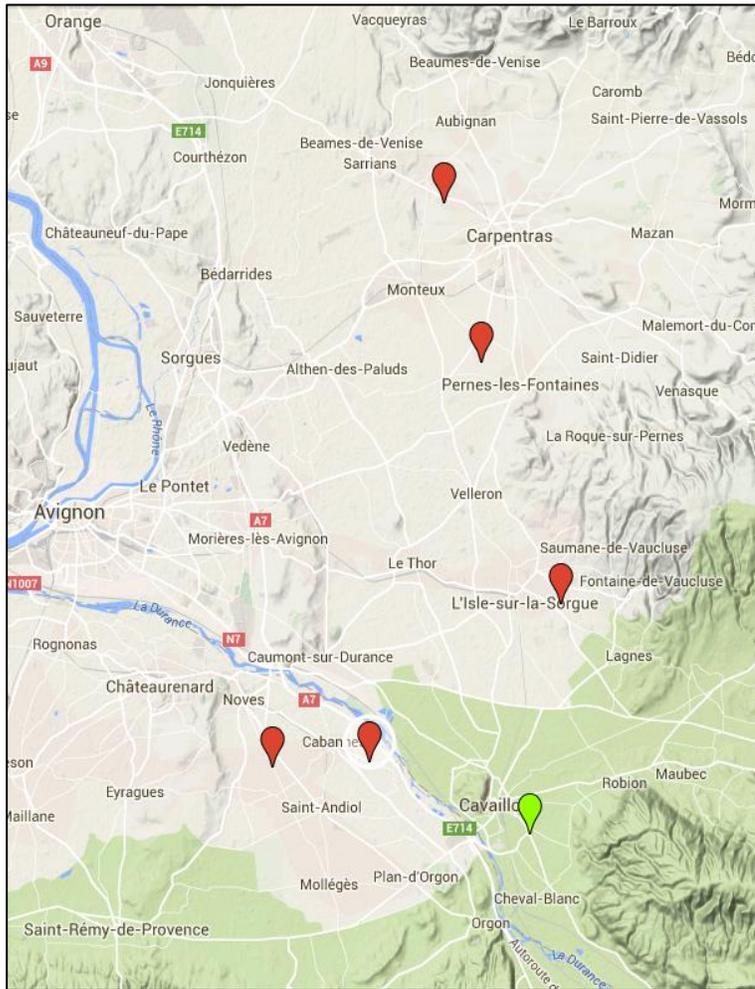


Figure 10 Localisation des différents sites d'essais
(en rouge : sites d'essais, en vert : agence Koppert Cavaillon)



Figure 11 Environnement du site 1 : Serre multichapelle, culture hors-sol



Figure 12 Environnement du site 3 : Tunnels plastique, culture en sol

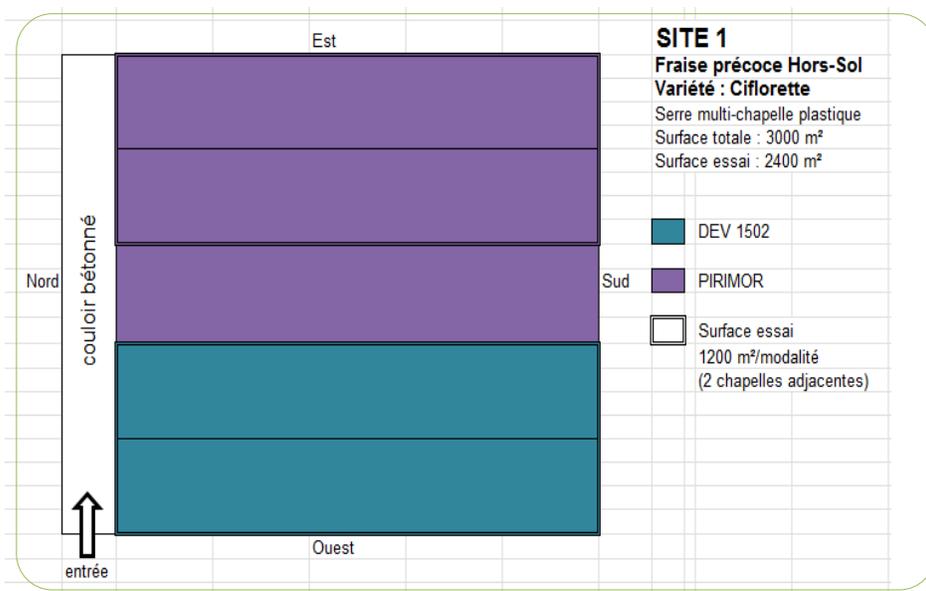


Figure 13 Dispositif expérimental du site 1



Figure 15 Pulvérisateur atomiseur avec 3 paires de buses à turbulence

Matériel & Méthodes

I. Sites d'essais

Les essais ont été menés chez des fraiseiculteurs du Sud-Est de la France, dans 2 départements : le Vaucluse (84) et les Bouches-du-Rhône (13) (figure 10). L'intérêt de se placer en conditions réelles de production est de pouvoir apprécier la valeur pratique du DEV1502 dans des situations différentes.

Le choix des sites s'est fait en fonction de la situation phytosanitaire de la culture vis-à-vis des pucerons et/ou des acariens tétranyques et des possibilités du producteur. Un des objectifs des essais étant d'étudier l'impact du DEV1502 sur les auxiliaires, il apparaissait important que ceux-ci soient déjà bien installés dans la culture.

Au total, 4 sites ont permis d'élaborer un dispositif expérimental en blocs avec des répétitions. Les conditions de culture diffèrent d'un site à l'autre de par :

- la structure de production : serre multi-chapelle ou tunnel (figures 11 et 12)
- la conduite de culture : sol ou hors-sol,
- le type de fraise : précoce ou remontante,
- la variété : Ciflorette, Gariguette, Cléry ou Murano.

II. Dispositif expérimental

Dans chaque essai, 2 modalités sont étudiées :

- le DEV1502 (modalité 1),
- la référence insecticide ou acaricide, ou le témoin (non traité ou traité à l'eau pure) (modalité 2).

Le choix de comparer le DEV1502 à un témoin ou à un produit de référence s'est fait selon la situation de pression du ravageur concerné, qui pouvait engendrer un risque ou non pour la récolte des fruits selon le seuil de tolérance du producteur.

Les lâchers d'auxiliaires et les traitements phytosanitaires contre les autres ravageurs ou maladies sont les mêmes dans les 2 modalités pour chaque essai. Le calendrier des lâchers et des traitements est récupéré pour chaque site afin de faciliter l'interprétation des résultats. Le suivi des parcelles est assuré par des technico-commerciaux Koppert.

Le dispositif expérimental est construit en blocs dans la mesure du possible, avec 3 ou 4 répétitions selon la surface disponible pour l'essai. Il est présenté pour chaque site dans les figures 13 et 14.

La surface d'une parcelle élémentaire est de 10m² minimum. Les observations sont toujours effectuées sur les rangs du milieu de la parcelle, en considérant les rangs de bordure comme des rangs de garde pour éviter l'interférence entre les parcelles (dérive des produits pulvérisés, dispersion des ravageurs et auxiliaires).

III. Application du DEV1502

Le traitement est réalisé lorsque le seuil d'infestation le justifie selon le producteur. La dose de DEV1502 est fixée à 15L/ha : c'est la dose testée pour les essais d'homologation. Le produit est dilué dans l'eau et pulvérisé sur la culture, selon un volume de bouillie choisi par le producteur en fonction de son appareil de traitement et ses pratiques habituelles. Le pulvérisateur le plus commun en culture de fraisier hors-sol est un atomiseur équipé de plusieurs paires de buses à turbulence (figure 15). Pour chaque site, les conditions d'applications sont précisées car elles peuvent avoir un effet important sur l'efficacité d'un produit, notamment des produits de contact.

Les recommandations du fournisseur concernant l'application du DEV1502 sont les suivantes :

- ne pas appliquer si la température est inférieure à 5°C ou supérieure à 30°C et de préférence avec un faible niveau d'ensoleillement (appliquer de préférence tôt le matin ou tard l'après-midi pour éviter la phytotoxicité),
- ne pas appliquer le produit DEV 1502 en mélange avec du captane, soufre, zirame et thirame. Si possible, respecter un délai de 15 jours entre une application de DEV1502 et les substances actives mentionnées ci-dessus.

Tableau 9 Observations réalisées sur chaque plant de fraisier

Ravageur/Auxiliaire	Organe(s)	Type d'observation
puceron	feuille	comptage ou estimation des individus aptères
momie de puceron	hampe florale	présence/absence d'individus ailés
	cœur	comptage et différenciation en 3 catégories : noires, dorées ou sur un socle (momie de <i>Praon</i>)
thrips	fleur fruit vert	comptage et différenciation des adultes et des larves après frappage de la fleur, en soulevant le calice du fruit
acarier tétranyque	feuille	comptage (sauf si pression trop forte)
acarier phytoséide	feuille fleur fruit vert	comptage (sauf si présence importante) après frappage de la fleur, en soulevant le calice du fruit
chrysope/hémérobe	feuille hampe florale cœur fleur fruit vert	présence/absence si présence : nombre et stade de développement, prélèvement pour identification à la loupe si nécessaire
syrphe		
coccinelle		
cécidomyie		
punaïse		
autre auxiliaire		

0 : aucun individu
 1 : 1 à 3 individus
 2 : 4 à 10 individus
 3 : 11 à 30 individus
 4 : 31 à 100 individus
 5 : plus de 100 individus

Figure 16 Classes utilisées pour estimer la population de pucerons

Tableau 10 Comparaison des conditions expérimentales entre sites

Site d'essai	1	2	3	4	5
Localisation (département)	Loriol-du Comtat (84)	Pernes-les-Fontaines (84)	L'Isle-sur-la-Sorgue (84)	Cabannes (13)	Verquières (13)
Créneau	précoce				remontante
Conduite	Hors-Sol		Sol AB	Hors-Sol	
Structure	Serre multi-chapelles plastique		Tunnels	Serre multi-chapelles plastique	
Variété	Ciflorette	Guariguette	Ciflorette	Cléry	Murano
Nombre de répétitions	1	3	4	3	4
Surface parcelle élémentaire (m ²)	1200	172	150	672	19
Modalité 1	DEV1502				
Dose (L/ha)	18,75	15	15	15	15
Volume de bouillie (L/ha)	1250	820	2200	750	1000
Concentration (%)	1,5	1,9	0,7	2	1,4
Appareil de traitement	Atomiseur 6 buses	Atomiseur 4 buses	Lance à jet porté	Atomiseur 6 buses	SOLO à jet projeté
Date(s) d'application	13 et 28 Mai	31 Mai	14 Juin	13 et 25 Juin	6 Juillet
Modalité 2	PIRIMOR	FLORAMITE	TEMOIN NON TRAITÉ	CALYPSO	TEMOIN EAU
Substance active	pirimicarbe	thiaclopride	-	bifénazate	-
Mode d'action	contact et vapeur translaminaire	contact	-	contact et ingestion systémique ascendante	-
Date(s) d'application	13 et 28 Mai	31 Mai	14 Juin	13 Juin	6 Juillet

Un deuxième traitement est envisagé selon les premiers résultats et l'évolution de la population en ravageur. Il est réalisé à 7 jours d'intervalle minimum avec le premier traitement.

Les traitements ont été réalisés par les producteurs, excepté sur le site 5 où nous avons fait appel au prestataire de service Agrolis. Les conditions d'application pour chaque site sont résumées dans le tableau 10.

IV. Observations

Le protocole d'observation s'inspire des méthodes de l'Association Provençale de Recherche et d'Expérimentation Légumière (APREL). Une première observation est nécessaire pour contrôler le niveau d'infestation de la culture et déclencher les traitements. Les observations suivantes sont réalisées juste avant traitement, puis 3 jours, 7 jours, 14 jours et éventuellement 21 jours après traitement. En cas de deuxième traitement, les observations sont renouvelées de la même façon.

IV.1. Observations en généralisé

Elles permettent d'évaluer à la fois la population de ravageurs et d'auxiliaires à l'échelle de la culture. Elles estiment à la fois la fréquence et l'intensité de l'infestation du ravageur dans chaque modalité. 15 plantes sont choisies au hasard, réparties de façon homogène dans chaque parcelle élémentaire. Sur chaque plante, les observations sont réalisées *in situ* sur 2 feuilles : 1 feuille haute (jeune) et 1 feuille basse (plus âgée) ; 1 hampe florale ; le cœur de la plante ; 1 fleur ; 1 fruit vert.

Le tableau 9 présente les différentes observations réalisées sur chaque plante.

En cas de forte densité de pucerons, un système de classe est utilisé pour estimer la population (figure 16).

Si la population d'acariens tétranyques est jugée trop importante, on privilégie un autre système d'observation, inspiré par la méthode de la Commission des Essais Biologiques (CEB). Il consiste à prélever 30 folioles centrales au hasard dans la parcelle élémentaire (15 sur feuilles jeunes, 15 sur feuilles plus âgées). Le comptage des formes mobiles est ensuite réalisé sous loupe binoculaire.

IV.2. Observations sur foyers

Dans chaque parcelle élémentaire, 5 à 10 plantes qui présentent une forte infestation sont repérées par une rubalise. Ces mêmes plantes sont suivies à chaque observation afin d'évaluer la dynamique du ravageur dans le temps. Les observations sont les mêmes que pour les plantes choisies au hasard mais concernent uniquement le puceron ou l'acarien tétranyque.

Pour les foyers de pucerons, 2 feuilles sont marquées par une étiquette (1 jeune et 1 plus âgée). Le comptage est fait sur ces 2 feuilles, 1 hampe florale et le cœur.

Pour les foyers d'acariens tétranyques, 2 feuilles sont prélevées (1 jeune et 1 plus âgée) pour faire le comptage à la loupe des formes mobiles de tétranyques et de phytoséides.

IV.3. Identification des espèces de pucerons

Des individus aptères sont prélevés sur chaque site d'essai pour identification à la loupe binoculaire. L'identification se fait selon des critères morphologiques, d'après la clé simplifiée de détermination de Y. Trottin-Caudal et C. Trouve (annexe 5).

IV.4. Evaluation de la phytotoxicité du DEV1502

En cas d'observation de phytotoxicité sur la modalité DEV1502, les symptômes sont décrits et leur fréquence évaluée. Sur les feuilles par exemple, l'estimation du pourcentage foliaire touché pourra se faire selon l'échelle utilisée pour l'oïdium (annexe 6). Des photos seront prises pour compléter l'analyse.

IV.5. Autres observations

Les symptômes d'oïdium sont également relevés sur les feuilles et les fruits. Le pourcentage de surface foliaire avec des tâches est estimé selon l'échelle présentée en annexe 6.

V. Eléments complémentaires

V.1. Qualité de pulvérisation

Des bandes de papier hydrosensible (Pulvé-test, fiche mode d'emploi annexe 7) sont attachées au feuillage par un trombone à la surface supérieure et inférieure des feuilles, et dans le cœur des plantes. Ces papiers serviront à contrôler la qualité de la pulvérisation des traitements (DEV1502 et produit de référence) et interpréter plus facilement les résultats. Des photos seront prises pour comparer les papiers entre eux.

V.2. Enregistrement des données climatiques

Une sonde thermo-hygromètre (KIMO) est installée dans chaque site pour enregistrer la température et l'hygrométrie pendant toute la durée de l'essai. Elle enregistre les données toutes les 30 minutes et fait la moyenne des valeurs pour chaque heure. Les données sont récupérées avec le logiciel KILOG.

VI. Analyse des résultats

Afin d'évaluer l'efficacité insecticide et acaricide du produit DEV1502, les variables suivantes sont étudiées pour chaque modalité :

- le nombre moyen d'individus par organe observé (intensité),
- le pourcentage d'organes avec présence d'au moins 1 individu (fréquence).

Pour permettre une comparaison entre les 2 modalités sachant que la population initiale est souvent hétérogène, le pourcentage d'efficacité relative est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Efficacité (0-100\%)} = 100 \times \frac{TA-TB}{TA}$$

avec TA = population avant traitement

TB = population après traitement

Le pourcentage de mortalité des acariens phytoséides est calculé de la même façon.

Les données sont analysées avec le logiciel R v.3.3.1. Ce sont des données discrètes issues de comptages, elles doivent donc suivre en théorie une loi de Poisson. Après vérification en étudiant la distribution des valeurs pour chaque variable, des tests statistiques de comparaison de moyenne non paramétriques sont effectués. Le test de Mann-Whitney-Wilcoxon permet de comparer les médianes :

- entre 2 modalités pour chaque date de comptage,
- entre 2 dates de comptage se suivant pour chaque modalité,
- entre feuille jeune et feuille âgée pour les pucerons, les acariens tétranyques et les phytoséides.

Le test de Kruskal-Wallis est utilisé pour comparer les moyennes entre blocs ou parcelles élémentaires et évaluer l'homogénéité de la population avant le traitement.

La puissance de ces tests non paramétriques étant faible, l'analyse est complétée par des modèles linéaires généralisés. La variable à expliquer est le nombre de pucerons, d'acariens tétranyques, de phytoséides et de thrips par organe observé.

Les modèles sont construits avec les facteurs à effet fixe « modalité », « date de comptage » et « âge » (pour les feuilles). Les facteurs « Bloc », « Parcelle élémentaire » et « Plante » sont inclus dans le modèle en tant que facteurs à effet aléatoire. Pour étudier la dynamique des populations, un dernier facteur est ajouté si les données sont disponibles : le nombre de proies ou de prédateurs correspondant, par exemple le nombre de phytoséides pour expliquer le nombre de tétranyques sur les feuilles, ou le nombre de larves de thrips pour expliquer le nombre de phytoséides dans les fleurs ou sur les fruits.

La formule du modèle s'écrit ainsi :

```
> modele <-glmer(formula = puceron_coeur ~ modalite+date+(1|bloc/parcelle/plante),  
family=poisson(link=log))
```

Le modèle est soumis à une analyse de variance (ANOVA) de type III pour ne pas prendre en compte l'ordre des facteurs dans la formule. Le test utilisé dans l'ANOVA est un test Chi, correspondant à la famille poisson.

Ce modèle est comparé à un modèle linéaire généralisé ne contenant que les facteurs à effet fixe pour savoir si la variance des facteurs à effet aléatoire est significative dans le modèle mixte.

Un autre type de modèle est testé pour expliquer la fréquence d'infestation. La présence d'au moins 1 individu sur un organe observé est transformée en valeur 1, et l'absence en valeur 0. Les données suivent alors une loi binomiale et le modèle utilise la fonction de lien logit.

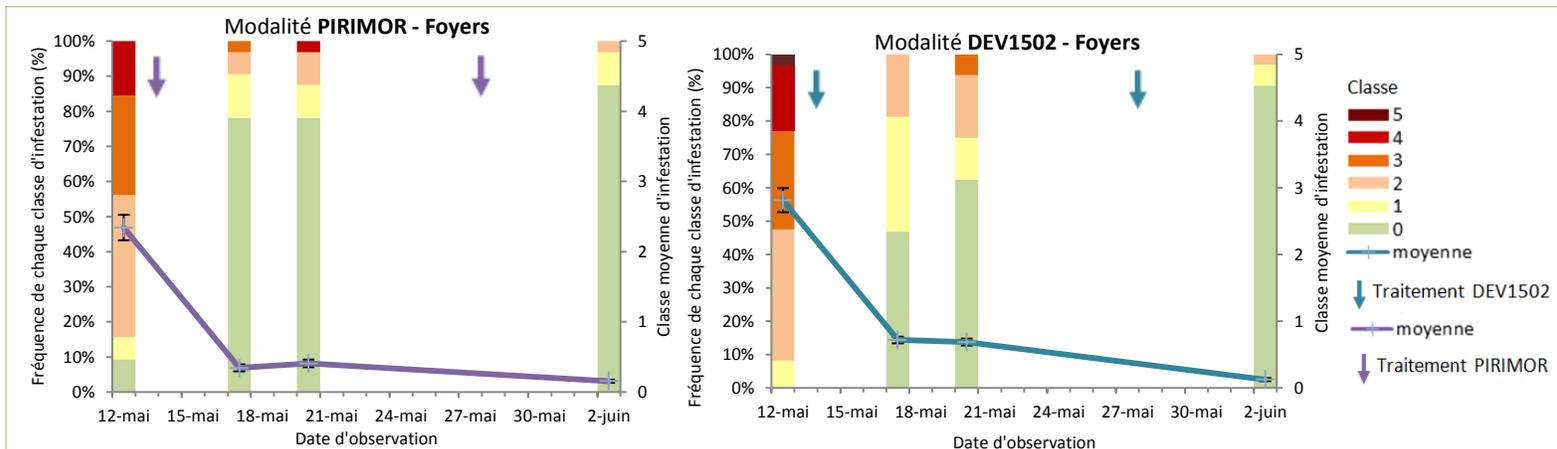


Figure 19 Evolution du nombre moyen de pucerons et répartition en classes sur l'ensemble des organes observés sur les plants foyers du site 1

Tableau 11 Efficacité relative des 2 produits sur les pucerons pour chaque organe sur le site 1

Organe	Modalité	J0-J5	J0-J8	J8-J21
feuilles jeunes	PIRIMOR	87,5	75	0
	DEV1502	100	100	NA
feuilles âgées	PIRIMOR	72,73	63,64	62,5
	DEV1502	88	92	0
hampes florales	PIRIMOR	92,86	78,57	66,67
	DEV1502	87,5	12,5	85,71
cœurs	PIRIMOR	65,38	84,61	100
	DEV1502	70	45	90,91

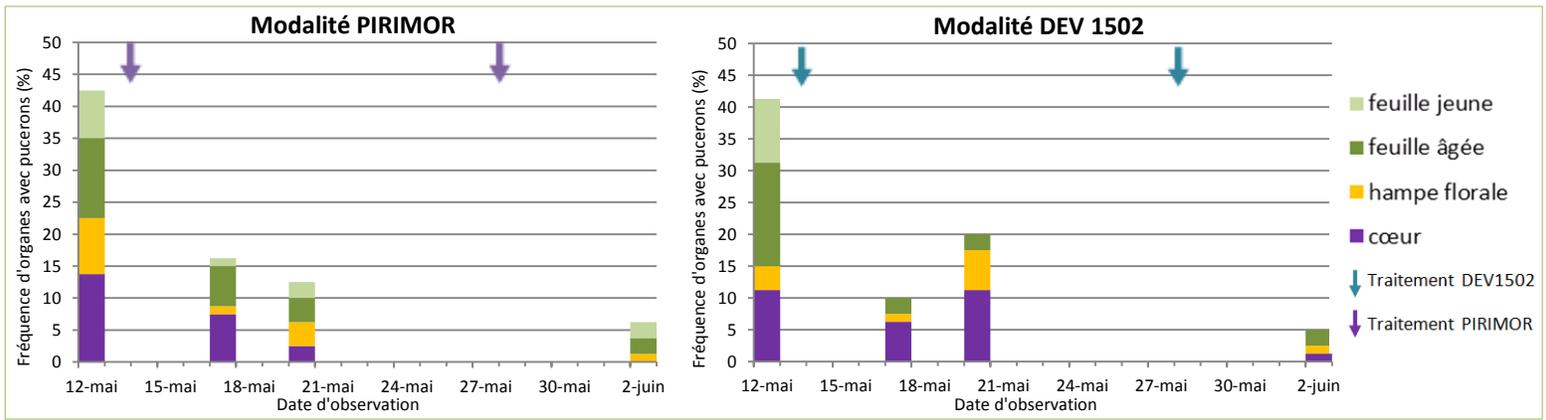


Figure 17 Evolution de la fréquence d'infestation en pucerons et leur répartition sur les organes dans chaque modalité du site 1

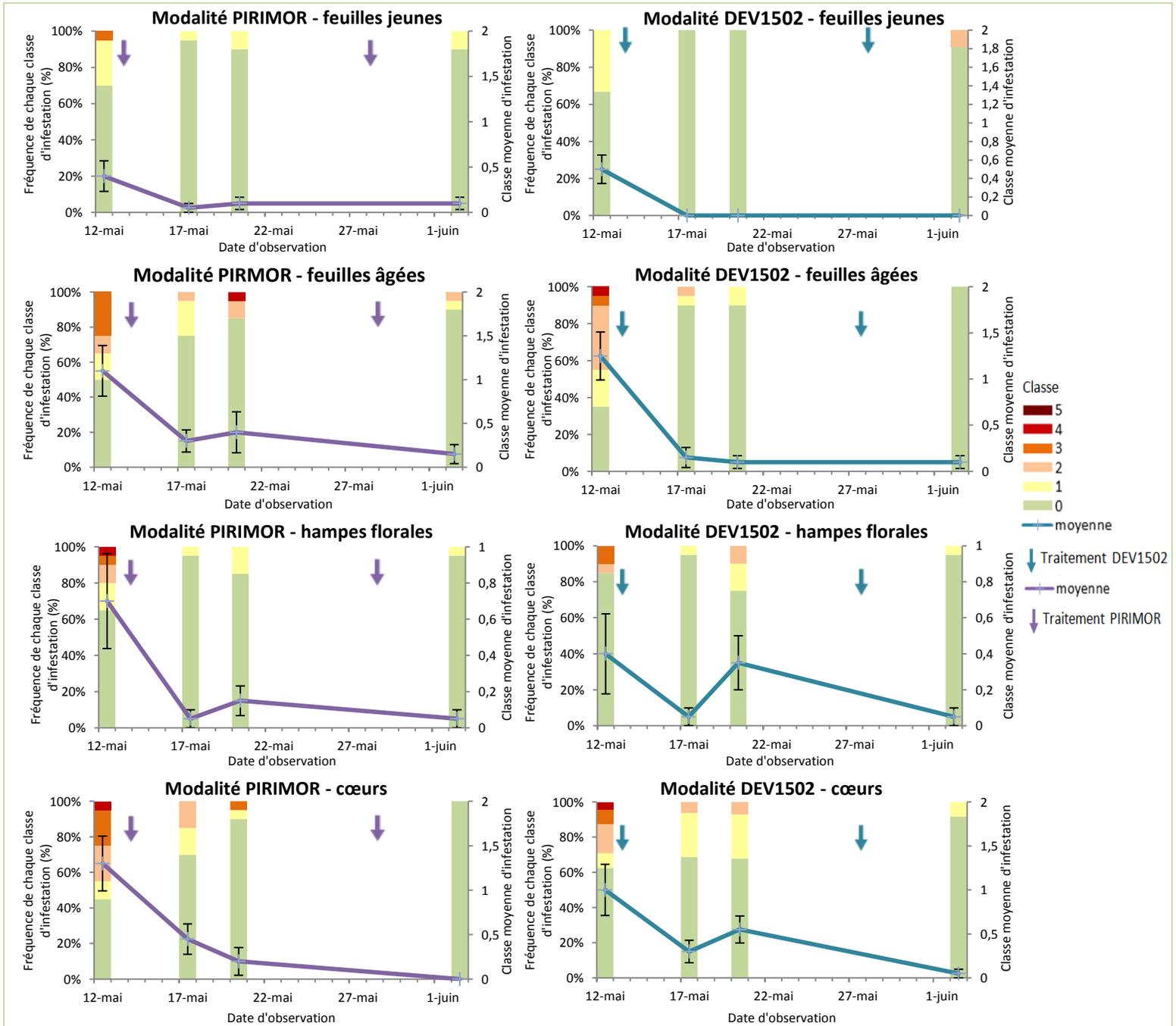


Figure 18 Evolution du nombre moyen de pucerons et répartition en classes par modalité pour chaque organe observé du site 1

Résultats & Discussion

I. Efficacité du DEV1502 sur les pucerons

La population initiale de pucerons est très variable selon les sites d'essais. De plus, les espèces identifiées ne sont pas les mêmes sur chaque site. Les résultats sont donc présentés par site d'essai.

- **Site 1**

4 espèces ont été retrouvées, localisées sur tous les organes des plantes : *Chaetosiphon fragaefolii*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Acyrtosiphon malvae rogersii* et *Rhodobium porosum*. Dans cet essai, un système de classe a été utilisé pour estimer la population compte-tenu de l'importance de l'infestation. L'efficacité du DEV1502 a été comparée à un insecticide de synthèse : le PIRIMOR. A base de pirimicarbe, il agit principalement par contact mais a également un effet vapeur et sa matière active peut pénétrer dans les feuilles (translaminaire).

Globalement, la population est assez homogène avant traitement : presque 42% des organes sont touchés dans l'ensemble de la serre. La moitié des cœurs observés sont infestés avant traitement. Les feuilles sont un peu plus touchées dans la modalité DEV1502 par rapport à la modalité PIRIMOR (52,5% contre 40%). En revanche, il y a moins de hampes florales avec des pucerons dans la modalité DEV1502 que dans la modalité PIRIMOR (15% contre 35%). Cependant, les résultats des tests statistiques indiquent que ces différences ne sont pas significatives. L'infestation est donc considérée homogène avant traitement. Par contre, la différence d'infestation entre feuilles jeunes et âgées pendant l'essai est significativement différente que ce soit en termes de fréquence de feuilles touchées ou de moyenne du nombre de pucerons (significativité du facteur fixe « âge » dans le modèle linéaire mixte généralisé (GLIM), p-value = 0,004446 (fréquence) ; $2,622 \cdot 10^{-6}$ (moyenne)). Elles seront donc analysées séparément. On voit en effet que les feuilles âgées sont en général plus infestées (figures 17 et 18).

Les 2 traitements sont réalisés le 13 mai au soir. 5 jours après, l'efficacité relative est comparable entre les 2 produits (figures 15 et 16). La diminution de la population de pucerons sur les feuilles âgées avant traitement et 3 jours après est significative dans les 2 modalités (Wilcoxon-Mann-Whitney (WMW) p-value = 0,0004029 (DEV1502) ; 0,04374 (PIRIMOR)). Il en est de même pour les feuilles jeunes (WMW p-value = 0,002011 (DEV1502) ; 0,04038 (PIRIMOR)). Sur les plantes foyers, on observe également cette baisse significative sur les feuilles jeunes et âgées. L'efficacité relative des 2 produits 5 jours après traitement est très bonne sur les pucerons des feuilles, mais celle du DEV1502 est légèrement supérieure à celle du PIRIMOR, notamment sur les feuilles jeunes (100% contre 87,5%) (tableau 11).

Par contre sur les hampes florales, le DEV1502 montre une efficacité relative légèrement plus faible par rapport au PIRIMOR (87,5% contre 92,86%). Ceci est validé par les tests qui montrent une baisse significative du nombre de pucerons uniquement sur les hampes florales de la modalité PIRIMOR (WMW p-value = 0,01715). Les mêmes résultats sont obtenus pour les cœurs avec une baisse qui s'observe dans les 2 modalités mais qui n'est significative que dans la modalité PIRIMOR (WMW p-value = 0,04147).

2 semaines après les traitements, le producteur choisit de traiter à nouveau car la population se renouvelle à partir des individus non touchés dans le cœur des plants. C'est surtout sur les hampes florales qu'on voit que le nombre de pucerons a déjà augmenté 8 jours après le premier traitement (figure 18). Le deuxième traitement du 28 mai permet de réduire de 100% le nombre de pucerons moyen dans les cœurs dans la modalité PIRIMOR contre 90,91% dans la modalité DEV1502 (tableau 11). La baisse est cette fois significative uniquement dans la modalité DEV1502 (WMW p-value = 0,003935). L'efficacité relative sur les hampes est aussi supérieure pour le DEV1502, bien que la baisse de l'infestation ne soit pas significative. Après 2 traitements, le nombre de pucerons est fortement réduit sur tous les organes dans les 2 modalités (figures 16 et 17). Sur les plantes foyers, les résultats sont les mêmes (figure 19). Les individus encore présents 5 jours après le deuxième traitement se situent sur les feuilles âgées et dans les cœurs de la modalité DEV1502 et sur les feuilles des plants traités au PIRIMOR (figure 17).

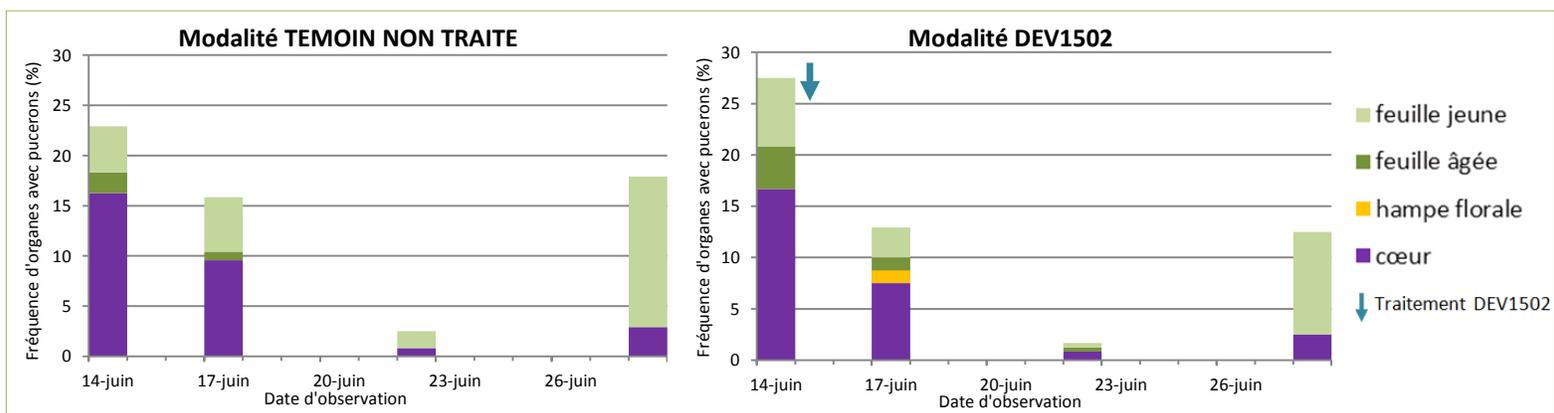


Figure 20 Evolution de la fréquence d'infestation en pucerons et leur répartition sur les organes dans chaque modalité du site 3

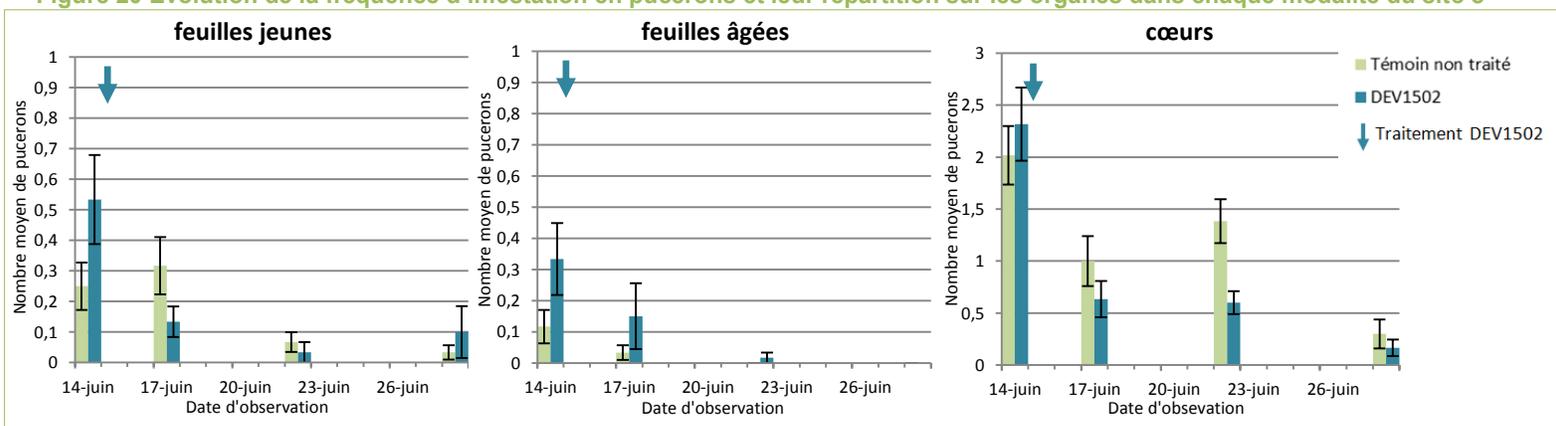


Figure 21 Evolution du nombre moyen de pucerons sur les feuilles jeunes et âgées et dans les cœurs comparée entre modalités du site 3

Tableau 12 Efficacité relative sur pucerons par organe par modalité du site 3

Organe	Modalité	J0-J3	J0-J8	J0-J14
feuille jeune	Témoïn non traité	-26,67	73,33	86,67
	DEV1502	75	93,75	81,25
feuille âgée	Témoïn non traité	71,43	100	100
	DEV1502	55	95	100
cœur	Témoïn non traité	50,41	31,40	85,12
	DEV1502	73,43	74,82	93,01

Tableau 13 Auxiliaires observés dans les 2 modalités sur le site 3

Auxiliaire	Modalité	J0	J3	J8	J14
syrphes	Témoïn non traité	3 œufs 5 larves 2 pupes 5 adultes	4 œufs 1 larve	2 œufs	1 œuf
	DEV1502	12 œufs 1 larve 1 pupa 1 adulte	10 œufs 1 pupa	4 adultes	1 adulte
chrysopes/hémérobes	Témoïn non traité	1 œuf 2 larves 3 nymphes	2 œufs 1 nymphe	1 œuf 2 adultes	3 œufs 1 nymphe
	DEV1502	2 œufs 2 larves 1 nymphe		1 larve 1 nymphe 1 adulte	5 adultes
cécidomyies	Témoïn non traité	1 larve			
	DEV1502	2 larves			
coccinelles	Témoïn non traité	3 larves 1 adulte	1 larve		3 adultes
	DEV1502	4 larves 2 adultes			

- **Site 2**

La pression initiale en pucerons est très faible. Des individus ont été retrouvés sur seulement 6% des organes observés. Aucun foyer n'a pu être repéré dans la serre. Les rares pucerons observés sont des *M. euphorbiae*, surtout présents dans le cœur des plants. On observe une baisse du nombre de pucerons dans les cœurs des plants mais elle n'est significative que dans la modalité FLORAMITE entre 3 et 7 jours après traitement (WMW p-value = 0,01424). Lors de la dernière observation du 15 Juin, l'irrigation était arrêtée depuis 4 jours et aucun puceron n'a été observé.

Cependant, ces résultats sont peu exploitables car des traitements insecticides ont été réalisés avant l'essai et le taux d'infestation ne justifiait pas d'un nouveau traitement. L'essai a été conduit sur ce site pour évaluer principalement l'efficacité du DEV1502 sur l'acarien tétranyque et son impact sur les acariens prédateurs *Amblyseius californicus* et *Pytoseius persimilis*.

- **Site 3**

Sur ce site, une seule espèce de puceron était présente : *Chaetosiphon fragaefolii*. Les individus ont été observés essentiellement dans les cœurs des plants et parfois isolés dans les nervures des feuilles. La pression était homogène avant traitement avec presque deux tiers des cœurs infestés et une moyenne de 2,2 individus par cœur. Le maximum étant de 11 pucerons sur 1 cœur, aucun foyer n'a été identifié pour cet essai. Les analyses statistiques valident l'homogénéité des valeurs avant traitement entre les modalités, les tunnels et l'orientation Nord/Sud.

Avant le comptage des populations initiales, 2 traitements au savon ont été faits à la fin du mois d'avril et le 8 juin, soit une semaine avant l'essai, ce qui explique le taux d'infestation plutôt faible. L'application du DEV1502 a été faite à l'aide d'une lance sur 4 demi-tunnels le 14 juin au soir. Aucun autre traitement n'a été fait sur les demi-tunnels restants.

3 jours après traitement, la fréquence d'infestation diminue dans les 2 modalités sauf sur les feuilles jeunes de la modalité non traitée (figure 20). Le nombre de pucerons diminue significativement 3 jours après traitement sur les feuilles jeunes et âgées dans la modalité traitée au DEV1502 (WMW p-value = 0,04449 (feuilles jeunes) ; 0,02567 (feuilles âgées)) (figure 21). L'effet du facteur modalité dans le modèle n'est pourtant significatif que pour les feuilles âgées (GLIM p-value = 0,001591). Le nombre de pucerons diminue également de manière significative 8 jours après traitement sur les feuilles jeunes non traitées (WMW p-value = 0,01612). Il y a aussi une baisse très significative du nombre de pucerons de 50,41% dans les cœurs dans le témoin non traité (WMW p-value = 0,0008414) et de 73,43% dans la modalité traitée au DEV1502 (WMW p-value = $4,012 \cdot 10^{-6}$) (figure 21 et tableau 12). Le modèle indique aussi que l'effet du facteur « modalité » est significatif sur le nombre de pucerons dans les cœurs (GLIM p-value = 0,01348). Pour expliquer la baisse d'infestation dans la modalité témoin, on peut émettre l'hypothèse que l'activité des auxiliaires naturels a permis de réguler les populations de pucerons. En effet, déjà avant traitement, un nombre important d'auxiliaires a été recensé dans les 2 modalités (tableau 13). La baisse du taux d'infestation ne serait donc pas totalement due à l'application de DEV1502.

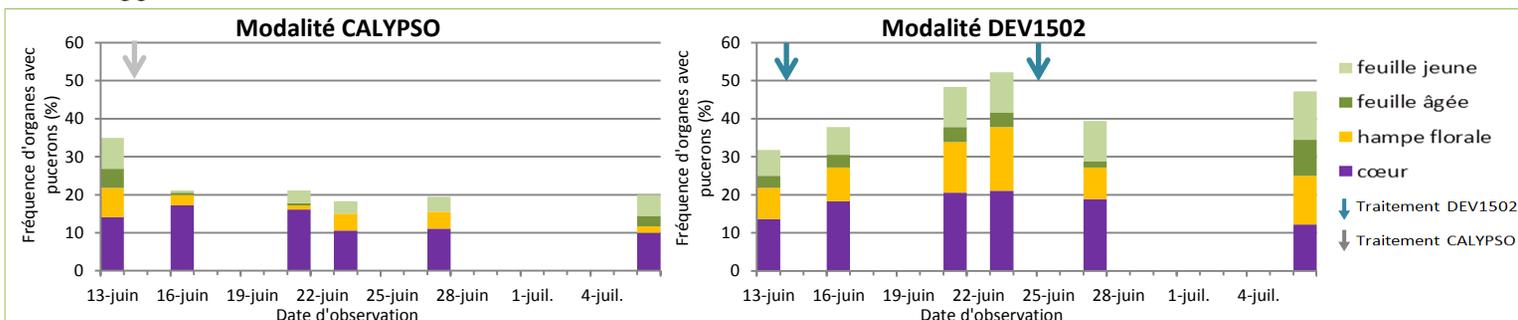


Figure 22 Evolution de la fréquence d'infestation en pucerons et de leur répartition sur les organes dans chaque modalité du site 4

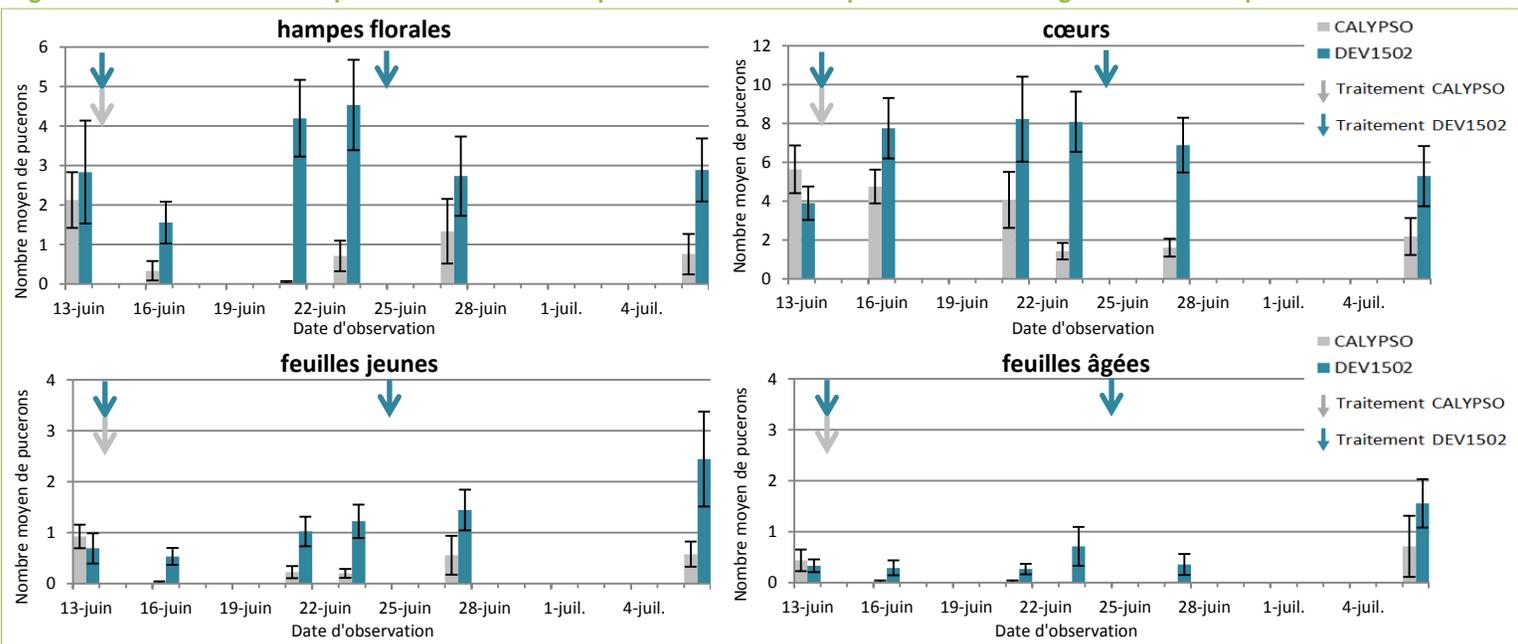


Figure 23 Evolution du nombre de pucerons sur les feuilles jeunes, âgées, les hampes florales et dans les cœurs comparée entre modalités du site 4

Tableau 14 Efficacité relative des 2 produits sur les pucerons pour chaque organe sur le site 4

organe	modalité	J0-J3	J0-J8	J0-J10	J10-J14	J10-J23
feuilles jeunes	CALYPSO	97,60	76,03	78,43	-177,78	-188,89
	DEV1502	22,81	-47,95	-76,90	-18,18	-100,00
feuilles âgées	CALYPSO	94,91	94,91	100,00	NA	NA
	DEV1502	11,73	18,52	-117,28	50,00	-118,75
hampes florales	CALYPSO	84,33	97,91	66,57	-87,50	-6,25
	DEV1502	45,16	-48,08	-59,83	39,71	36,27
cœurs	CALYPSO	15,63	27,85	74,77	-12,50	-53,13
	DEV1502	-99,33	-111,32	-107,89	14,84	34,62



Figure 24 Densité foliaire des plants du site 4



Figure 25 Pulvé-test® positionné sur une jeune feuille dans le cœur sur le site 4, 3 jours après le premier traitement au DEV1502

- **Site 4**

3 espèces de pucerons ont été identifiées sur ce site : *M. rosae*, *R. pososum* et *C. fragaefolii*. L'infestation initiale est très élevée : les pucerons sont présents avant traitement sur environ 55% des cœurs, 32% des hampes florales, 30% des feuilles jeunes et 16% des feuilles âgées. Selon les modèles testés, l'âge des feuilles a un effet significatif sur leur fréquence d'infestation (GLIM p-value = $5,939 \cdot 10^{-12}$) et le nombre pucerons (GLIM p-value < $2,2 \cdot 10^{-16}$). Les feuilles jeunes semblent être privilégiées par les pucerons, ce qui est cohérent avec l'infestation qu'on observe dans les cœurs qui montre que les espèces retrouvées sur ce site sont attirées par la qualité nutritionnelle des jeunes organes.

Dans cet essai, l'efficacité du DEV1502 a été comparée à un insecticide de synthèse systémique : le CALYPSO.

Les traitements ont été réalisés le 13 Juin au soir sur 3 chapelles chacun.

Sur la modalité DEV1502, le traitement a été répété 12 jours plus tard car le taux d'infestation a augmenté de manière significative sur les hampes florales et dans les cœurs jusqu'à dépasser la valeur initiale (WMW p-value = 0,04671 (hampes florales entre 3 et 8 jours après traitement) ; 0,02889 (cœurs entre avant traitement et 3 jours après) (figures 22 et 23).

Après le premier traitement, les résultats montrent en effet une efficacité relative du CALYPSO nettement supérieure sur tous les organes (tableau 14).

Sur les hampes florales, on observe toutefois une baisse du nombre de pucerons de 45,16% après le premier traitement au DEV1502 et de 39,4% après le deuxième traitement (tableau 14). Cette baisse n'est significative que pour le deuxième traitement (WMW p-value = 0,005104). En revanche, la baisse qu'on observe 3 jours après le traitement CALYPSO est significative (WMW p-value = 0,01205).

Sur les feuilles jeunes et âgées, on constate une légère baisse de respectivement 22,8% et 11,7% du nombre de pucerons dans la modalité DEV1502. Cependant elle n'est pas significative et bien inférieure à celle qu'on observe dans la modalité CALYPSO, qui ressort significative d'après les tests (WMW p-value = 0,000103 (feuilles jeunes) ; 0,006606 (feuilles âgées)).

Dans les cœurs, la population de pucerons augmente de manière significative 3 jours après traitement dans la modalité DEV1502 (WMW p-value = 0,02889) tandis qu'elle baisse progressivement au cours de l'essai dans la modalité CALYPSO (figure 23).

Sur les plantes foyers, les mêmes résultats sont obtenus avec une baisse significative du nombre de pucerons dans la modalité CALYPSO dès 3 jours après traitement, y compris dans les cœurs (WMW p-value = 0,002419).

L'effet du facteur « modalité » sur le nombre de pucerons sur tous les organes ressort très significatif d'après les modèles (GLIM p-value = $1,225 \cdot 10^{-6}$ (feuilles) ; $6,913 \cdot 10^{-13}$ (hampes) ; $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ (cœurs)). L'effet des traitements semble donc expliquer la dynamique de population des pucerons observée dans cet essai.

Les modèles montrent aussi un effet du facteur « bloc » sur l'infestation des feuilles (GLIM p-value = $2,744 \cdot 10^{-9}$) et des cœurs (GLIM p-value = $4,471 \cdot 10^{-5}$). Pourtant, les tests ne montrent pas de différences significatives entre les blocs avant traitement. Après avoir retiré les données du bloc qui semble montrer une population initiale différente, les résultats ne sont pas modifiés par rapport à l'effet des traitements sur les pucerons.

Pour expliquer ces résultats, on peut émettre l'hypothèse que le DEV1502 a difficilement pu atteindre sa cible du fait de la densité foliaire des plants (figure 24). Au stade où l'essai a été lancé, la récolte était en cours et les plants montraient un développement foliaire important, ce qui pourrait expliquer pourquoi le produit n'a pas pu couvrir la surface de toutes les feuilles et encore moins les cœurs des plants. Les pulvé-tests placés dans le cœur ou sur les feuilles internes montrent en effet une faible coloration (figure 25). Les pucerons restants dans les cœurs après la première application ont alors pu migrer et s'étendre sur les hampes florales, ce qui expliquerait la dynamique de populations observée. Contrairement au DEV1502, le CALYPSO ayant une activité systémique ascendante a pu pénétrer dans les tissus pour diffuser progressivement dans la partie haute des plantes et ainsi montrer une bonne efficacité sur les pucerons, notamment sur les hampes florales et les feuilles.



Figure 26 Pulvérisateur utilisé sur le site 5

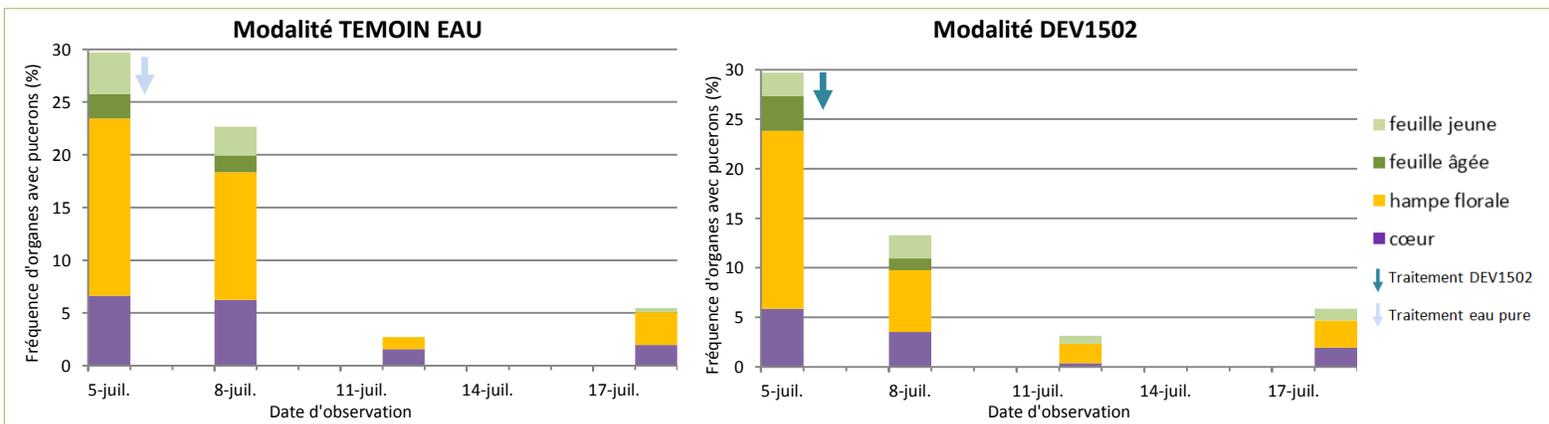


Figure 27 Evolution de la fréquence d'infestation en pucerons et leur répartition sur les organes pour chaque modalité du site 5

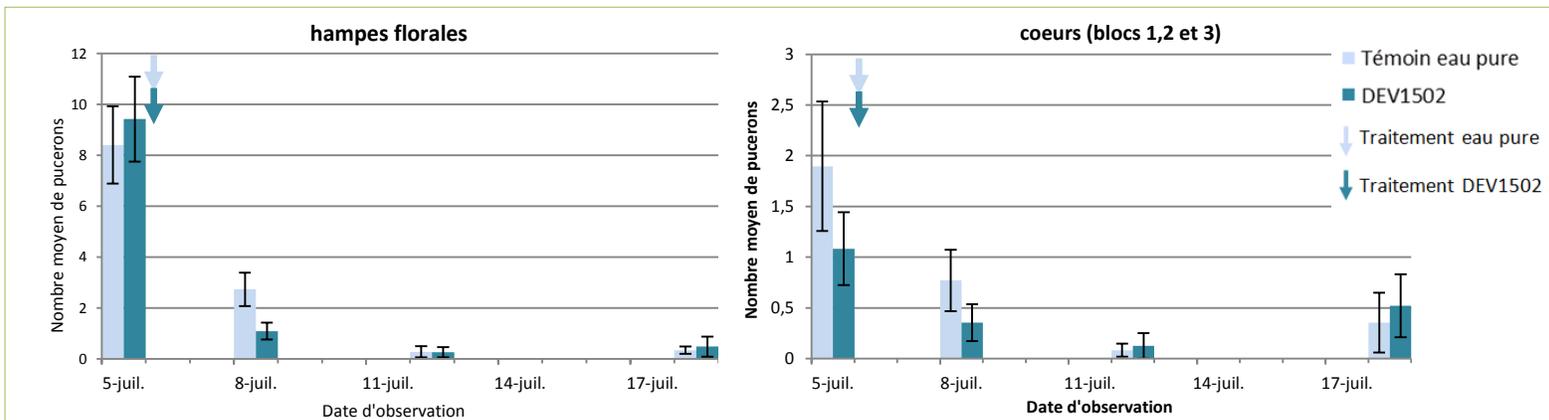


Figure 28 Evolution du nombre moyen de pucerons sur les hampes florales et dans les cœurs comparée entre modalités du site 5

- **Site 5**

Dans cet essai, on retrouve les espèces *M. euphorbiae*, *R. porosum* et aussi une espèce du genre *Aphis*. Ils se situent principalement sur les hampes florales. En effet, 70% de celles-ci sont infestées et présentent une moyenne de 8,9 pucerons. 25% des cœurs sont touchés avec une moyenne de 1,15 pucerons. On compte également quelques individus sur 12% des feuilles observées. La population peut être considérée homogène entre les 2 modalités avant traitement car les différences ne sont pas significatives.

Le traitement a été réalisé le 6 juillet au matin par un prestataire de service avec un pulvérisateur à dos à jet projeté (type SOLO, figure 26). La deuxième modalité a été traitée de la même manière à l'eau pure.

3 jours après traitement, on observe une baisse de la fréquence d'infestation sur tous les organes à la fois dans le témoin et dans la modalité traitée au DEV1502 (figure 27).

Sur les hampes florales, le nombre de pucerons diminue significativement dans les 2 modalités (WMW p-value = $7,717 \cdot 10^{-9}$ (DEV1502) ; 0,001918 (Témoin eau)) (figure 28). Sur les hampes des plants foyers, on obtient les mêmes résultats avec une réduction significative du nombre de pucerons (WMW p-value = $7,042 \cdot 10^{-12}$ (DEV1502) ; $2,905 \cdot 10^{-12}$ (Témoin eau)).

Dans les cœurs, le nombre de pucerons est significativement différent entre les blocs avant traitement (Kruskal-Wallis p-value = 0,02613). Les modèles le confirment avec un effet du facteur bloc significatif sur le nombre de pucerons dans les cœurs (GLIM p-value $< 2,2 \cdot 10^{-16}$). Les valeurs du bloc 4 étant plus faibles, elles sont donc retirées de l'analyse pour les cœurs. La diminution du nombre de pucerons observée 3 jours après traitement est significative dans la modalité DEV1502 (WMW p-value = 0,02346), mais 8 jours après, elle est aussi significative dans la modalité témoin (WMW p-value = 0,01357).

Sur les feuilles, l'infestation est différente selon l'âge d'après le modèle (GLIM p-value = $3,485 \cdot 10^{-9}$). Le nombre de pucerons diminue significativement dans la modalité témoin sur les feuilles âgées une semaine après le début de l'essai (WMW p-value = 0,04381). Il diminue aussi progressivement dans la modalité DEV1502, bien que ce ne soit pas significatif.

Sur ce site, la baisse de la population de pucerons dans le témoin traité à l'eau pourrait venir d'un effet mécanique de la pulvérisation, qui aurait perturbé le développement des pucerons.

Les auxiliaires ont également pu intervenir dans le contrôle des populations car 1 mois avant l'essai, des lâchers d'*Aphidoletes aphidimyza* et des parasitoïdes *Aphidius matricariae* et *Aphelinus abdominalis* ont eu lieu sur la culture. Juste après le traitement, *A. abdominalis* a été lâché de nouveau. Lors de la première visite de la culture la semaine précédant l'essai, des larves d'*A. aphidimyza* ont pu être observées sur des hampes florales infestées. Le cycle de développement de ce prédateur est de 15 jours à la température de 25°C (Havelka 1980). Le mois de Juin a été plutôt chaud et pourrait donc expliquer la présence de larves de la troisième génération. Un certain nombre de momies de pucerons est également présent avant traitement sur quelques feuilles et hampes florales.

Les conditions climatiques de la serre au moment de l'essai pourraient être une autre raison de la diminution du nombre de pucerons dans le témoin. La mise en marche d'un brumisateur pour augmenter l'hygrométrie de la serre quelques jours avant le traitement a peut-être participé à défavoriser le milieu pour les pucerons. Il paraît donc difficile de déterminer l'efficacité du DEV1502 sur les pucerons sur ce site tout comme pour le site 3.

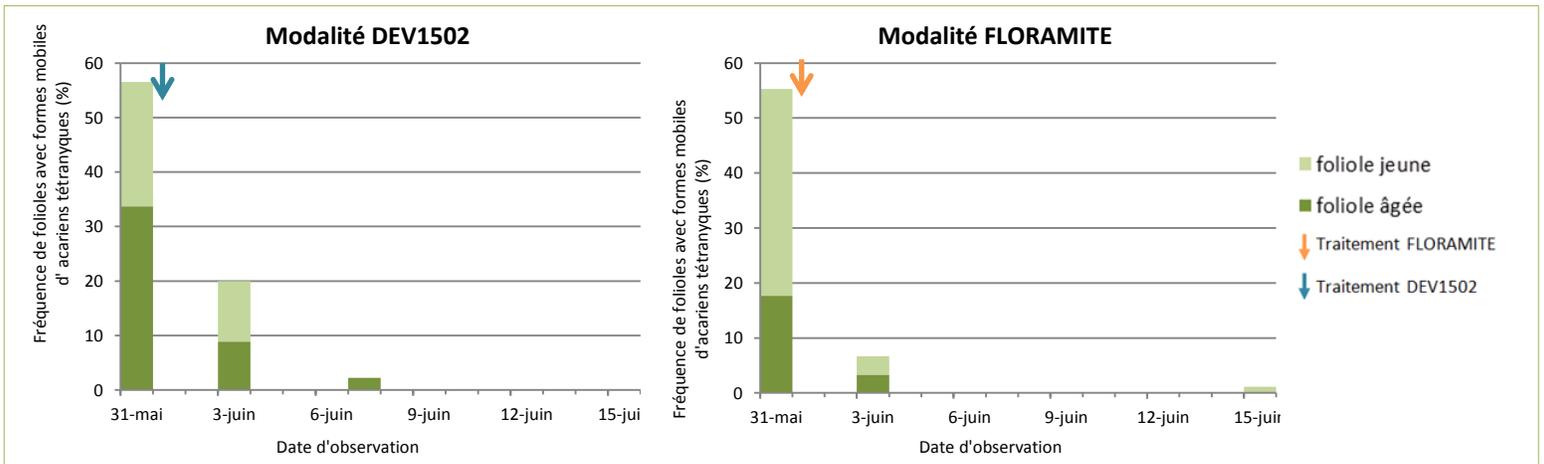


Figure 29 Evolution de la fréquence d'infestation des folioles jeunes et âgées dans chaque modalité du site 2

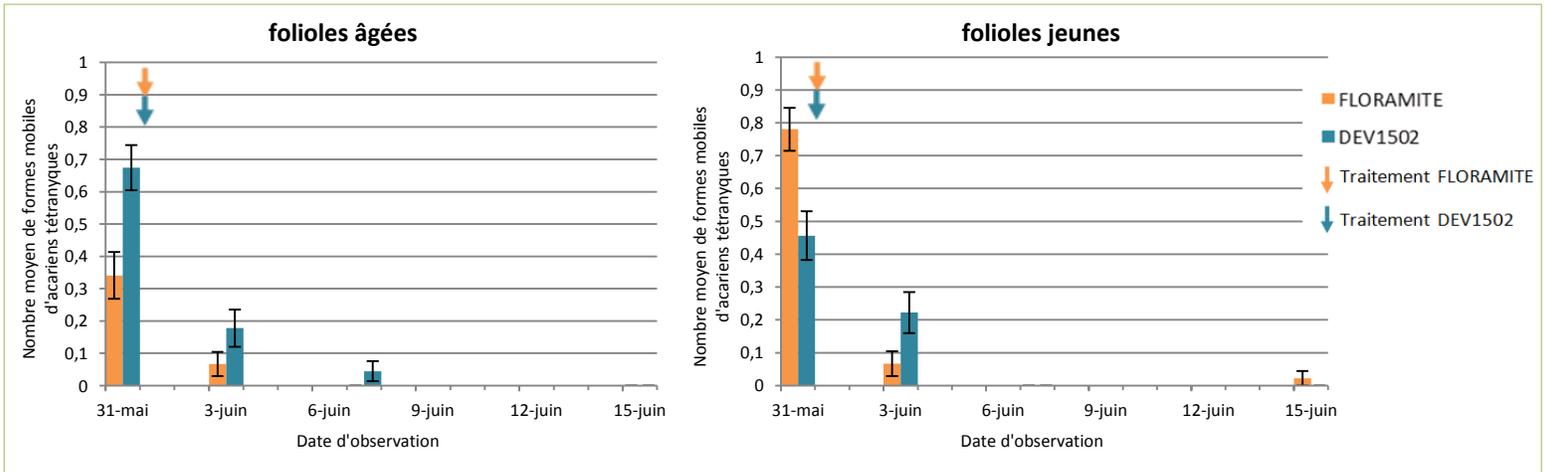


Figure 30 Evolution du nombre moyen de formes mobiles d'acariens tétranyques sur les folioles jeunes et âgées comparée entre les modalités du site 2

Tableau 15 Efficacité relative des 2 produits sur l'acarien tétranyque pour chaque organe sur le site 2

organe	modalité	J0-J3	J0-J7	J0-J15
foliole jeune	FLORAMITE	91,46	100	97,15
	DEV1502	51,32	100	100
foliole âgée	FLORAMITE	80,44	100	100
	DEV1502	73,62	93,40	100

II. Efficacité du DEV1502 sur l'acarien tétranyque

Des foyers importants d'acariens tétranyques ont été observés sur le site 2 malgré des lâchers d'acariens prédateurs le mois précédent le début de l'essai. Un échantillon de 30 folioles a donc été prélevé dans chaque parcelle élémentaire pour dénombrer les formes mobiles à la loupe binoculaire. 67% des folioles prélevées présentaient au moins 1 individu avant le traitement. L'intensité de l'infestation est particulièrement élevée avec presque 5 acariens par foliole.

Dans cet essai, le DEV1502 a été comparé au FLORAMITE, un acaricide sélectif de la famille des néonicotinoïdes compatible avec la PBI. Les modèles testés indiquent que l'infestation est différente sur les folioles jeunes et les folioles âgées (GLIM, p-value = $1,404 \cdot 10^{-5}$). En effet, sur la modalité DEV1502 ce sont les folioles âgées qui sont le plus touchées tandis que ce sont les folioles jeunes qui comptent le plus d'acariens dans la modalité FLORAMITE (figure 29).

Dans tous les cas, le nombre moyen de formes mobiles d'acariens tétranyques diminue de manière significative dans les 2 modalités 3 jours après traitement (figure 30) (WMW p-value = $6,456 \cdot 10^{-6}$ (DEV1502 folioles âgées) ; $0,0008157$ (FLORAMITE folioles âgées) ; $0,0124$ (DEV1502 folioles jeunes) ; $9,851 \cdot 10^{-11}$ (FLORAMITE folioles jeunes)). L'efficacité relative du FLORAMITE est cependant supérieure à celle du DEV1502 sur toutes les folioles (tableau 15).

Mais la population de tétranyques chute à nouveau de manière significative dans la modalité DEV1502 8 jours après traitement (WMW p-value = $0,0427$ (folioles âgées) ; $0,0008931$ (folioles jeunes)). L'efficacité relative des 2 produits est donc presque équivalente 8 jours après traitement et atteint les 100% (tableau 15).

Sur les folioles des foyers, les résultats sont les mêmes malgré une infestation significativement plus élevée sur la modalité DEV1502 avant traitement (WMW p-value = $0,01599$).

Lors de cet essai, les acariens phytoséides présents sur les folioles ont également été dénombrés et ils influencent de manière significative la population de tétranyques d'après les modèles testés (GLIM p-value < $2,2 \cdot 10^{-6}$). Au contraire, l'effet du facteur « modalité » n'a pas d'effet significatif sur la population de tétranyques. Les résultats semblent donc dépendre plutôt de la population de prédateurs que du produit.

Sur le site 5, quelques foyers d'acariens tétranyques ont aussi été observés. La pression était toutefois bien plus faible que sur le site 2. Les individus ont donc été comptés *in situ* sur les feuilles pendant les observations en généralisé. 12,5% des feuilles observées présentaient au moins 1 individu avant traitement, avec une infestation légèrement supérieure sur les feuilles âgées. Avant traitement, les populations sont globalement homogènes entre les blocs et les modalités d'après les analyses. 3 jours après, on constate une augmentation légèrement significative du nombre d'acariens sur les feuilles jeunes du témoin (WMW, p-value = $0,04639$). Cependant, la variabilité des moyennes est assez forte et il s'agit de faibles densités de population (nombre moyen de formes mobiles par feuille 3 jours après traitement = $0,27$, écart-type = $1,05$). L'échantillonnage sur ce site est certainement trop faible pour voir un effet du produit sur la dynamique des populations. D'autre part, les résultats après 8 jours ne sont pas interprétables car le producteur a choisi de faire un traitement au FLORAMITE le soir du 8 juillet.

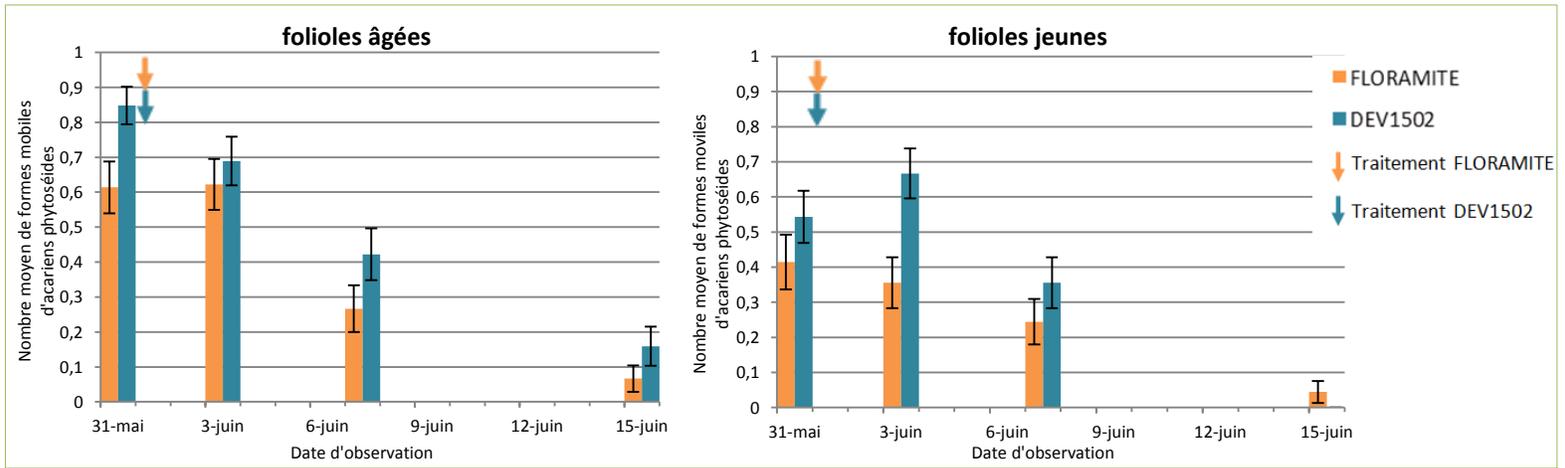


Figure 31 Evolution du nombre moyen de formes mobiles d'acariens phytoséides sur les folioles jeunes et âgées comparée entre modalités du site 2

III. Effets du DEV1502 sur les auxiliaires

Sur tous les sites, plusieurs espèces d'auxiliaires indigènes ou introduits ont été identifiées pendant les observations en généralisé. C'est le cas par exemple des chrysopes et des syrphes qui ont pu être observées à différents stades. Cependant, leur présence ponctuelle ne permet pas une comparaison fiable entre les modalités, les échantillons étant très faibles. Il en est de même pour les momies de pucerons. Le taux de parasitisme est globalement faible et les observations sont ponctuelles, ce qui ne nous a pas permis de déterminer l'impact du DEV1502 sur les parasitoïdes.

Mon étude s'est donc plutôt concentrée sur les dynamiques de population d'acariens prédateurs, considérés comme les plus vulnérables aux applications d'huiles minérales d'après la synthèse bibliographique. En effet, le mode d'action du produit fait que ces acariens sont autant susceptibles d'être asphyxiés par la couche d'huile que les acariens tétranyques.

Sur le site 1, premier essai que j'ai suivi, l'observation des acariens phytoséides était particulièrement difficile, mon œil n'étant pas encore habitué à les reconnaître. Sur le site 2, l'observation des folioles à la loupe a permis un comptage plus fiable et m'a permis de me familiariser avec les différentes espèces de phytoséides qui avaient été lâchées sur la culture. Début avril, soit 2 mois avant l'essai, le producteur a en effet installé dans sa culture des sachets d'*Amblyseius swirskii* et d'*Amblyseius californicus* tous les 2 mètres linéaires. Pour compléter la lutte, il y a eu 2 lâchers de *Phytoseiulus persimilis* au cours du mois d'avril et un dernier lâcher début mai. L'objectif de l'essai sur ce site était de comparer l'impact du DEV1502 sur les phytoséides par rapport à au FLORAMITE, un acaricide de synthèse connu pour être compatible avec la PBI, excepté sur l'espèce *Phytoseiulus persimilis* pouvant être moyennement affectée.

Les résultats montrent une baisse de 18,7% du nombre moyen de phytoséides par foliole âgée 3 jours après traitement dans la modalité DEV1502 (figure 31). Les analyses montrent que cette baisse est significative (WMW p-value = 0,01802). A l'inverse, la population augmente de 22,7% sur les folioles jeunes. Sur les folioles traitées au FLORAMITE, la population évolue très peu après le traitement. Par contre, 8 jours après traitement, la population chute de manière significative dans les 2 modalités sur les folioles âgées (WMW p-value = 0,001124 (DEV1502) ; $5,748 \cdot 10^{-5}$ (FLORAMITE)) et sur les folioles jeunes traitées au DEV1502 (WMW p-value = 0,0006045).

Cela s'explique quand on regarde la dynamique de population des acariens tétranyques. Les modèles confirment en effet que la population de proies a un effet significatif sur la population de phytoséides (GLIM p-value < $2,2 \cdot 10^{-16}$). D'après ces mêmes modèles, le facteur « modalité » a aussi un effet significatif sur la population d'acariens prédateurs (GLIM p-value = $1,034 \cdot 10^{-6}$). Cela pourrait venir du fait que les populations sont hétérogènes dès le départ entre les 2 modalités mais également entre les blocs (WMW p-value = 0,04646 ; Kruskal-Wallis p-value = 0,04943). Il y a en effet plus de phytoséides sur les folioles de la modalité DEV1502 et les folioles âgées du bloc 3 sont moins occupées. En retirant les données issues de ce bloc, on obtient cependant les mêmes résultats : la population est significativement réduite 3 jours après traitement sur les folioles âgées traitées au DEV1502 (WMW p-value = 0,002285) tandis qu'elle augmente légèrement sur celles traitées au FLORAMITE. Dans cet essai, il y aurait donc un effet du DEV1502 sur les acariens phytoséides des folioles âgées couplé à une réduction de la population de proies. Mais l'effet du produit est moins significatif d'après les modèles. D'autre part, on peut penser que les acariens tétranyques préfèrent les folioles âgées car ils se développent mieux en général avec une faible humidité, donc sur des feuilles qui transpirent moins et qui ont tendance à sécher. Dans la modalité DEV1502, La chute de leur population après le premier traitement est supérieure sur les folioles âgées (73,6 contre 51,3%) et pourrait donc mieux expliquer la disparition des prédateurs que l'effet du produit. De même, on peut être amené à penser que l'impact du produit devrait s'observer plutôt sur les feuilles jeunes, qui sont plus exposées à la pulvérisation par rapport à des feuilles âgées qui, en position basse, sont facilement recouvertes par d'autres feuilles.

Bien qu'il aurait été intéressant de le faire, les espèces de phytoséides n'ont pas été différenciées dans les comptages du fait de la forte densité de population et des difficultés à les identifier à tous les stades. Toutefois, mes observations personnelles permettent de dire que les individus encore présents sur les folioles 15 jours

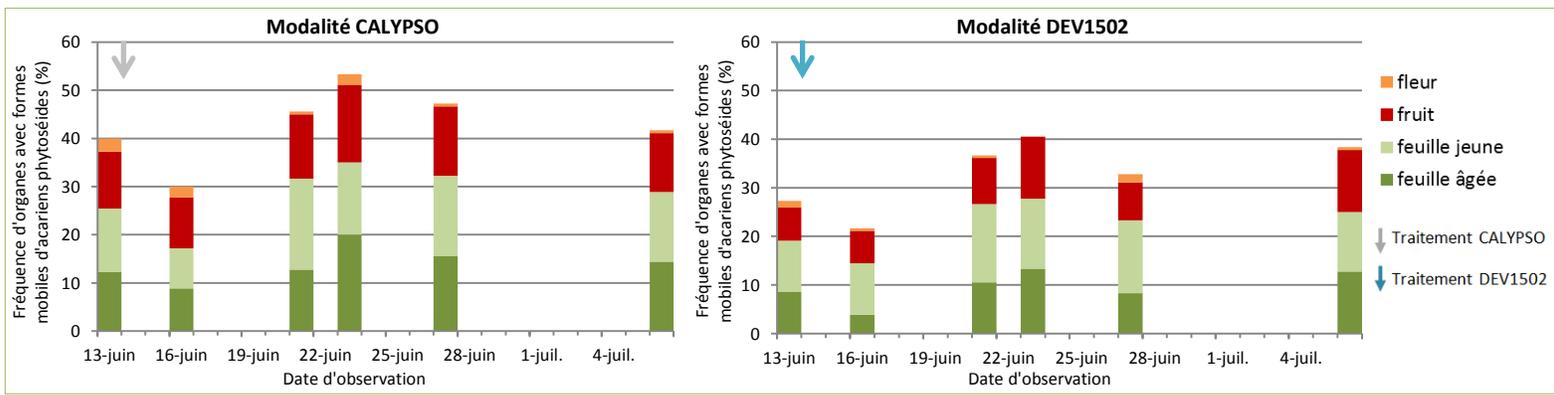


Figure 32 Evolution de la fréquence d'organes présentant des acariformes phytoséides dans chaque modalité du site 4

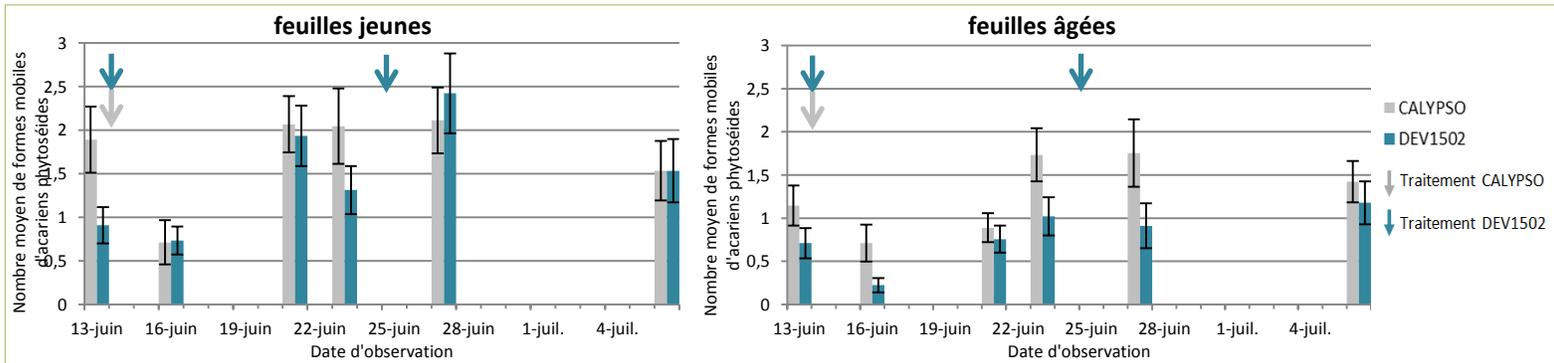


Figure 33 Evolution du nombre moyen de formes mobiles d'acariformes phytoséides sur les feuilles comparée entre modalités du site 4

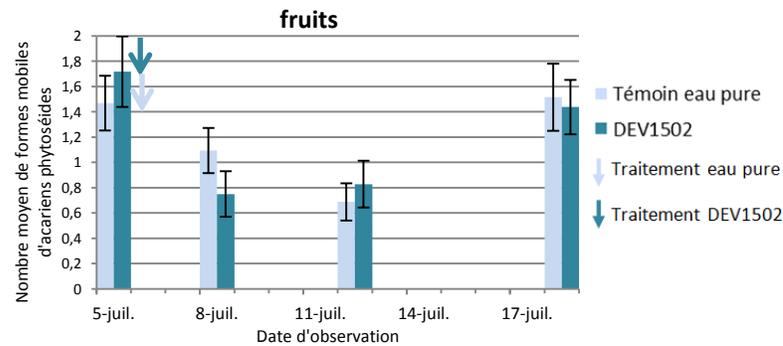


Figure 34 Evolution du nombre moyen de formes mobiles d'acariformes phytoséides sur les fruits comparée entre modalités du site 5

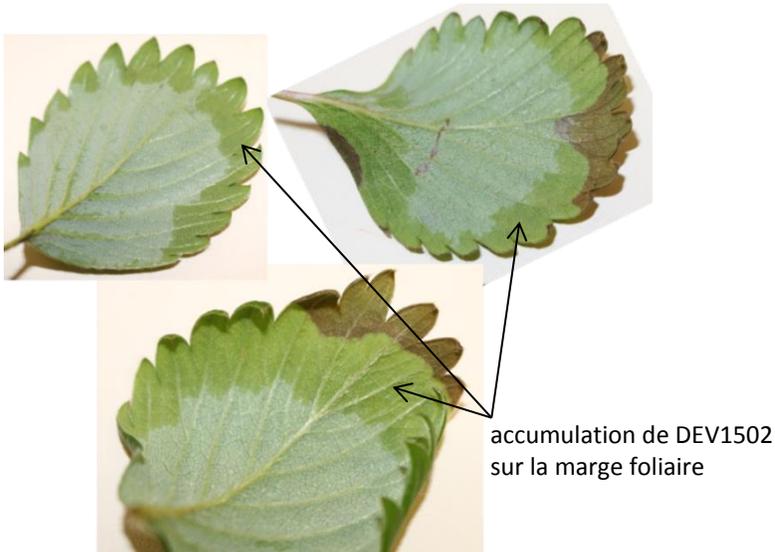


Figure 36 Phytotoxicité du DEV1502 observée après une application à 25L/ha

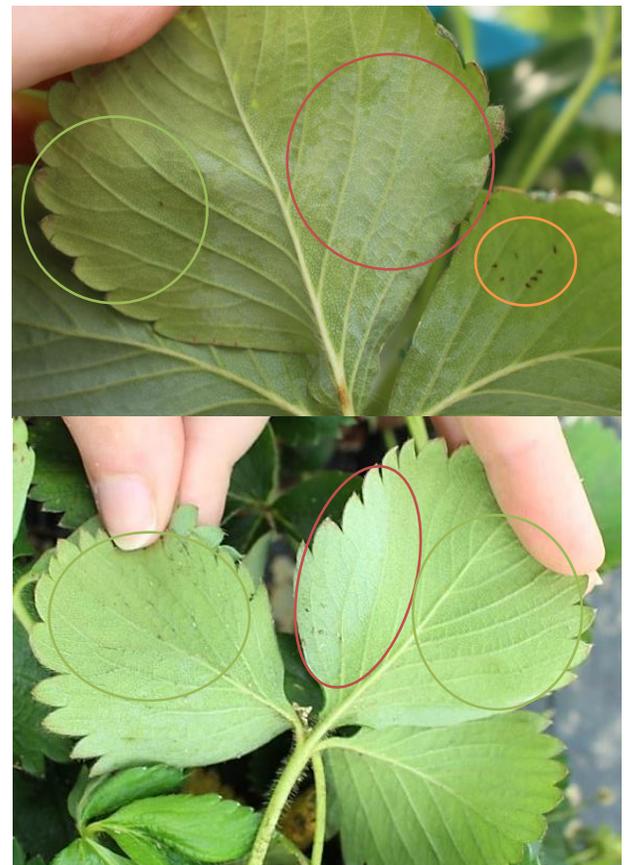


Figure 35 Trace du traitement DEV1502 observée sur les feuilles

En vert : zone couverte par l'huile (vert foncé)

En rouge : zone non couverte car recouverte par une foliole latérale (vert clair)

En orange : pucerons morts par asphyxie sur une zone couverte

après le traitement ne sont pas des *Phytoseiulus persimilis*, dont les adultes se reconnaissent plus facilement avec leur couleur orangée. Cela paraît cohérent étant donné que cette espèce est la plus vulnérable face à une application de FLORAMITE. De plus, *P. persimilis* est beaucoup plus dépendant de sa proie que les espèces du genre *Amblyseius* qui peuvent se nourrir de pollen par exemple lorsque leur proie est absente.

Sur les autres sites, l'étude s'est concentrée sur l'effet du DEV1502 sur *A. swirskii*. Prédateur de thrips et d'aleurodes, cet acarien est apporté dans la culture de manière préventive et se retrouve généralement sous le calice des fruits ou dans les fleurs, où il recherche ses proies. Lorsque *A. swirskii* s'est bien installé dans la culture, on peut également l'observer dans les nervures des feuilles. A cet endroit, on peut supposer qu'il est plus sujet aux effets non-intentionnels de l'application d'un produit tel que le DEV1502.

La figure 32 montre les résultats des observations sur le site 4, où le DEV1502 a été comparé à l'insecticide CALYPSO. On voit qu'avant traitement, la population est plus faible dans la modalité DEV1502, notamment sur les fruits où la différence est significative (WMW p-value = 0,02352). Mais de manière générale, les 2 modalités suivent la même dynamique de population. 3 jours après les 2 traitements, la population d'acariens prédateurs diminue légèrement sur tous les organes dans les 2 modalités. Cette baisse n'est significative que sur les feuilles âgées traitées au DEV1502 qui perdent presque 70% de la population initiale (WMW p-value = 0,02612), et sur les feuilles jeunes traitées au CALYPSO où la perte est de 62% (WMW p-value = 0,01624) (figure 33). Et 8 jours après traitement, sur ces mêmes feuilles, le nombre de prédateurs augmente de manière significative jusqu'à dépasser la moyenne initiale avant traitement (WMW p-value = 0,004064 (DEV1502 feuilles âgées) ; $3,003 \cdot 10^{-5}$ (CALYPSO feuilles jeunes)). De plus, le deuxième traitement au DEV1502 ne semble pas avoir d'influence sur la population de phytoséides, en particulier sur les feuilles jeunes où on observe à nouveau une augmentation. Sur les fruits, la population de phytoséides semble évoluer de la même façon, malgré une différence significative entre les 2 modalités avant traitement (WMW p-value = 0,02352).

Il en est de même sur le site 5, où la population de phytoséides sur les fruits semble suivre la même dynamique dans la modalité traitée et le témoin (figure 34). On observe une légère diminution 3 jours après le traitement, qui est significative dans la modalité DEV1502 (WMW p-value = 0,001733), mais le nombre d'acariens remonte à sa valeur initiale après 13 jours. On pourrait supposer que le traitement a eu un effet mécanique sur les acariens observés sur fruits puisque le témoin a été traité à l'eau.

Les dynamiques de population peuvent aussi bien s'expliquer par un effet aléatoire des observations. Ces acariens étant très mobiles sur la plante, on peut en effet se dire que le hasard du choix des feuilles et des fruits a fait qu'ils n'ont pas été repérés au moment des observations malgré leur présence dans la culture.

IV. Sensibilité du fraisier aux applications de DEV1502

Aucun symptôme de phytotoxicité n'a été observé pendant les essais présentés. L'effet du traitement a pu s'observer sur les sites 1 et 2 par une couverture brillante sur la face supérieure des feuilles. Parfois, cette trace de l'huile paraffinique s'observait également sur la face inférieure (figure 35). Les résultats des essais indiquent donc une bonne sélectivité du produit sur sa cible, à la dose testée de 15L/ha et dans ces conditions expérimentales. En revanche, sur un site non présenté dans ce mémoire, j'ai observé des brûlures sur la marge de certaines feuilles, avec une trace d'huile trahissant la cause des nécroses foliaires (figure 36). Pour cet essai, il y a eu malentendu sur la dose de produit : le producteur a traité le 16 avril à 25L/ha, soit presque à double-dose et pour une concentration de 2,8%. Le producteur a également précisé que l'endroit choisi pour l'essai était le plus chaud de la serre. Les conditions d'application du produit pourraient donc expliquer l'apparition des brûlures sur les feuilles.

Conclusion et perspectives

Les essais réalisés en conditions de production permettent d'apporter quelques éléments de réponse quant à l'intérêt du produit DEV1502 en culture de fraisier sous-abri.

En comparant les différents sites, on voit que les résultats sont mitigés par rapport à l'efficacité du DEV1502 sur les pucerons. Sur un site où la pression était particulièrement forte, le DEV1502 s'est montré aussi efficace que le PIRIMOR, et même supérieur sur les feuilles. En revanche, comparé au CALYPSO, le produit a montré des difficultés à contenir la population de pucerons malgré la répétition du traitement. Le DEV1502 agit par contact, la couverture de la cible est donc primordiale pour un tel produit. Or elle dépend entre autres de la qualité de la pulvérisation. Pour obtenir une bonne efficacité, il faut s'assurer d'ajuster l'appareil de traitement afin de toucher au maximum le ravageur. Dans le cas des pucerons, une majorité d'espèces colonise le cœur du fraisier, un organe difficilement accessible, ce qui pourrait expliquer l'échec de certains essais. D'autre part, contrairement à un insecticide systémique, le DEV1502 a une faible rémanence, ce qui permet aux individus épargnés par une première application de refonder rapidement de nouvelles colonies, d'autant plus si les conditions climatiques leur sont favorables. Ce produit semble donc plus approprié lorsque les pucerons sont localisés sur les feuilles ou les hampes florales qui sont plus exposées pendant le traitement. De plus, un volume de bouillie supérieur à 1000L/ha est préconisé pour augmenter la couverture du produit sur la culture et favoriser le contact avec le ravageur. Dans ces conditions, le produit pourrait s'avérer être un outil intéressant dans la lutte contre les pucerons en fraise, qui risque de se trouver rapidement dans une impasse technique au vu du nombre limité de produits efficaces compatibles avec la PBI.

L'impact de ce produit sur les acariens phytoséides semble en effet limité selon les essais. Même si les populations sont parfois réduites après traitement, elles semblent se renouveler rapidement après quelques jours, ce qui s'expliquerait par la faible rémanence du produit. Ce produit peut donc être appliqué en culture de fraise sans compromettre la réussite de la PBI contre le thrips et l'acarien tétranyque si les populations d'auxiliaires sont bien installées dans la culture. D'autres essais seraient nécessaires pour évaluer l'effet du produit sur les autres auxiliaires utilisés dans la lutte contre les pucerons. Les objectifs seraient notamment de déterminer les effets du produit sur les œufs et les premiers stades larvaires des chrysopes, sur l'émergence des parasitoïdes à partir de momies de pucerons ayant reçu une application et sur leur capacité à prospecter sur des feuilles traitées. Les stratégies complexes d'apports d'auxiliaires contre les pucerons montrant souvent des résultats insuffisants, l'enjeu de ces essais serait d'apprécier l'intérêt du DEV1502 en tant que solution complémentaire en cas de difficultés à réguler les populations.

Bien que la phytotoxicité du DEV1502 n'ait pas été observée à sa dose homologuée, il conviendrait de surveiller les effets sur la plante à plus long terme. La trace du traitement observée sur les feuilles sur certains sites pose en effet question sur la dégradation du produit, son effet sur la physiologie des feuilles et par conséquent sur le rendement. Dans tous les cas, afin d'éviter une phytotoxicité, il faut insister sur l'importance de respecter les conditions d'application du produit.

Les essais étant réalisés en conditions de production, il serait pertinent de multiplier le nombre d'essais afin de placer le produit dans des contextes de culture différents et ainsi déterminer son meilleur positionnement dans chaque situation. La majorité des essais ayant eu lieu sur des variétés précoces et plutôt en fin de culture, il faudrait également évaluer les résultats d'une application de DEV1502 plus tôt dans la saison, lorsque les premiers foyers de pucerons apparaissent, voire même en pépinière. Il serait également intéressant de conduire des essais sur l'oïdium de la fraise, qui n'a pu être observé dans nos essais. Le DEV1502 pourrait potentiellement permettre de réduire la cadence de traitements fongicides, qui eux aussi peuvent compromettre la réussite de la PBI.

De nouvelles pistes sont donc en perspectives et pourraient permettre d'élargir les possibilités d'utilisation de ce produit de biocontrôle prometteur.

Références bibliographiques

- Agnello A. M. 2002. Petroleum-derived spray oils : chemistry, history, refining and formulation. *Spray oils beyond 2000*, 2-18.
- Bardey A. Thouzeau-Fonseca C. Planhard R. 2013. Protection du fraisier contre le tarsonème : méthodes d'assainissement physique de plants. *Infos CTIFL* **292**, 48-54.
- Beattie G.A.C. Roberts E.A. Rippon L.E. Vanhoff C.L. 1989. Phytotoxicity of petroleum spray oils to Valencia orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, in New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **29**, 273–82.
- Bradley R.H.E. Wood F.A. Wade C.V. 1962. Aphid Transmission of Potato Virus y Inhibited by Oils. *Virology* **18(2)**, 327-329
- Calpouzos L. 1966. Action of oil in the control of plant disease. *Annual review of phytopathology* **4(1)**, 369-386.
- Chapman P.J. Pearce G.W. Avens A.W. 1943. Relation of composition to the efficiency of foliage or summer type petroleum fractions. *Journal of Economic Entomology* **36**, 241–7.
- Chapman P.J. Avens A.W. Pearce G.W. 1944. San Jose scale control experiments. *Journal of Economic Entomology* **37**, 305–6.
- Chapman P.J. 1967. Petroleum oils for the control of orchard pests. *New York State Agricultural Experiment Station Bulletin* **814**, 2/67.
- Childers C.C. 2002. Practical use of horticultural mineral oils in integrated pest and disease management programs and their impact on natural enemies. *Spray oils beyond 2000*, 332-348.
- Cooper L. Nicetic O. Hargreaves J. Watson D. M. Beattie G.A.C. 2002. Control of powdery mildew and two-spotted mite on greenhouse roses with horticultural mineral oil in south-east Queensland. *Spray oils beyond 2000*, 396-401.
- Freeborn S.B. Atsatt R.F. 1918. Effects of petroleum on mosquito larvae. *Journal of Economic Entomology* **11**, 299–307.
- Furness G.O. Maelzer D.A. 1981. The phytotoxicity of narrow distillation range petroleum spraying oils to Valencia orange trees in South Australia. Part I: The influence of distillation temperature and spray timing on yield and alternate cropping. *Pesticide Science* **12**, 593–602.
- Havelka J. 1980. Effect of temperature on the developmental rate of preimaginal stages of *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera, Cecidomyiidae). *Entomologia experimentalis et applicata* **27(1)**, 83-90.
- Hodgkinson M.C. Johnson D. Smith G. 2002. Causes of phytotoxicity induced by petroleum-derived spray oil. *Spray oils beyond 2000*, 170-178.
- Hoskins W.M. 1943. Recent contributions of insect physiology to insect toxicology and control. *Hilgardia* **13**, 307–86.
- Jacques D.F. Kuhlmann B. 2002. ExxonMobil experience with horticultural mineral oil. *Spray oils beyond 2000*, 39-51.
- Knight H. Chamberlin J.C. Samuels C.D. 1929. On some limiting factors in the use of saturated petroleum oils as insecticides. *Plant Physiology* **4**, 299–320.
- Kuhlmann B. Jacques D.F. 2002. Classifications, standards and nomenclature—mineral oils, agricultural mineral oils and horticultural mineral oils. *Spray oils beyond 2000*, 29-38.
- McWorther F.P. 1927. Fungicidal value of oil sprays. *Phytopathology* **17**, 201-202.

- Nicetic O. Watson D.M. Beattie G.A.C. Zheng J.H. 2002. A horticultural mineral oil-based program for control of two-spotted mite and powdery mildew on roses in greenhouses. *Spray oils beyond 2000*, 387-395.
- Nguyen V.C. Nguyen V. L. Pham V. L. 2002. Development of petroleum-derived spray oil and natural-enemy-based integrated pest and disease management programs for citrus in northern Vietnam. *Spray oils beyond 2000*, 362-368.
- Northover J. Schneider K. E. 1996. Physical modes of action of petroleum and plant oils on powdery and downy mildews of grapevines. *Plant Disease* **80(5)**, 544-550.
- Pearce G.W. Chapman P.J. 1952. Insecticidal efficacy of petroleum fractions and synthetic isoparaffins. *Advances in Chemistry Series* **7**, 12–24.
- Peters D. Lebbink G. 1975. Inhibitory Action of Mineral-Oil on Number of Local Lesions on Nicotiana-Glutinosa I Leaves Inoculated with Tobacco Mosaic-Virus. *Virology* **65**, 574-8
- Ping L. Yongfan P. 2002. Citrus pests in China and their sustainable management. *Spray oils beyond 2000*, 369-371
- Riehl L.A. Jeppson L.R. 1953. Narrow-cut petroleum fractions of naphthenic and paraffinic composition for control of citrus red mite and citrus bud mite. *Journal of Economic Entomology* **46**, 1014–20
- Riehl L.A. 1981. Fundamental consideration and current development in the production and use of petroleum oils. *Proceedings of the International Society for Citriculture, Japan, 1981* 2: 601–7.
- Schoonees J. Giliomee J.H. 1982. The residual toxicity of fieldweathered thripicide and spray oil residues on citrus leaves to *Aphytis* sp, a parasitoid of the citrus red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask). *Journal of the Entomological Society of Southern Africa* **42**, 275–81.
- Shafer G.D. 1911. How contact insecticides kill; I: On the effects of certain gasses and insecticides upon the activity and respiration of insects. *Michigan Agricultural Experiment Station Technical Bulletin* **11**.
- Smith D. 1985. Integrated pest management in Queensland citrus. *Queensland Agricultural Journal* **111**, 249–59.
- Smith R.H. 1932. The tank-mixture method of using oil spray. *California Agricultural Experimental Station Bulletin* **527**.
- Stansly P.A. Liu T.X. Schuster D.J. 2002. Effects of horticultural mineral oils on a polyphagous whitefly, its plant hosts and its natural enemies. *Spray oils beyond 2000*, 120-133.
- Tang M.L. Chen C. X. Xie S.T. Zhang Z.H. Yang Q.Y. 2002. Demonstration of horticultural mineral oil-based citrus IPM programs in China. *Spray oils beyond 2000*, 372-378.
- Thwaite G. Eslick M.A. Nicol H.I. 2002. Evaluation of petroleum-derived spray oils for integrated pest and disease management in apple orchards. *Spray oils beyond 2000*, 349-355.
- Tjallingii W.F. 1978. Electronic Recording of Penetration Behaviour by Aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **24**, 721-730
- van Buskirk P. Hilton R. Reidl R. 2002. Use of horticultural mineral oil for suppression of codling moth and secondary arthropod pests in an area wide mating disruption program. *Spray oils beyond*, 356-361.
- Vanderveken J. 1977. Oils and other inhibitors of nonpersistent virus transmission. *Aphids as virus vectors*. 435-54
- van Overbeek J. Blondeau R. 1954. Mode of action of phytotoxic oils. *Weeds* **3**, 55–65.
- Wilson J.D. 1961. Oils reduce sporulation of Septoria on celery. *Plant Dis. Rep.* **45**, 282-285.
- Zalom F.G. Walsh D.B. 2002. Petroleum-derived spray oils : a useful tactic in California IPM systems. *Spray oils beyond 2000*, 379-386.

Ouvrages

- Barritt B.H. 1980. Breeding strawberries for resistance to insects and mites. In: Childers NF, ed. The Strawberry Cultivars to Marketing. Gainesville, Florida, USA: Horticultural Publications. 201–13.
- Beattie G.A.C. Herron G.A. Cliff A.D. Tesoriero L. Stovold G. Barchia I. Rajakulendran V. Watson D.M. Jiang L. Singh P. Kallianpur A.S. Nicetic O. Parkes R. Thwaite W.G. Gogala K. Eslick M. Nicol H. Furness G.O. 1997. Evaluation of petroleum spray oils. Final report, Horticultural Research and Development Corporation Project HG/93/019. Canberra: HDRC.
- Childers C.C. Easterbrook M.A. Solomon M.G. 1996. Chemical control of eriophyoid mites. In: Lindquist EE, Sabelis M.W. Bruin J. eds. Eriophyoid Mites. World Crop Pests vol 6. Amsterdam: Elsevier. 695–717.
- Childers C.C. 2001. Integrated mite and disease control on Florida citrus. International Society of Citriculture Congress, 3–7 December 2000, Orlando, Florida, USA.
- Malais M.H. Ravensberg W.J. 2006. Connaître et reconnaître, la biologie des ravageurs des serres et de leurs ennemis naturels. Koppert B.V., Reed Business, 290 p.
- Shepard H.H. 1939. Chemistry and toxicity of insecticides. Minneapolis, Minnesota, USA: Burgess Publishing Co. 198–213.

Autres références

- AFPP. 2012. CEB Méthode n°217 : Méthode d'étude de l'efficacité au champ des préparations acaricides destinées à lutter contre les acariens en cultures maraîchères.
- Ginez A. 2013. Protection Biologique du fraisier sous abri. Fiche Ressource APREL-GRAB décembre 2013. Collection 2 Protection Biologique Intégrée, Document 2C.
- Izard D. 2015. Protection de la fraise serre et plein champ : recommandations 2016. Fiche APREL-SEFRA.
- Philip C. 2015. La PBI en culture de fraise : rétrospective, état de la situation dans le Sud-Ouest de la France, et pistes d'amélioration possibles. Rapport de Licence Professionnelle Agriculture Raisonnée et Certification Environnementale.
- Trottin-Caudal Y. Trouve C. 2005. Clef simplifiée de détermination des principales espèces de pucerons sur fraisier. *Bulletin d'information de la Chambre d'Agriculture de Dordogne, d'Hortis-Aquitaine et du BGSO*.
- Trottin Y. Leyre J. Turquet M. 2014. Les pucerons en culture de fraisier sous abri. Fiche CTIFL Collection *Le point sur les maladies et ravageurs* 4, janvier 2014.
- Vignaud A. 2008. Amélioration des stratégies de Protection Biologique Intégrée contre les pucerons en culture de fraise au moyen de *Chrysoperla carnea*. Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome ENSAT.

Contacts

- Broquier G. Technico-commerciale Koppert France Sud-Est. Communications personnelles du 2 septembre 2016.
- Isnel C. Technico-commerciale Koppert France Sud-Ouest. Communications personnelles du 24 août 2016.

Sitographie :

- Koppert France, Guide des effets secondaires 2015. www.koppert.fr/effets-secondaires
- ENDURE (European Network for the DURable Exploitation of crop protection strategies) www.endure-network.eu
- FOODWATCH www.foodwatch.org
- La France Agricole <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/consommation-la-fraise-est-le-fruit-prefere-des-francais-sondage-1,0,89315379.html>
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). OSHA Instruction TED 1.15 CH-1. Washington, DC: OSHA, US Department of Labor. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail du BIT, Partie XII. Industries chimiques et parachimiques, Chapitre 78 Le raffinage du pétrole. www.ilocis.org/fr/documents/ilo078.htm

Liste des Annexes

Annexe 1 : Coût des traitements phytosanitaires homologués en fraise	I
Annexe 2 : Message phyto fraise Mars 2016.....	II
Annexe 3 : Liste des produits de biocontrôle à base de substances naturelles	III
Annexe 4 : Extrait de la décision relative à la demande de permis d'expérimentation du DEV1502	IV
Annexe 5 : Clé simplifiée d'identification des pucerons du fraisier	VI
Annexe 6 : Echelle de notation oïdium de la fraise	VII
Annexe 7 : Fiche mode d'emploi Pulvé-test	VIII
Annexe 8 : Données climatiques des sites d'essai.....	IX

Annexe 1 : Coût des traitements phytosanitaires homologués en fraise (Isnel 2016)

	Nom du produit	Coût HT (en €)	Conditionnement	Prix HT au kg ou L (en €)	Dose homologuée	Coût du traitement à l'hectare	Coût du traitement au m ²	Nombre maximum d'applications autorisées	Coût Max /ha	Coût max /m ²
acariens	FLORAMITE 240 SC	565	1 L	565	0,4	226,00 €	0,02 €	2	452,00 €	0,05 €
	NISSORUN	112	0,5 kg	224	0,5	112,00 €	0,01 €	∞	∞	∞
	VERTIMEC GOLD	88,5	1 L	88,5	1,2	106,20 €	0,01 €	3	318,60 €	0,03 €
thrips	SUCCES 4	237,5	0,5L	475	0,2	95,00 €	0,01 €	2	190,00 €	0,02 €
pucerons	CALYPSO	175,91	1 L	175	0,25	43,75 €	0,00 €	2	87,50 €	0,01 €
	PIRIMOR G	61,32	1 kg	61	0,75	45,75 €	0,00 €	2	91,50 €	0,01 €
	DECIS PROTECH	21	1 L	21	0,83	17,43 €	0,00 €	3	52,29 €	0,01 €
	KARATE ZEON	103	1 L	103	0,125	12,88 €	0,00 €	2	25,75 €	0,00 €
aleurodes	ADMIRAL PRO	79	1 L	79	0,25	19,75 €	0,00 €	2	39,50 €	0,00 €
Oïdium/Botrytis	LUNA SENSATION	204	1L	204	0,8	163,20 €	0,02 €	2	326,40 €	0,03 €
	ROVRAL 750 wg	80,41	1 kg	80	1,33	106,40 €	0,01 €	4	425,60 €	0,04 €
	SIGNUM (dose Botrytis)	64,5	1 kg	64	1,8	115,20 €	0,01 €	1	115,20 €	0,01 €
	SIGNUM (dose oïdium)	64	1 kg	64	0,6	38,40 €	0,00 €	2	76,80 €	0,01 €
	SYSTHANE NEW	14	3 L	4,6	1,33	6,12 €	0,00 €	3	18,35 €	0,00 €



Message phyto fraise n° 2016-03 Mars 2016

CALYPSO est à utiliser seul

Concernant l'insecticide CALYPSO, autorisé en traitement des parties aériennes contre les pucerons du fraisier, nous apportons les précisions suivantes :

Vu les mentions de danger de CALYPSO :

- H302 - Nocif en cas d'ingestion.
- H317 - Peut provoquer une allergie cutanée.
- H332 - Nocif par inhalation.
- H351 - Susceptible de provoquer le cancer.
- H336 - Peut provoquer somnolence et des vertiges.
- H360FD - Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au fœtus.
- H410 - Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.



Danger

En conséquence,

- **CALYPSO doit être utilisé seul** (pas de mélange),
- Vu que c'est un produit CMR2 (Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique), sa substitution est une obligation réglementaire quand elle est techniquement possible.

Décret n°2008-244 du 7 mars 2008-art.(V)

Lorsque l'utilisation d'un agent cancérogène, mutagène ou toxique pour la reproduction est susceptible de conduire à une exposition, l'employeur réduit l'utilisation de cet agent sur le lieu de travail, notamment en le remplaçant, dans la mesure où cela est techniquement possible, par une substance, une préparation ou un procédé qui, dans ses conditions d'emploi, n'est pas ou est moins dangereux pour la santé ou la sécurité des travailleurs. L'employeur consigne le résultat de ses investigations dans le document unique d'évaluation des risques.

Avant toute utilisation d'un produit phytosanitaire, lire attentivement l'étiquette et respecter strictement les usages, doses, conditions et précautions d'emploi.

Rédaction : Daniel Izard (CA 84-APREL) et Jean-Jacques Pommier (INVENIO).
Diffusion : Caroline Granado (AOPn Fraises de France).
Renseignements complémentaires : daniel.izard@vauchuse.chambagri.fr

Annexe 3 : Liste des produits de biocontrôle à base de substances naturelles (Phytoma n°695 – Juin Juillet 2016)

Catégorie de produits	Principe actif/spécialité(s) commerciale(s) (source : notes DGAL des 31 mars, 20 mai et 30 mai 2016)	Point/liste dite 2015 dite « Nodu vert 2014 »	Autres faits à noter
Insecticide	<ul style="list-style-type: none"> Huile de colza/Naturen Eradibug, Naturen Eradigun (+ huile végétale insecticide RP), Naturen EV et Naturen J, retirés depuis) Huile de vaseline (= de paraffine)/Acakill, Alphasis EV, Euphytane Gold (= Oviphyt), Finavestan ema, Hiversain, L'avy (= Vazy-Y), Oliplan, Spasis, Storming Huile minérale paraffinique/Anticochenille Nova, Catane, Citrole (sur e-phy pas ephy), Insectes d'hiver, Ovipron plus et Ovispray Kaolin/Argi Jardin (= Fructifia), Argi Nature (= Argical pro), Baikal WP (= Sokalciarbo WP) et Surround WP Crop protectant <ul style="list-style-type: none"> Spinosa/Syneis Appat (+ Extrait de pyrèthres /Pirigrain Bio, produit non destiné aux Jevi et retiré de la vente le 30/04/2016) 	<ul style="list-style-type: none"> Tous les produits à base d'huile de colza, huile de vaseline, huile minérale paraffinique et kaolin cités ici étaient déjà Nodu vert Syneis appât est nouveau/liste Nodu vert 	<ul style="list-style-type: none"> Naturen Eradibug, Naturen Eradigun, Alphasis EV, Hiversain, Spasis et Storming ainsi que tous les produits à base d'huile minérale paraffinique sont EAJ Acakil, Euphytane Gold (= Oviphyt) et Oliplan, produits « pro », sont utilisables en Jevi (traitements d'hiver) Argi Jardin (=Fructifia) est EAJ ; les autres produits à base de kaolin sont « pro » et utilisables en Jevi (sur arbres fruitiers) Syneis appât est « pro » et utilisable en Jevi (sur agrumes et olivier)
Anti-limaces	<ul style="list-style-type: none"> Phosphate ferrique/Baboox (= Sluux HP), Ferramol (= Neu 1165 M), Ferrimax, Ironmax, Ironmax Pro (= Musica), Lim'Agro, Naturen Limes (ni sur e-phy ni ephy), Neu 1186 M (= Ferramol Utra et Ferramol Ultima) 	<ul style="list-style-type: none"> Ferrimax, Ironmax, Ironmax Pro (= Musica) et Neu 1186 M (= Ferramol Utra et Ferramol Ultima) sont nouveaux/liste Nodu vert 	<ul style="list-style-type: none"> Ferramol (=Neu 1165 M), Ferrimax, Ironmax, Lim'agro et Neu 1186 M (= Ferramol Utra et Ferramol Ultima) sont EAJ Baboox (= Sluux HP) et Ironmax Pro (= Musica) sont « pro » mais utilisables en Jevi
Répulsif (contre des ravageurs)	<ul style="list-style-type: none"> Composition complexe/FCH 60 L <ul style="list-style-type: none"> Farine de sang/Certasol Graisse de mouton/Trico Huile de poisson/Stop Gibier Plus (+ Huile minérale paraffinique + huile de poisson/Retro Répulsif Gibier, Stop Gibier TN, retirés depuis) 	<ul style="list-style-type: none"> Tous ces produits étaient déjà Nodu vert 	<ul style="list-style-type: none"> Produits « pro » mais utilisables en Jevi
Fongicide « classique »	<ul style="list-style-type: none"> Bicarbonate de potassium/Armicarb (=APC-09CD), Armicarb Jardin (= APC-10CD), K-bloc (sur e-phy mais pas ephy) <ul style="list-style-type: none"> Soufre/Sulpec Soufre micronisé/45 spécialités <ul style="list-style-type: none"> Soufre sublimé/Fluidosoufre et ses identiques Soufre trituré/Afesoufre ventilé, Oïdiol poudrage, Ponrouch, Sofluid DP et Vitisoufre Soufre trituré ventilé (Afeilor poudre, Afefluid ventilé super, Sofluid) 	<ul style="list-style-type: none"> Armicarb, Armicarb Jardin et divers produits à base de soufre étaient déjà Nodu vert Des produits Nodu vert ont été retirés du marché donc sont absents des listes 2016 Arrivée de produits à base de soufre (micronisé ou trituré ventilé) 	<ul style="list-style-type: none"> Armicarb Jardin (= APC-10CD) est EAJ Armicarb (= APC-09CD), produit « pro », est utilisable en Jevi (sur rosier, arbres, cultures florales, vigne, etc.) Certaines spécialités à base de soufre (différentes formes) sont EAJ, d'autres réservées aux professionnels mais utilisables en Jevi (sur rosier, etc.)
SDN anti-fongique	<ul style="list-style-type: none"> FEN 560 (fénu grec)/Stifénia Laminarine/Iodus céréales (= Vacciplant grandes cultures), Iodus 2 cultures spécialisées (= Vacciplant Fruits et Légumes) 	<ul style="list-style-type: none"> Tous ces produits étaient déjà Nodu vert 	<ul style="list-style-type: none"> Produits « pro » Iodus 2 cultures spécialisées (=Vacciplant F et Lég) est utilisable en Jevi ,sur vignes etc.
Herbicide (et/ou anti-mousse)	<ul style="list-style-type: none"> Acide acétique/Naturen express (+ Carré vert désherbant allées, Carré vert désherbant jardin, Naturen allées et Naturen Jardin, retirés depuis) Acide caprylique + acide caprique / Herbiclean Allées, Herbiclean Jardin Acide pélagronique/Beloukha, Devatol (= Finalsan), Finalsan AF, Herbistop, Herbistop Spray (ni sur e-phy ni ephy), Katoun <ul style="list-style-type: none"> Sulfate de fer (34 spécialités) 	<ul style="list-style-type: none"> Arrivée d'Herbistop Spray (pas sur ephy) Les autres produits à base d'acides étaient déjà Nodu vert Arrivée des spécialités à base de sulfate de fer 	<ul style="list-style-type: none"> Naturen Express est EAJ Herbiclean Allées et Herbiclean Jardin sont EAJ Devatol (= Finalsan) et Katoun sont « pro » et utilisables en Jevi <ul style="list-style-type: none"> Finalsan AF et Herbistop sont EAJ Des produits à base de sulfate de fer sont EAJ, d'autres « pro » sont utilisables en Jevi
Régulateur de croissance	<ul style="list-style-type: none"> 6-benzyladéine/Clairci, Cylex, Exilis, Gibbalin, Globaryll 100, Klaro, Maxcel, Pertan et Promalin Acide giberellique/Berelex 40SG, Ceku-Gib (+Agri-Gib, Berelex, Gibb 3 et Progigg, retirés aujourd'hui) Huile de menthe verte/Biox-M 	<ul style="list-style-type: none"> Arrivée des spécialités à base de 6-benzyladéine Arrivée de Ceku-Gib... <ul style="list-style-type: none"> ...et de Biox M 	<ul style="list-style-type: none"> Produits tous « pro » (ceux sur pommier, et autres arbres fruitiers sont utilisables en Jevi)
Antigel	<ul style="list-style-type: none"> Heptamaloxylolucan/PEL 101 GV 	<ul style="list-style-type: none"> Déjà Nodu vert 	<ul style="list-style-type: none"> Produit « pro » pour vigne (y compris en Jevi)

Annexe 4 : Extrait de la décision relative à la demande de permis d'expérimentation du DEV1502 (ANSES 2016)

Informations générales sur le produit	
Nom du produit	DEV1502
Type de produit	Produit d'essai
Titulaire	TOTAL FLUIDES SAS 24 Cours Michelet - La Défense 10 92069 Paris La Défense - Cedex FRANCE
Formulation	Concentré émulsionnable (EC)
Contenant	800 g/L - huile minérale paraffinique
Numéro de permis d'expérimentation	450-2016
Fonction	Insecticide, acaricide, fongicide
Gamme d'usages	Professionnel

Classification du produit	
La classification retenue est la suivante :	
Catégorie de danger	Mention de danger
Toxicité par aspiration, catégorie 1	H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
Sans classement pour l'environnement.	
Pour les phrases P se référer à la réglementation en vigueur.	
Le titulaire de l'autorisation est responsable de la mise à jour de la fiche de données de sécurité et de la classification du produit en tenant compte de ses éventuelles évolutions.	

Liste des usages autorisés

Préparation Phytopharmaceutique (Substance active)	Doses d'emploi	Nombre d'applications maximum	Délai avant récolte (Conclusion DDR)	Usages expérimentés
DEV1502 (huile minérale paraffinique 800 g/L)	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Concombre*traitement des parties aériennes*puçerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Concombre*Traitement des parties aériennes*oidium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Tomate*Traitement des parties aériennes*acariens
	15 L/ha (12000 g/ha)	6	1 jour (DDR acceptée)	Tomate*Traitement des parties aériennes*aleurodes

Préparation Phytopharmaceutique (Substance active)	Doses d'emploi	Nombre d'applications maximum	Délai avant récolte (Conclusion DDR)	Usages expérimentés
DEV1502 (huile minérale paraffinique 800 g/L)	15 L/ha (12000 g/ha)	6	1 jour (DDR acceptée)	Tomate*Traitement des parties aériennes*chenilles phytophages
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Tomate*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Melon*Traitement des parties aériennes*puçerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Melon*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Fraisier*Traitement des parties aériennes*puçerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Fraisier*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Carotte*Traitement des parties aériennes*puçerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Carotte*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	30 L/ha (24000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Pommier*Traitement des parties aériennes*puçerons
	30 L/ha (24000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Pommier*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	30 L/ha (24000 g/ha)	10	1 jour (DDR acceptée)	Pommier*Traitement des parties aériennes*tavelure(s)
	30 L/ha (24000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Pommier*Traitement des parties aériennes*psylles
	15 L/ha (12000 g/ha)	6	1 jour (DDR acceptée)	Choux*Traitement des parties aériennes*aleurodes
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Choux*Traitement des parties aériennes*puçerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Epinard*Traitement des parties aériennes*puçerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Laitue*Traitement des parties aériennes*puçerons

Préparation Phytopharmaceutique (Substance active)	Doses d'emploi	Nombre d'applications maximum	Délai avant récolte (Conclusion DDR)	Usages expérimentés
DEV1502 (huile minérale paraffinique 800 g/L)	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Vigne*Traitement des parties aériennes*cicadelles
	15 L/ha (12000 g/ha)	毎~週1 jour	1 jour (DDR acceptée)	Vigne*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	6	NA (DDR acceptée)	Cultures florales et plantes vertes*Traitement des parties aériennes*aleurodes
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	NA (DDR acceptée)	Cultures florales et plantes vertes*Traitement des parties aériennes*cicadelles
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	NA (DDR acceptée)	Cultures florales et plantes vertes*Traitement des parties aériennes*cochenilles
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	NA (DDR acceptée)	Cultures florales et plantes vertes*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	NA (DDR acceptée)	Cultures florales et plantes vertes*Traitement des parties aériennes*puccerons
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	NA (DDR acceptée)	Cultures florales et plantes vertes*Traitement des parties aériennes*ravageurs divers
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	NA (DDR acceptée)	Rosier*Traitement des parties aériennes*acariens
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	NA (DDR acceptée)	Rosier*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	PPAMC*Traitement des parties aériennes*ravageurs divers
	30 L/ha (24000 g/ha)	4	NA (DDR acceptée)	Arbres et arbustes*Traitement des parties aériennes*puccerons
	30 L/ha (24000 g/ha)	10	NA (DDR acceptée)	Arbres et arbustes*Traitement des parties aériennes*oïdium(s)
	30 L/ha (24000 g/ha)	6	NA (DDR acceptée)	Arbres et arbustes*ravageurs divers
	15 L/ha (12000 g/ha)	10	NA (DDR acceptée)	Gazons de graminées*Traitement de semences*champignons autres que pythiacées
	25 mL/L (20 mL/L)	4	- DDR non demandée	Jardin d'amateur*Traitement des parties aériennes*puccerons

Préparation Phytopharmaceutique (Substance active)	Doses d'emploi	Nombre d'applications maximum	Délai avant récolte (Conclusion DDR)	Usages expérimentés
DEV1502 (huile minérale paraffinique 800 g/L)	25 mL/L (20 mL/L)	10	- DDR non demandée	Jardin d'amateur*Traitement des parties aériennes*fongicide
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Navet*Traitement des parties aériennes*coléoptères phytophages
	15 L/ha (12000 g/ha)	4	1 jour (DDR acceptée)	Asperge*Traitement des parties aériennes*coléoptères phytophages

DDR : Dérogation à l'obligation de Destruction des Récoltes.

NA : Non Applicable.

Conditions d'emploi du produit

Protection de l'opérateur et du travailleur

Porter des gants, des vêtements de protection, ainsi que les EPI appropriés en fonction du type et du classement de la préparation.

Note: Il est de la responsabilité du demandeur d'indiquer avec précision le type d'EPI (équipement de protection individuelle) en fonction des tâches à effectuer, ainsi que leur gestion (utilisation, nettoyage, stockage).

Délai de rentrée

6 heures en plein champ ou 8 heures sous serre, ou port de protections appropriées.

Protection de l'environnement (milieux, faune et flore)

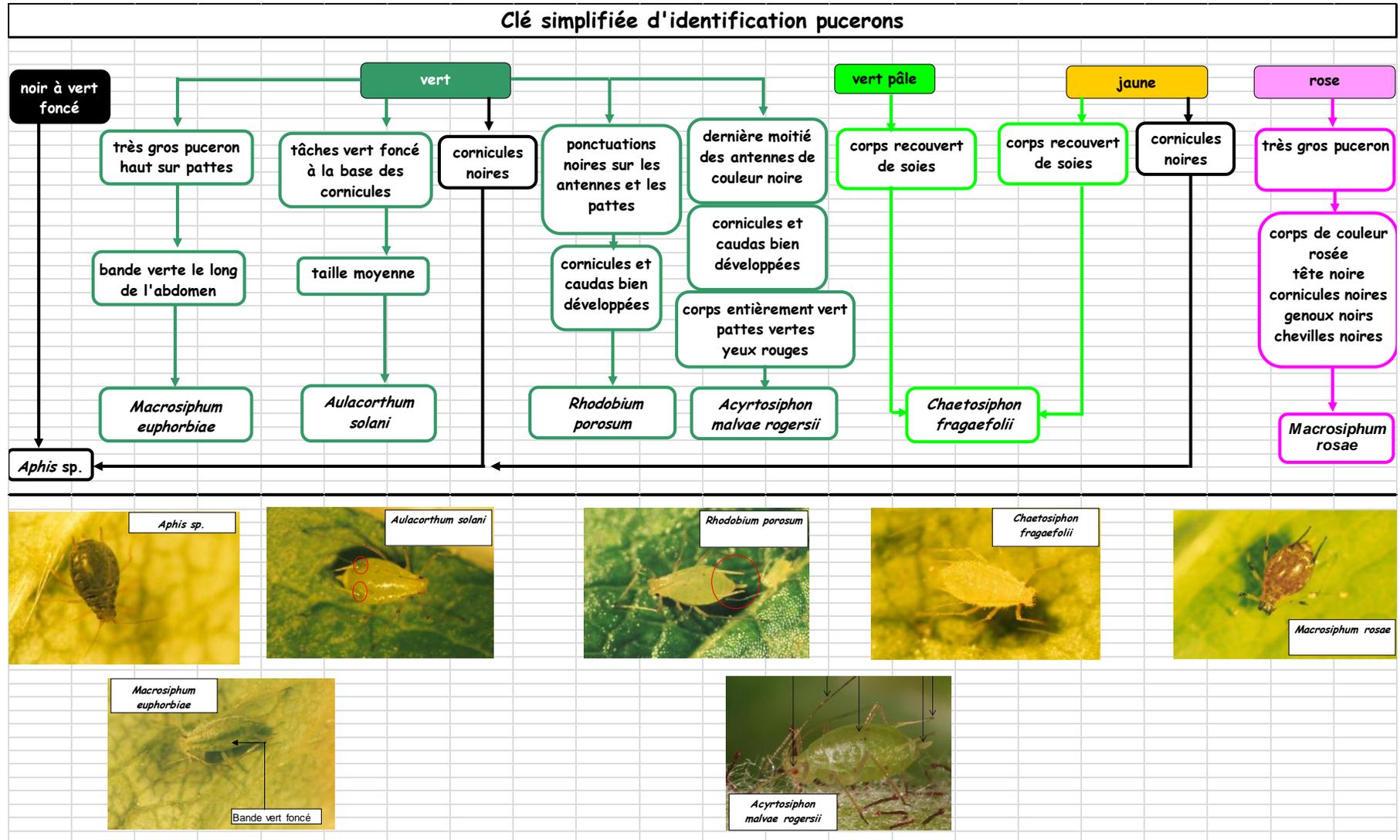
Protection de la faune

En raison de la toxicité de la préparation pour les organismes aquatiques, implanter les parcelles à traiter à plus de 20 mètres des points d'eau pour les usages sur pommier, arbres et arbustes.

En raison de la toxicité de la préparation pour les organismes aquatiques, implanter les parcelles à plus de 5 mètres des points d'eau pour les usages sur asperge, chou, carotte, concombre, cultures florales et plantes vertes, épinard, fraisier, gazons de graminées, laitue, melon, navet, PPAIMC et en jardin d'amateur.

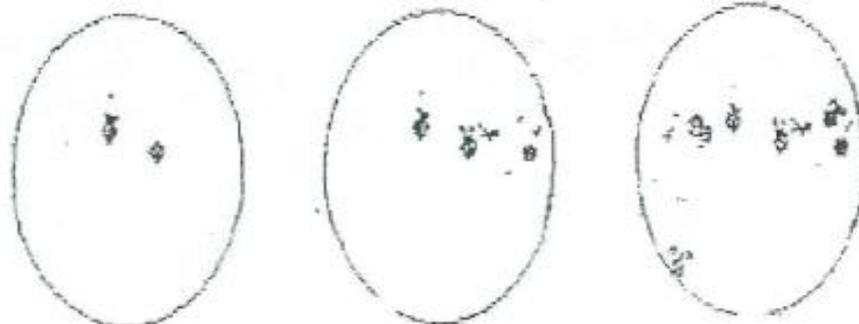
Ne pas traiter en présence d'abeilles ; toutes les précautions devront être prises afin d'éviter la présence d'abeilles dans l'environnement des essais.

Annexe 5 : Clé simplifiée d'identification des pucerons du fraisier (Vignaud 2008)

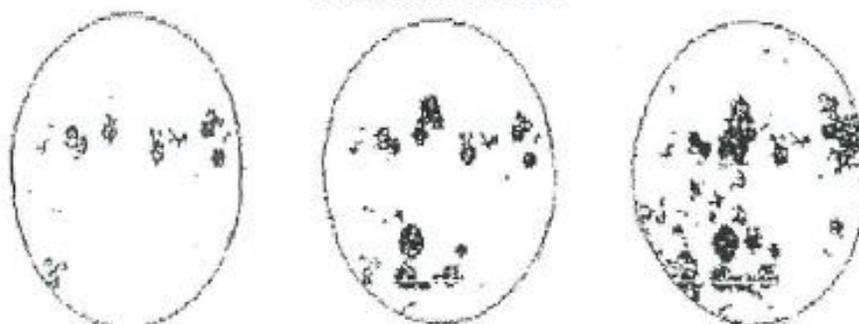


Annexe 6 : Echelle de notation oïdium de la fraise (SRPV Aquitaine)

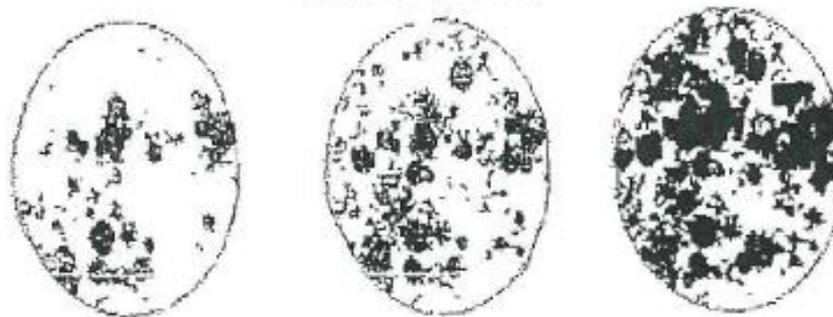
Classe 1 : 1-10%



Classe 2 : 10-25%



Classe 3 : 25-50%



Classe 4 : >50%



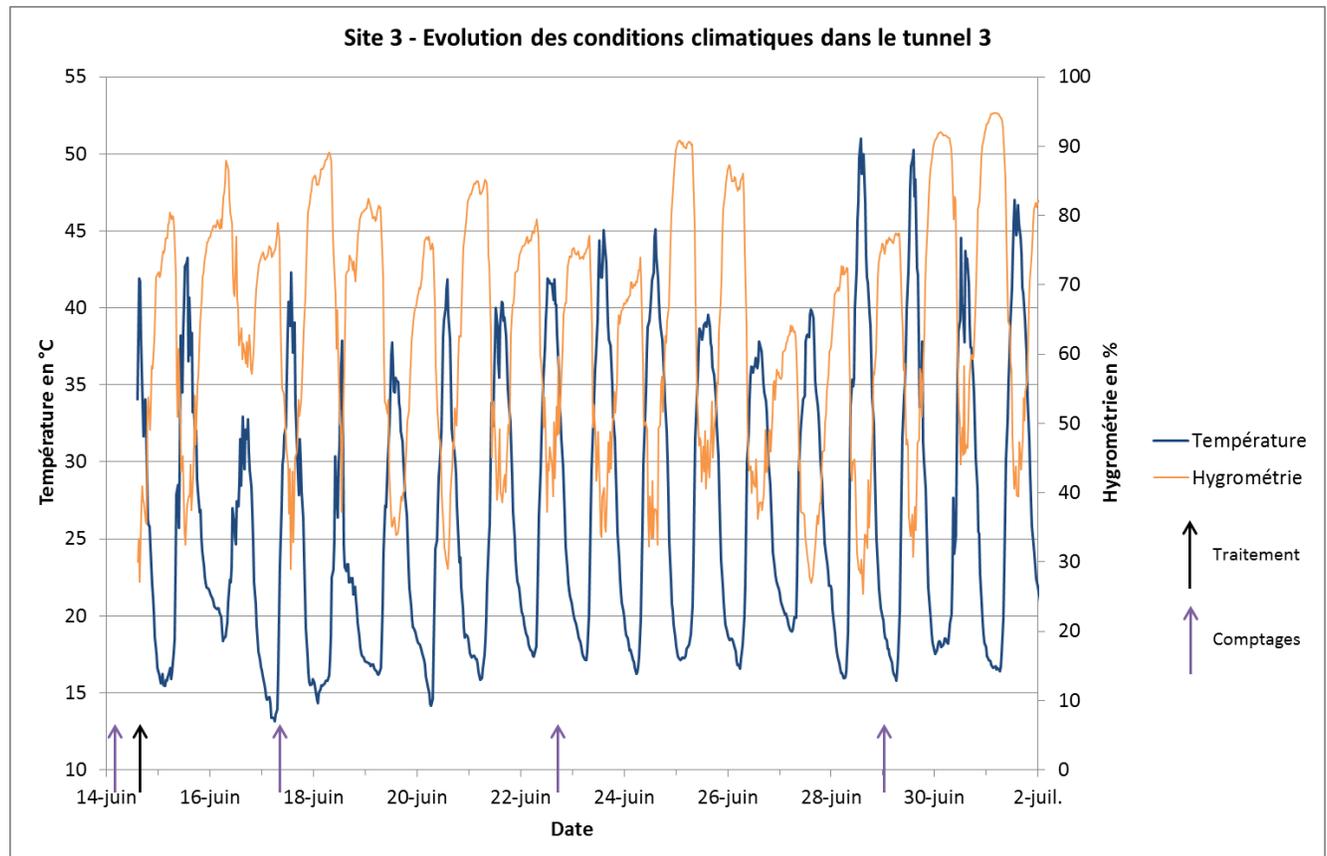
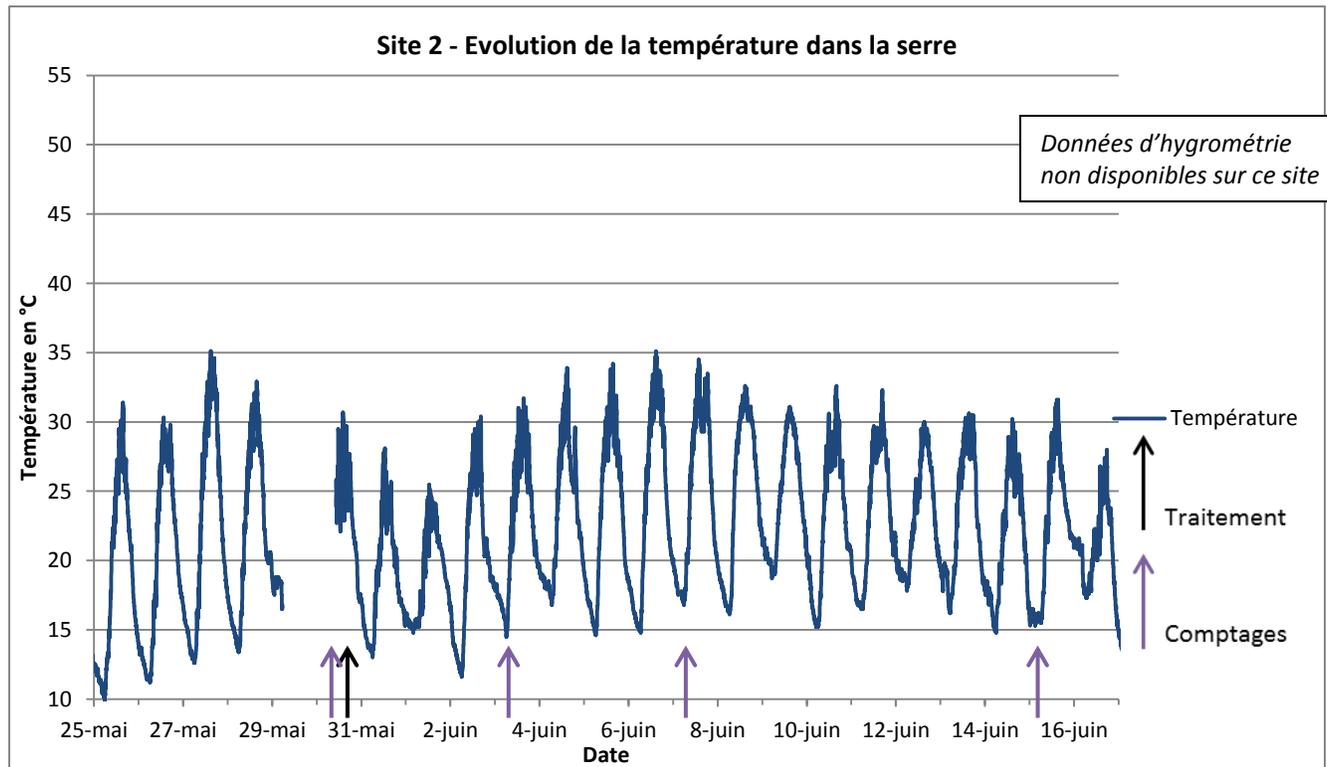
PULVE-TEST (code FR48)

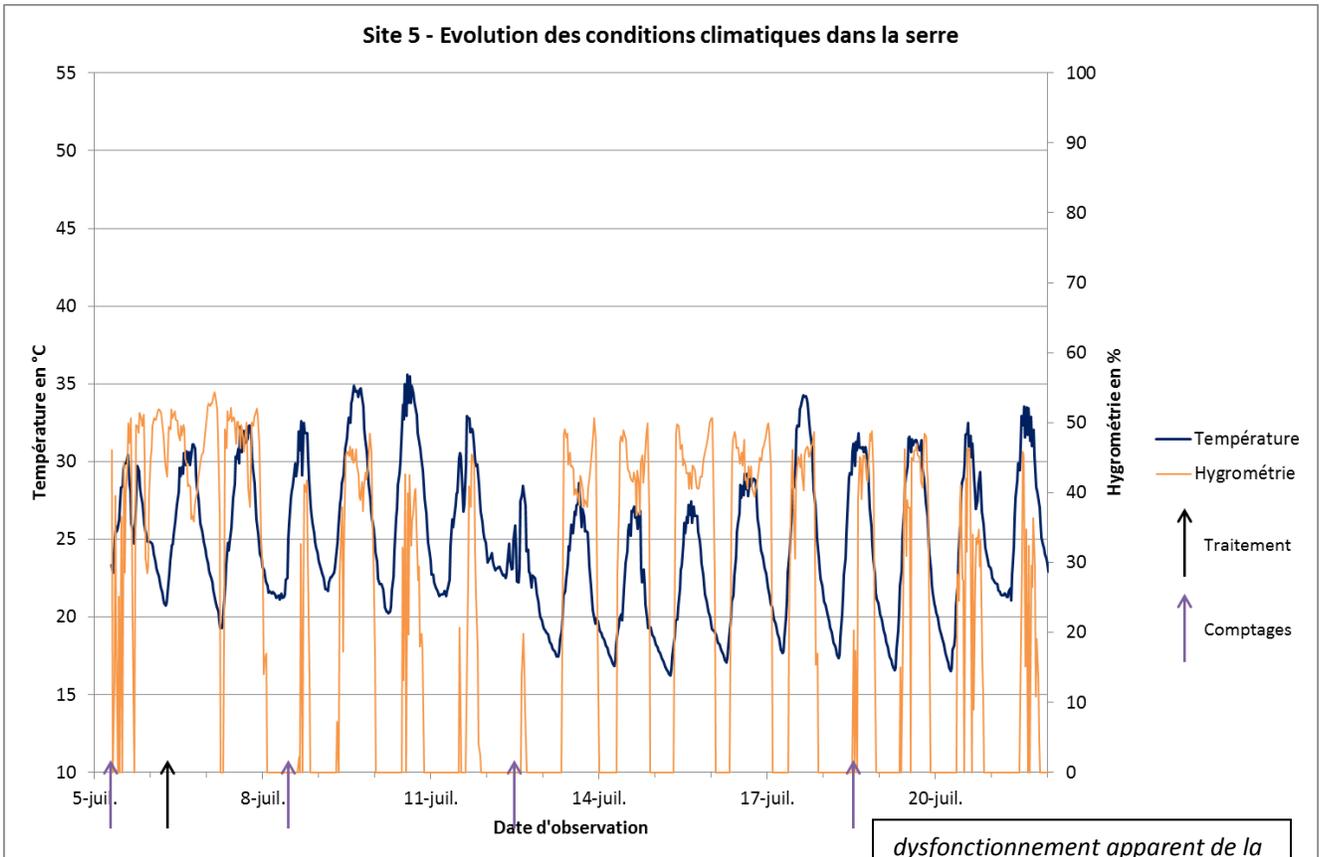
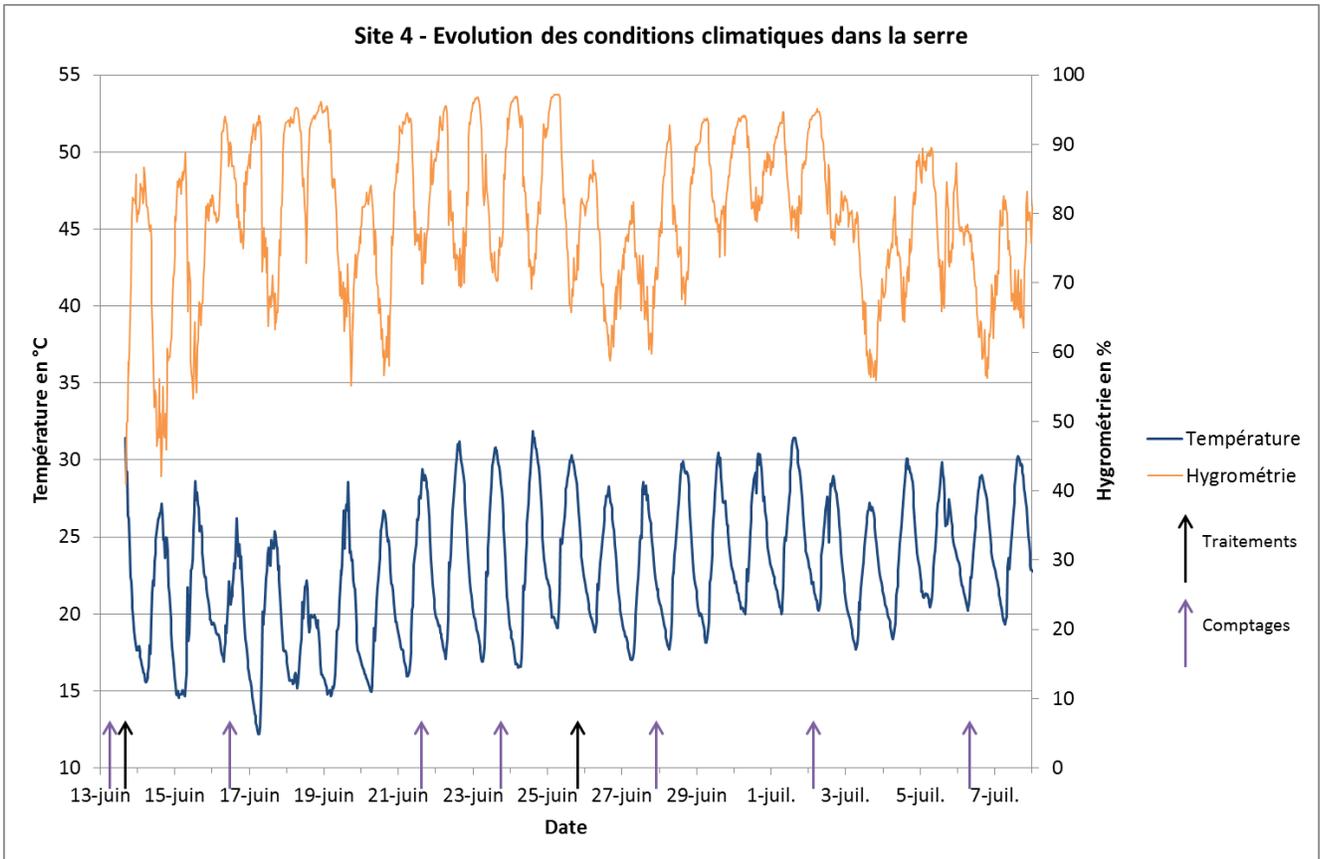
- Produit** Papier hydrosensible pour contrôle de pulvérisation
Boîte hermétique de 50 languettes 78mm*39mm (code FR48)
- Préparation** Manipuler les papiers avec des gants, en tenant le papier sur les cotés ; toute trace d'humidité apparaitra sur le papier.
Avant la pulvérisation, installer au moyen de trombones, des papiers hydrosensibles dans la végétation. Pour les plantes hautes, privilégier 3 niveaux différents (bas, intermédiaire et haut). Dans tous les cas, alterner le positionnement entre des feuilles plus ou moins exposées à la pulvérisation.
Assurer la pulvérisation comme à votre habitude.
Récupérer et laisser sécher les papiers hydrosensibles
- Analyse des résultats** Le mode d'action des produits (systémie, ingestion, contact) détermine le nombre de gouttes optimal par cm². Inversement il ne faut pas que le nombre d'impacts par cm² soit trop élevé pour éviter la coalescence des gouttelettes et donc le ruissellement du produit sur le feuillage. La taille des gouttes détermine le volume d'eau qui en découle.
- Corrections** Pour faire varier la dimension des gouttelettes, on peut agir sur :
- le type de buse (à turbulence, à fente, à miroir)
- la dimension de l'orifice de la buse
- l'angle de jet de pulvérisation
- la pression à la buse
Contacter votre technicien ou votre distributeur qui vous donnera les conseils adaptés à votre situation
- Stockage** Dans son emballage d'origine, hermétiquement fermé. Utilisation conseillée dans l'année
- Remarques** Il convient de procéder au contrôle de la qualité de pulvérisation chaque saison.



Annexe 8 : Données climatiques des sites d'essai (d'après les enregistrements des sondes ou du système de l'exploitant)

données non récupérées sur le site 1 pour cause de dysfonctionnement de la sonde





dysfonctionnement apparent de la sonde hygromètre sur ce site

Résumé

En Europe, les huiles paraffiniques sont encore réservées à des usages insecticides hivernaux en arboriculture du fait de leur réputation historique de causer une phytotoxicité. Les progrès des procédés de raffinage ont cependant permis d'optimiser leur propriétés physico-chimiques pour rendre possible leur application en saison contre un large spectre de ravageurs. Leur faible impact sur les auxiliaires de culture en font une solution intéressante à investir dans des stratégies de protection biologique intégrée (PBI).

Des essais en conditions de production ont donc été menés pour étudier l'intérêt du DEV1502, une huile de paraffine, en culture de fraisier sous-abri, où la PBI montre encore quelques limites. Ils ont permis d'évaluer son efficacité sur les pucerons et son impact sur les phytoséides. Le DEV1502 s'est montré plus efficace que le PIRIMOR sur des pucerons localisés sur feuilles. En revanche il n'a pas permis de contrôler la population dans le cœur des plants en comparaison du CALYPSO, un insecticide systémique. L'efficacité du produit est liée à son mode d'action par contact et nécessite par conséquent une couverture optimale de la cible. Les résultats ont aussi permis de vérifier sa compatibilité avec les phytoséides. D'autres essais sont nécessaires pour affiner la stratégie d'utilisation de ce produit.

Mots-clés : huile minérale, biocontrôle, Protection Biologique Intégrée, fraise, pucerons, *Tetranychus urticae*, phytoséides.

Abstract

Mineral oils insecticidal properties were discovered well before the arrival of synthetic pesticides. Advances in refining processes allowed to improve their use in plant protection. However in Europe these products are still used only for the control of dormant pests in fruit production because they were notoriously known for causing phytotoxicity. But contemporary highly-refined mineral oils are now safer for plants, which makes possible their use in summer against a wide range of pests. Furthermore, they are generally non-disruptive to natural enemies of pests and beneficial arthropods and then, ideal for use in sustainable pest and disease management programs.

Trials have been carried out in 5 different sites of indoor strawberry production in order to understand the potential of a paraffinic oil named DEV1502 for the control of aphids and red mites. Despite the support of a number of biocontrol agents, aphids control still shows some difficulties and growers have a limited number of phytosanitary products which are compatible with Integrated Pest Management. DEV1502 have been compared to two of them : PIRIMOR and CALYPSO. Results show that DEV1502 is more effective than PIRIMOR against aphids located on leaves. In contrast, it didn't allow a good control of aphid populations in the heart of plants when compared to CALYPSO which has systemic action. Results show that DEV1502 effectiveness seems to be closely related to spray conditions because of his mode of action by contact. In a trial on the european red mite *Tetranychus urticae*, DEV1502 appeared to be as effective as a conventional acaricide (FLORAMITE). In addition, DEV1502 did not disrupt predatory mites populations. Besides, DEV1502 did not show phytotoxicity to strawberry at the dose of 15 liters per hectare. Further trials should be carried out to study the effects of DEV1502 on other beneficials and powdery mildew, in order to increase the opportunities of this biopesticide.

Key-words : mineral oil, biopesticide, Integrated Pest Management, strawberry, aphids, *Tetranychus urticae*, predatory mites