

Impact des hyménoptères chasseurs sur les populations de ravageurs en culture extérieure

Projet PHYBI ; action 4

Travaux réalisés de 2019 à 2021



Financeurs :
Conseil régional des Pays de la Loire
Producteurs adhérents

Rédigé par :
Alain Ferre, mai 2021

Référent technique :
Alain Ferre

Impact des hyménoptères chasseurs sur les populations de ravageurs en culture extérieure

Projet – année : PHYBI – années 2019 à 2021.

Résumé :

Les hyménoptères chasseurs sont des insectes dont les adultes chassent des proies qu'ils emmagasinent dans des abris préalablement construit pour nourrir leur progéniture. Il s'agit essentiellement de la famille des Crabronidae. Les proies sont spécifiques des espèces chasseuses. Dans ce projet nous nous intéressons essentiellement aux espèces chasseuses de pucerons ou de cicadelles. Après des recherches bibliographiques, nous avons identifié la sous-famille de Pemphredoninae comme particulièrement intéressante. Ses espèces, notamment les *Pemphredon*, construisent leurs nids dans la moelle des tiges de certaines végétaux comme le sureau, le figuier ou encore la ronce. En 2009, nous avons construit des fagots de tiges de différentes espèces végétales que nous avons placées à divers endroits de la station. Nous avons ensuite relevé régulièrement les tiges forées pour identifier les proies et les hyménoptères chasseurs. En 2019, 134 insectes ont été observés dans les tiges dont 57 hyménoptères chasseurs Crabronidae (43%), 11 parasitoïdes de Crabronidae (8%), 7 prédateurs (araignée et fourmis ; 5%), 15 abeilles solitaires *Ceratina* sp. (11%) et 29 xylophages (22%). Sur 2019 et 2020, la répartition des individus identifiés (26) indique que *Pemphredon lethifer* est majoritaire (15 ; 57,7%) suivi de *P. inornata* (7 ; 26,9%) et de *P. rugifer* (4 ; 15,4%) (les individus récoltés en 2021 sont en cours d'identification). *Pemphredon lethifer* et *P. rugifer* se retrouvent principalement dans des tiges de sureau, *P. inornata* se trouve dans de la ronce. Les parasitoïdes (*Omalus auratus* (Hymenoptera : Chrysidae) et Torymidae) ont émergés surtout de tiges de ronce. Les abeilles solitaires sont principalement retrouvées dans les tiges de sureau. Ces données sont intéressantes car elles nous permettent, en sélectionnant l'espèce végétal, de sélectionner l'espèce de chasseur favorisée tout en évitant si possible les parasitoïdes.

Les proies retrouvées dans les loges de *P. inornata* sont massivement des pucerons du de la tribu des Aphidini (*Aphis gossypii*). Dans les loges de *P. lethifer* ont principalement été trouvé des Macrolophini (*Myzus cerasi*). Les données sont encore faibles, mais les premières estimations indiquent entre 500 et 3000 pucerons par galerie.

Les résultats 2020 et 2021 ont indiqué qu'il pouvait y avoir jusqu'à 3 générations par an avec une période d'activité d'avril-mai à octobre. La période la plus active va de juin à septembre lorsque les températures sont élevées en particulier la nuit (peu d'activité sous 10-15°C la nuit).

Concernant le comportement, les réponses obtenues sont les suivantes :

- Les hyménoptères préfèrent les tiges sectionnées mises en fagot (28 tiges sur des plantes contre 173 sur fagot),
- Les fagots à découvert, en hauteur au-dessus du feuillage sont plus colonisés
- Les premières données indiquent qu'un fagot réduirait la population de puceron dans un rayon d'au moins 3 mètres.

Les travaux vont se poursuivre au sein du projet Phybi 2 qui explorera :

- l'intérêt d'hiverner les tiges colonisées pour accélérer la colonisation des nouvelles tiges de l'année suivante
- Le rayon d'action d'un fagot

- L'intérêt d'avoir des plantes fleuries à proximité

Sorties opérationnelles :

Type de fagot : fagot de 15 à 20 tiges de sureau. Longueur 30 cm, diamètre de la moelle entre 2 et 8 mm.

Disposition : En hauteur à l'horizontale. Le fagot doit être bien visible de loin, ne pas le cacher dans le feuillage.

Illustrations :



(a) : galerie de *Ceratina* sp.



(b) : galerie de *Pemphredon* sp.



Hyménoptère à la sortie de sa galerie

Astuces :

- En fin de saison, les tiges colonisées pourraient être conservées tout l'hiver pour « inoculer » les hyménoptères chasseurs l'année suivante.

Contact :

ASTREDHOR station d'Angers (Arexhor Pays de la Loire)
02-41-79-73-12

Alain Ferre : alain.ferre@astredhor.fr

Résumé

Les hyménoptères chasseurs sont des insectes dont les adultes chassent des proies qu'ils emmagasinent dans des abris préalablement construit pour nourrir leur progéniture. Il s'agit essentiellement de la famille des Crabronidae. Les proies sont spécifiques des espèces chasseuses. Dans ce projet nous nous intéressons essentiellement aux espèces chasseuses de pucerons ou de cicadelles. Après des recherches bibliographiques, nous avons identifié la sous-famille de Pemphredoninae comme particulièrement intéressante. Ses espèces, notamment les *Pemphredon*, construisent leurs nids dans la moelle des tiges de certaines végétaux comme le sureau, le figuier ou encore la ronce. En 2009, nous avons construit des fagots de tiges de différentes espèces végétales que nous avons placées à divers endroits de la station. Nous avons ensuite relevé régulièrement les tiges forées pour identifier les proies et les hyménoptères chasseurs. En 2019, 134 insectes ont été observés dans les tiges dont 57 hyménoptères chasseurs Crabronidae (43%), 11 parasitoïdes de Crabronidae (8%), 7 prédateurs (araignée et fourmis ; 5%), 15 abeilles solitaires *Ceratina* sp. (11%) et 29 xylophages (22%). Sur 2019 et 2020, la répartition des individus identifiés (26) indique que *Pemphredon lethifer* est majoritaire (15 ; 57,7%) suivi de *P. inornata* (7 ; 26,9%) et de *P. rugifer* (4 ; 15,4%) (les individus récoltés en 2021 sont en cours d'identification). *Pemphredon lethifer* et *P. rugifer* se retrouvent principalement dans des tiges de sureau, *P. inornata* se trouve dans de la ronce. Les parasitoïdes (*Omalus auratus* (Hymenoptera : Chrysidae) et Torymidae) ont émergés surtout de tiges de ronce. Les abeilles solitaires sont principalement retrouvées dans les tiges de sureau. Ces données sont intéressantes car elles nous permettent, en sélectionnant l'espèce végétal, de sélectionner l'espèce de chasseur favorisée tout en évitant si possible les parasitoïdes.

Les proies retrouvées dans les loges de *P. inornata* sont massivement des pucerons du de la tribu des Aphidini (*Aphis gossypii*). Dans les loges de *P. lethifer* ont principalement été trouvé des Macrolophini (*Myzus cerasi*). Les données sont encore faibles, mais les premières estimations indiquent entre 500 et 3000 pucerons par galerie.

En 2020 et 2021, nous avons complété les données biologiques (proies, espèces présentes) par les questions comportementales suivantes :

- Les hyménoptères préfèrent-ils les tiges sectionnées sur plantes vivantes ou en fagot,
- La présence d'une plante fleurie à proximité du fagot favorise-t-elle la colonisation,
- Les fagots doivent-ils être mis dans un endroit végétalisé ou à découvert
- Quel est l'impact de la présence d'un fagot sur les populations de pucerons environnantes.

Les résultats ont indiqué qu'il pouvait y avoir jusqu'à 3 générations par an avec une période d'activité d'avril-mai à octobre. La période la plus active va de juin à septembre lorsque les températures sont élevées en particulier la nuit (peu d'activité sous 10-15°C la nuit).

Concernant le comportement, les réponses obtenues sont les suivantes :

- Les hyménoptères préfèrent les tiges sectionnées mises en fagot (28 tiges sur des plantes contre 173 sur fagot),
- Nous n'avons pas pu conclure quant à l'intérêt d'avoir une plante fleurie à proximité à cause de l'inadéquation de la période de floraison avec la période d'activité,
- Les fagots à découvert, en hauteur au-dessus du feuillage sont plus colonisés
- Les premières données indiquent qu'un fagot réduirait la population de puceron dans un rayon d'au moins 3 mètres.

Les travaux vont se poursuivre au sein du projet Phybi 2 qui explorera :

- l'intérêt d'hiverner les tiges colonisées pour accélérer la colonisation des nouvelles tiges de l'année suivante

- Le rayon d'action d'un fagot
- L'intérêt d'avoir des plantes fleuries à proximité

Mots clefs : Crabronidae ; *Pemphredon* ; hyménoptère chasseurs ; nidification

Impact des hyménoptères chasseurs sur les populations de ravageurs en culture extérieur

Cette action du projet PHYBI a pour ambition de déterminer s'il est possible et avantageux de favoriser la présence des hyménoptères chasseurs en parcelle extérieure de production.

1. Bibliographie

Les hyménoptères chasseurs sont un groupe très vaste regroupant de nombreuses familles et espèces. Jean-Henri Fabre qui les a longuement étudiés nous apportent des données comportementales indispensables. Ces hyménoptères chassent un type bien particulier d'insectes voire une espèce bien précise. Ils les paralysent grâce à leur venin puis les emmènent dans un nid qu'ils ont construit. Une fois le nid suffisamment rempli, un œuf y est pondue et il est fermé par une cloison. La femelle hyménoptère remplit alors une nouvelle loge. Une fois les œufs éclos, les larves vont consommer les proies paralysées et encore vivantes. Ces hyménoptères ont des tailles et des comportements très variables. Certaines espèces qui chassent des pucerons ou des cicadelles sont assez petites, de l'ordre du centimètre, d'autres chassant des sauterelles ou des mante-religieuses font partie des plus grands hyménoptères de France pouvant atteindre les 5 cm. La majorité des espèces ont la taille d'une petite guêpe.

Les nids, tant en forme qu'en matériaux, sont très diversifiés. Certaines espèces creusent des galeries dans les sols secs et tassés ou dans les talus, d'autres, appelées guêpes maçonnes, fabriquent de petites « amphores » de boues collées à des pierres, des branches, des charpentes etc. Certaines utilisent des cavités naturelles ou artificielles dans des murs et vont y fabriquer des cellules avec des morceaux de feuilles. Enfin, la moelle des branches mise à nue constitue un autre habitat. Les espèces vont creuser une ou des galeries dans la moelle et y constituer des loges pleines de proies. Ces insectes ne sont pas rares, certains sont mêmes très abondants et peuvent être facilement observés butinant sur les fleurs de carotte sauvage pendant l'été (les adultes ne sont pas carnivores comme les larves mais se nourrissent de nectar).

La présence de ces insectes est donc largement corrélée à la présence d'habitats permettant la construction des nids dans un environnement proche. Sans moelle de tige accessible, point de *Pemphredon*. Sans sol sec et tassé, point de *Bembix*... De même, la présence de fleurs permettra de nourrir les adultes ce qui peut les attirer et les maintenir sur place.

La plupart des Crabronidae sont des prédateurs qui paralysent leurs proies afin de nourrir leur future larve dont l'œuf est préalablement installé dans un nid réalisé par la femelle sous forme de cellules cloisonnées (Bitsch et Leclercq 1993). Certaines espèces ne chassent pas mais utilisent les nids d'autres espèces pour y pondre, ce sont des cleptoparasites. Selon les espèces, les nids seront réalisés dans différents endroits, soit les femelles creusent des galeries dans le sol avec des caractéristiques précises, soit elles s'installent dans les tiges d'arbres de tailles et d'espèces spécifiques. Ce sont ces dernières que nous allons étudier à présent. Les espèces rubicoles nous intéressent sont des Sphécidées chassant soit des Cicadellidae, soit des Aphididae, voire les deux. Selon les livres de Bitsch sur les genres et les espèces de Sphécidées (Bitsch et al. 1997), nous pourrions trouver des espèces de la tribu des *Psenini*, des genres *Mimumesa*, *Psenulus* et plus rarement *Psen*, et de la tribu des Pemphredonini, des genres *Stigmus*, *Passaloecus* et *Pemphredon*. Ce dernier genre est le plus commun en Europe et le plus étudié. Les *Pemphredon* chassent principalement des pucerons mais aussi des cicadelles (Bitsch et al. 1997). Nous les avons donc sélectionnés comme genre-type pour une première analyse du comportement et d'un cycle pour un hyménoptère chasseur rubicole.

La période de vol est assez longue en général, allant du mois de mai à celui de septembre (Turpeau, Hullé, et Chaubet 2018b). C'est au printemps que la reproduction et la fécondation s'opèrent pour les espèces de *Pemphredon* comme *P. lethifer*. Pour cela, la femelle recherche le lieu idéal pour faire son nid. Les rameaux visés sont, pour la plupart, des tiges à moelle comme les tiges de ronce, de sureau ou celles d'arbres fruitiers tels que le figuier, qui ont été préalablement coupées ou abimées (Bitsch et al. 1997). Ensuite, la femelle creuse la première partie de la galerie avec la première cellule de stockage. Elle attend le lever du jour pour chasser les pucerons et pour les amener dans le nid jusqu'au remplissage total de la première cellule (ex : environ 60 pucerons chez *P. lethifer*) (Turpeau, Hullé, et Chaubet 2018b). Lorsque la cellule est pleine, la femelle va pondre un œuf sur une des premières proies. Il y a ainsi un œuf par cellule. Lorsque vient la nuit, la femelle va cloisonner la cellule par un bouchon de sciure. L'action se répète pour avoir environ une dizaine de cellules dans le nid. Lorsque la fabrication de la galerie touche à sa fin, les premiers œufs (souvent ceux des femelles) éclosent et les larves se nourrissent des proies de leur cellule, ceux qui suivent sont ceux des mâles (souvent des cellules plus petites et avec moins de pucerons). C'est en été (pour les deux premières générations) et en automne (pour la troisième génération) que la totalité des proies sont consommées par les larves. En hiver, les larves hibernent sous forme de nymphes dans la tige, puis c'est au printemps suivant que les adultes émergent. Ainsi, pour *P. lethifer*, il peut y avoir 2 à 3 générations par an et un total d'environ un millier de pucerons chassés dans la vie d'une femelle (Turpeau, Hullé, et Chaubet 2018b). Selon Danks, « l'un des facteurs limitant la prospérité des rubicoles serait la disponibilité des sites de nidification » (Danks 1971). Ainsi par l'implantation de nids artificiels, le chercheur Janvier avait réussi à peupler un milieu de cultures jusqu'à plus d'une centaine de Sphecidae en 3 ans.

Les adultes se nourrissent majoritairement de nectar de fleurs d'Angelica, *Crataegus*, *Daucus*, *Pastinaca* (Bitsch et al. 1997). C'est une piste intéressante pour attirer ces espèces dans un milieu, mais les Apiacées peuvent aussi attirer d'autres espèces et notamment des Chrysididae dont *Pseudomalus auratus*, un parasitoïde de Pemphredonini (Archer s. d).

Le tableau suivant présente les relations existantes dans la bibliographie entre chasseurs, proies et parasitoïdes.

Tableau I : résultat bibliographique pour les espèces d'Hyménoptères chasseurs trouvées

Espèces	Nidification	Proies	Parasitoïdes
<i>Pemphredon lethifer</i> ^{1 2 3}	Ronce, rosier, sureau, roseau... (mortes et sèches) et galles	<i>Myzus cerasi</i>, <i>Myzus persicae</i> , <i>Aphis</i> sp groupe <i>fabae</i> , <i>Aphis</i> groupe <i>cytisorum</i> , <i>Aphis salicariae</i> K., <i>Aphis sambucci</i> L., <i>Aphis sarothami</i> , <i>Macrosiphum</i> sp, <i>Sitobion fragariae</i> , <i>Brachycaudus cardui</i> , <i>Dysaphis</i> sp, <i>Hyadaphis foeniculi</i> , <i>Cryptosiphum</i> sp, <i>Acyrtosiphon pisum</i> , <i>Amphorophora</i> sp., <i>Eucallipterus tiliae</i> , <i>Betulaphis quadrituberculata</i> , <i>Trama</i> sp, <i>Thelaxes dryophila</i> .	Chrysididae (<i>Trichrysis cyanea</i> et <i>Pseudomalus auratus</i>), Ichneumonidae (<i>Péirithos divinator</i> et <i>Enclisis macilenta</i>), Bombyliidae, Sarcophagidae, Eurytomidae (<i>Eurytoma</i>) ...
<i>Pemphredon rugifer</i> ^{1 3}	Bois mort (arbre fruitier et pin sylvestre)	<i>Uroleucon sonchi</i> , <i>Myzus cerasi</i> , <i>Myzus persicae</i> , <i>Aphis rumicis</i> L., <i>Aphis fabae</i> , <i>Aphis craccivora</i> K., <i>Aphis pomi</i> DG., <i>Aphis nasturtii</i> K., <i>Brachycaudus</i> sp., <i>Brachycaudus helichrysi</i> , <i>Brachycaudus cardui</i> , <i>Macrosiphum</i> sp, <i>Acyrtosiphon pisum</i> , <i>Sitobion avenae</i> , <i>Amphorophora</i> sp., <i>Atheroides serrulatus</i> H., <i>Schizolachnus pineti</i> .	Chrysididae (<i>Trichrysis cyanea</i> et <i>Pseudomalus auratus</i>), Ichneumonidae (<i>Péirithos divinator</i> et <i>Enclisis macilenta</i>), Eurytomidae (<i>Eurytoma</i>) ...
<i>Pemphredon inornata</i> ^{1 5}	Tiges à moelle tendre et galles de <i>Lipara</i> sur <i>Phragmites</i>	<i>Aphis</i> sp , <i>Aphis rumicis</i> , <i>Aphis sambucci</i> , <i>Aphis ruborum</i> , <i>Brachycaudus</i> sp , <i>Dysaphis plantagina</i> , <i>Macrosiphum</i> sp, <i>Myzus persicae</i> , <i>Ovarus mentharius</i> , <i>Phorodon humuli</i> , <i>Amphorophora</i> sp. <i>Aphis fabae</i> , <i>Aphis salicariae</i> , <i>Macrosiphoniella usquertensis</i> , <i>Megoura viciae</i> . <i>Thelaxes</i> sp. <i>Pterocomma</i> sp. <i>Chaitophorus</i> sp. <i>Therioaphis</i> sp, <i>Panaphis juglandis</i> .	Chrysididae (<i>Pseudomalus auratus</i>), Ichneumonidae (<i>Perithous</i>), Bombyliidae, Sarcophagidae ...

<i>Passaloecus insignis</i> ^{1 6 7}	Tiges à moelle sèche (<i>Rubus</i> , <i>Sambucus</i> ...) et anciens nids de Xylophages	<i>Aphis</i> groupe <i>fabae</i> , <i>Aphis salicariae</i> , <i>Brachycaudus schwartzi</i> , Chaitophorinae, Calaphidini, Lachninae, <i>Macrosiphum funestum</i> , <i>Sitobion</i> sp., <i>Uroleucon</i> .	Ichneumonidae (<i>Poemenia</i>), Chrysididae (<i>Omalus</i>), Coléoptère : Melyridae (<i>Psilothrix cyaneus</i>)
---	--	--	--

Sources :

¹ Hyménoptères Sphecidae d'Europe Occidentale. Volume 3. (Bitsch et Beauchamp 2007).

² Encyclop'Aphid, INRA, consulté le 19/06/2019 (Turpeau, Hullé, et Chaubet 2018b)

³ Bees Wasps & Ants Recording Society, consulté le 19/06/2019 (Knowles 2012b) et (Knowles s. d.)

⁴ Bees Wasps & Ants Recording Society, consulté le 19/06/2019 (Archer 1997)

⁵ Bees Wasps & Ants Recording Society, consulté le 19/06/2019 (Knowles 2012a)

⁶ Encyclop'Aphid, INRA, consulté le 20/09/2019 (Turpeau, Hullé, et Chaubet 2018a)

⁷ Bees Wasps & Ants Recording Society, consulté le 20/09/2019 (Allen 2002)

Références bibliographiques :

- Bitsch, Jacques, Yvan Barbier, Severiano Fernandez Gayubo, Konrad Schmidt, et Michael OHL, éd. 1997. *Hyménoptères Sphecidae d'Europe occidentale*. Vol. 2. Faune de France 82. Paris: Fédération française des sociétés de sciences naturelles.
- Bitsch, Jacques, et P. de Beauchamp. 2007. *Hyménoptères sphecidae d'Europe occidentale*. Vol. 3. Paris: Féd. Française des Soc. de Sciences Naturelles.
- Bitsch, Jacques, et Jean Leclercq. 1993. *Hyménoptères Sphecidae d'Europe occidentale*. Vol. 1: Généralités - Crabroninae. Faune de France 79. Paris: Fédération Française des Soc. de Sciences Naturelles [u.a.].
- Chaubet, Bernard, et P. Pinault. 1987. « Composition faunistique, place et rôle des invertébrés dans une exploitation maraîchère en agrobiologie. C. Résultats préliminaires et perspectives de travail sur les peuplements d'Hyménoptères. » 1987. http://www.insectes.org/opie/pdf/2059_pagesdynadocs4daffceb31c24.pdf.
- Goulet, Henri, John T. Huber, et Canada, éd. 1993. *Hymenoptera of the World: An Identification Guide to Families*. Publication, 1894/E. Ottawa, Ontario: Centre for Land and Biological Resources Research.
- Herbrecht, Franck. 2008. « Hyménoptères Vespidae ». *Invertébrés continentaux des Pays de la Loire - Gretia, 2009*, mars. http://old.gretia.org/dossiers_liens/nosact/inv_pdl/pdf/Fiches_taxons/Vespidae.pdf.
- Michener, Charles D. 2007. *The Bees of the World*. 2nd ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Paukkunen, Juho, Alexander Berg, Villu Soon, Frode Ødegaard, et Paolo Rosa. 2015. « An Illustrated Key to the Cuckoo Wasps (Hymenoptera, Chrysididae) of the Nordic and Baltic Countries, with Description of a New Species ». *ZooKeys* 548 (décembre): 1-116. <https://doi.org/10.3897/zookeys.548.6164>.

Sitographie

- Allen, GW. 2002. « *Passaloecus insignis* (Vander Linden, 1829) | BWARS ». 2002. <https://www.bwars.com/wasp/crabronidae/pemphredoninae/passaloecus-insignis>.
- « aphidkey - Lucid Web Player ». s. d. Consulté le 19 septembre 2019. <http://idtools.org/id/AphID/polycosmo10.html>.
- Archer, ME. 1997. « *Symmorphus gracilis* (Brullé, 1832) | BWARS ». 1997. <https://www.bwars.com/wasp/vespidae/eumeninae/symmorphus-gracilis>.
- . s. d. « *Pseudomalus auratus* (Linnaeus, 1758) | BWARS ». Consulté le 19 septembre 2019. <https://www.bwars.com/wasp/chrysididae/elampinae/pseudomalus-auratus>.
- « Galerie du Monde des insectes ». s. d. Consulté le 19 septembre 2019. <https://www.galerie-insecte.org/galerie/fichier.php#Hymenoptera>.
- Gusenleitner, J. 2006. « BioLib: Biological library ». 2006. <https://www.biolib.cz/en/image/id224208/>.
- « HOST LISTS and KEYS ». s. d. Consulté le 19 septembre 2019. http://www.aphidsonworldsplants.info/C_HOSTS_AAIntro.htm.
- « Key to Polyphagous Aphids ». s. d. Consulté le 19 septembre 2019. http://www.aphidsonworldsplants.info/Polyphagous_II.htm.
- Knowles, A. 2012a. « *Pemphredon inornata* Say, 1824 | BWARS ». 2012. <https://www.bwars.com/wasp/crabronidae/inae/pemphredon-inornata>.

- . 2012b. « Pemphredon lethifer (Shuckard, 1837) | BWARS ». 2012.
<https://www.bwars.com/wasp/crabronidae/inae/pemphredon-lethifer>.
- . s. d. « Pemphredon rugifer (Dahlbom, 1844) | BWARS ». Consulté le 19 septembre 2019.
<https://www.bwars.com/wasp/crabronidae/inae/pemphredon-rugifer>.
- Turpeau, Evelyne, Maurice Hullé, et Bernard Chaubet. 2018a. « Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - Passaloecus insignis ». 28 août 2018. <https://www6.inra.fr/encyclopedia-pucerons/Especies/Predateurs-insectes/Hymenoptera-Crabronidae/Passaloecus-insignis>.
- . 2018b. « Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - Pemphredon lethifer ». 28 août 2018.
<https://www6.inra.fr/encyclopedia-pucerons/Especies/Predateurs-insectes/Hymenoptera-Crabronidae/Pemphredon-lethifer>.

2. Objectifs

Les objectifs de l'étude menée en 2019 sont d'identifier les tiges et les rameaux favorables à la nidification de ces hyménoptères chasseurs et les espèces des proies qu'ils chassent afin d'évaluer leur efficacité sur les populations de ravageurs. S'ils sont efficaces, il faudra déterminer les conditions idéales de développement de ces populations d'hyménoptères (ex : la proximité avec une source de nutrition (ex : les Apiacées comme *Daucus*) pour les adultes et de proies) dans les prochaines études des années suivantes. L'objectif final est de favoriser leur installation auprès d'une culture (Fig 1) afin d'améliorer la lutte biologique par conservation contre les ravageurs.

Ainsi si cette première année d'expérimentation détermine une potentielle nouvelle méthode de lutte, l'objectif final serait de favoriser, attirer, localiser et maintenir les adultes d'hyménoptères chasseurs sur la culture.

Nous nous interrogeons donc, dans un premier temps, sur l'impact général de ces hyménoptères chasseurs et leur efficacité : Dans quelle mesure les hyménoptères Sphecidae peuvent avoir un impact sur la protection des cultures ? Si leur présence a un impact intéressant, comment favoriser leur installation et leur maintien ?

Dans l'objectif de répondre à cette problématique, nous avons dû faire plusieurs hypothèses et faire des choix. Tout d'abord, nous avons choisi de n'étudier que les hyménoptères chasseurs nichant dans les tiges. Les espèces de ces derniers ont été choisies en fonction de précédentes observations et études.

3. Hypothèses de l'étude de 2019 :

Hypothèse 1 : les hyménoptères chasseurs vont plus facilement s'installer sur les tiges à moelle que sur les tiges creuses. En effet selon Chaubet, les Sphecidae de la sous-famille des Pemphredoninae nidifient principalement dans les tiges à moelle telles que les ronces et les sureaux (Chaubet et Pinault 1987).

Hypothèse 2 : les hyménoptères chasseurs vont préférer les grosses tiges avec beaucoup de moelle pour être bien protégés des parasitoïdes, prédateurs et autres xylophages (ex : scolytes).

Hypothèse 3 : il y aura moins de nids dans les serres qu'à l'extérieur.

Hypothèse 4 : plus l'insecte est grand, plus le trou de l'entrée du nid aura un gros diamètre, plus le nombre de proies sera élevé.

4. Relations tiges/chasseurs/proies/parasitoïdes (étude de 2019)

4.1 Matériel et méthode

4.1.1 Localisation

Les essais ont été conduits à la station d'expérimentation située 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts de Cé.

4.1.2 Conception des fagots de tiges et récoltes

Afin de définir les tiges préférées des hyménoptères, nous avons assemblé 10 tiges de chaque essence en un seul fagot. Suivant la bibliographie nous avons utilisé des tiges de :

- sureau, *Sambucus nigra*,
- figuier, *Ficus carica*,
- ronce, *Ribes fruticosus*,
- nerprun, *Rhamnus alaternus*,
- Bambou, *Phyllostachys* sp. (témoin négatif).



Figure 1 : fagots en place.

Nous avons également récolté des tiges sur des plantes de la haie lorsqu'elles étaient perforées. Il s'agit essentiellement de tiges de sureau et de ronce (pied mère ayant servi pour prélever les tiges des fagots).

4.1.3 Localisation des fagots

Les fagots ont été placés dans différents environnements pour quantifier son influence sur la colonisation des tiges (voir figure suivante). Nous en avons placé un dans une haie bocagère, un autre sur un piquet sous un arbre et deux autres dans des tunnels.



Figure 2 : localisation des fagots et des principales cultures

Le fagot 1 a été déplacé vers le bord d'un grand tunnel dont la bordure s'ouvre le jour le 30/07/19.

4.1.4 Témoins

Nous avons utilisé des tiges de bambous comme témoin négatif. Les tiges étant déjà ouvertes, elles ne devraient pas être colonisées.

4.1.5 Calendrier des interventions

Les fagots ont été mis en place le 12/04/19. Les dernières observations ont eu lieu jusqu'au 06/08/19.

4.1.6 Méthode de notation

Les fagots ont été observés *in situ* plusieurs fois par semaine. Les insectes présents autour ou sur les tiges ont été relevés. Ensuite, lorsqu'une tige était forée et refermée, elle a été prélevée et amenée au laboratoire et mise dans une boîte d'éclosion. Une fois les insectes sortis de la tige, ils ont été identifiés et dénombrés. Ensuite, Les tiges ont été fendues dans le sens de la longueur pour récupérer les proies, les identifier et dénombrer le nombre de loges.

Parallèlement, nous avons caractérisé les tiges et les trous. Nous avons mesuré le diamètre de la tige, de la moelle et du trou. Nous avons aussi relevé l'exposition du côté perforé. Au niveau des galeries, nous avons mesuré leur longueur et la dimension des loges.

4.2 Validation des tests

Nous avons observé des tiges perforées par des *Pemphredon*. De plus, les bambous n'ont pas été colonisés. Nous pouvons donc analyser les données.

4.3 Résultats

4.3.1 Spectres d'insectes observés autour ou dans les tiges

Le tableau suivant présente les espèces observées et à partir de quelle essence végétale.

Tableau II : espèces observées suivant l'essence végétale (données 2019)

Biologie	Ordre : Famille	Espèce	Bambou	Figuier	Ronce	Sureau
Chasseur	Hymenoptera:Crabronidae	<i>Passaloecus insignis</i>		1		
	Hymenoptera:Crabronidae	<i>Pemphredon inornata</i>		1	2	
	Hymenoptera:Crabronidae	<i>Pemphredon lethifer</i>		1	4	5
	Hymenoptera:Crabronidae	<i>Pemphredon rugifer</i>		2	1	
Total hyménoptères chasseurs			0	5	6	5
Parasitoïde Crabronidae	Hymenoptera:Chrysidae	<i>Omatus auratus</i>			3	1
	Hymenoptera :Torymidae	Torymidae		1	3	1
Total parasitoïdes			0	1	3	2
Prédateur	Dermapetere: forficulidae	Forficule				2
	Hymenoptera:Formicidae	Fourmis	3	4		1
	Arenide	Araignée	8			
Total prédateurs			11	4	0	3
Pollinisateur	Hymenoptera:Apidae	Apidae				5
	Hymenoptera:Apidae	<i>Ceratina</i> sp.				9
	Hymenoptera:Apidae	<i>Hylaeus</i> sp.		1		
Total pollinisateurs			0	1	0	14
Xylophage	Coleoptera:Cerambycidae	Longicorne		1	2	
	Coleoptera:Curcuionidae	Scolyte		26		
Total xylophages			0	27	2	0

Les hyménoptères chasseurs sont prédominants en particulier issus de ronce, figuier puis sureau. Les parasitoïdes ont été quant à eux retrouvé plutôt dans des tiges de ronce. Enfin les abeilles solitaires, qui sont en concurrence avec les chasseurs pour l'utilisation des tiges, étaient principalement dans des tiges de sureau.

La détermination des espèces de *Pemphredon* n'est pas aisée. Ainsi, certains spécimens sont pour l'instant dénommées sp. suivi d'un numéro. Cependant, la taille du trou de la galerie correspond à la taille de la tête de l'adulte, ainsi, il a été possible de proposer une espèce à un spécimen non identifié grâce au diamètre de la galerie. Nous notant cette proposition entre parenthèses. Le tableau suivant précise le nombre d'individus suivant la localisation du fagot et précise la taille des galeries.

Tableau III : répartition des espèces d'hyménoptères chasseurs suivant l'essence végétale et sa location.

	Dans la haie		Fagot haie			Total
	Sureau	Ronce	Figuier	Sureau	Ronce	
<i>Pemphredon lethifer</i>	3	5	1	1		10
<i>Pemphredon inornata</i>		2	1			3
<i>Pemphredon rugifer</i>		1	2			3
<i>Passaloecus insignis</i>			1			1

Nous constatons que la majorité des hyménoptères chasseurs sont retrouvés dans des tiges en place dans la haie. Seul le fagot disposé dans la haie a été colonisé. Les hyménoptères chasseurs semblent

donc avoir une préférence marquée pour l'environnement d'une haie. Au niveau de chaque espèce, nous pouvons identifier des essences préférées. *Pemphredon lethifer* est plus retrouvé dans la ronce et le sureau. Cette information nous permettra de sélectionner l'essence à installer suivant l'espèce de chasseurs que l'on souhaite favoriser.

4.3.1 Hyménoptères chasseurs et caractéristiques des galeries

Le graphique suivant présente le diamètre de la galerie en fonction du diamètre de la moelle.

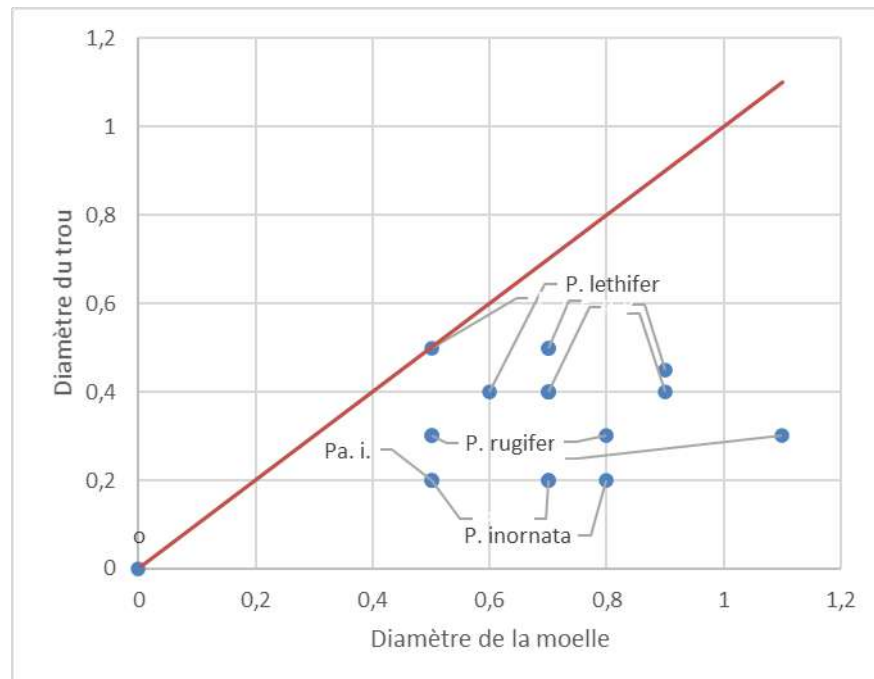


Figure 3 : diamètre de la moelle et diamètre du trou de chaque galerie

Nous constatons qu'il n'existe pas de corrélation entre le diamètre de la moelle et le diamètre de la galerie. Les hyménoptères ne choisissent pas des moelles x fois plus grandes que leur galerie mais simplement des moelles suffisamment larges pour accueillir la galerie.

4.3.2 Proies chassées et distance de prospection

5. Hypothèses de 2020

En 2019, les hyménoptères chasseurs ont pu être attirés dans les fagots de tiges. Le fagot situé dans la haie a eu l'effet le plus attractif. Les essences de sureau, ronce et figuier ont tous les trois été colonisés par les hyménoptères foreurs. Un nombre conséquent de pucerons ont été retrouvés dans les loges. Les hyménoptères chasseurs ont donc un certain potentiel de prédation.

D'après les résultats obtenus en 2019, une série de nouvelles hypothèses ont été émises pour orienter l'étude de 2020 :

Hypothèse 1 : les hyménoptères chasseurs sélectionnent des tiges ombragées.

Hypothèse 2 : les hyménoptères chasseurs sélectionnent des tiges entourées de feuillage.

Hypothèse 3 : les hyménoptères chasseurs recherchent des plantes fleuries dans leur environnement pour se nourrir.

Hypothèse 4 : les hyménoptères chasseurs recherchent des zones riches en proies.

Hypothèse 5 : les hyménoptères chasseurs sont territorialistes.

Hypothèse 6 : les hyménoptères chasseurs nidifient préférentiellement dans les tiges en hauteur.

6. Attractivité et estimation du potentiel de prédation (étude de 2020)

6.1 Matériel et méthode

6.1.1 Localisation

Les essais ont été conduits à la station d'expérimentation située 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts de Cé.

6.1.2 Modalités testées

Des fagots installés sur la station étaient composés de

- 5 tiges de rhamnus *Rhamnus alaternus*
- 10 tiges de sureau *Sambucus nigra*
- 10 tiges de ronce *Ribes fruticosus*
- 10 tiges de figuier *Ficus carica* (présents uniquement sur la moitié des fagots dû à un manque de tiges)

Des plantes-habitats de ces mêmes espèces ont été placées dans les mêmes environnements que les fagots.

Quatre séries de fagots ont été positionnés

- Série 01 : fagots de tiges fraîchement coupées
- Série 02 : fagots supplémentaires pour répondre à l'hypothèse 5 (effet territorial)
- Série 03 : fagots N-1 (ceux utilisés en 2019)
- Série 04 : fagot de tiges de sureau uniquement pour répondre à l'hypothèse 5 (effet territorial au sein d'un fagot)

Tableau IV : modalités mises en place en 2020

Facteur	Modalités testées						
	Fagot	Plante de la haie	Fagot + Ombrage	Plante-habitat taillée	Fagot + Plante-fleurie	Plante-habitat + Plante-fleurie	Fagot au sol
Haie Témoin localisation supposé positif	F-H-1	NA		P-H-1			
	F-H-2	NA					
Tunnel Témoin localisation supposé négatif	F-T-1	NA					
	F-T-2	NA					
Culture (zone 1 avec une culture) (+ série 2, 3 et 4)	F-C-1	NA	F-C-3*	P-C-1	F-C-5*	P-C-3	F-C-7*
	F-C-2	NA	F-C-4*	P-C-2	F-C-6*	P-C-4	F-C-8*
Isolé (zone 2 sans culture)	F-I-1	NA	NA	P-I-1	NA	NA	F-I-3*
	F-I-2	NA	NA	P-I-2	NA	NA	F-I-4*

* Pas de figuier

Les plantes-fleuries utilisées étaient des Apiaceae (grandes berces puis carottes sauvages).



Figure 4 : Modalité Ombrage



Figure 5 : Modalité Plante-fleurie (Apiaceae)

L'ensemble des fagots étaient positionnés à environ 1.5 m du sol grâce à des trépieds en bambou excepté les fagots de la modalité « au sol ».

6.1.3 Localisation des fagots

Les fagots ont été installés dans quatre environnements différents pour estimer les conditions optimales pour l'installation des hyménoptères chasseurs.



Figure 6 : localisation des fagots (zone jaune : haie ; zone bleue : tunnel ; zone rouge : isolée ; zone violette : culture)

Les fagots des séries 2, 3 et 4 ont été rajoutés sur la zone de culture.

6.1.4 Témoins

Les témoins ont été sélectionnés selon les résultats obtenus en 2019.

Au sein des fagots, le rhamnus est le témoin négatif et le sureau est le témoin positif.

Pour l'environnement, le tunnel est le témoin supposé négatif et la haie est le témoin supposé positif.

6.1.5 Calendrier des interventions

Les fagots ont été positionnés à partir du 19 mai 2020.

Les différentes séries ont été ajoutées au cours de l'essai

- Série 02 : mise en place le 16 juillet 2020
- Série 03 : mise en place le 30 juillet 2020
- Série 04 : mise en place le 15 septembre 2020

Les plantes-habitats ont été taillées tous les mois afin de laisser des tiges accessibles pour les hyménoptères chasseurs.

6.1.6 Méthode de notation

Les fagots ont été observés *in situ* entre le 19 mai 2020 et le 6 octobre 2020. Les notations ont été accès sur deux points :

- La date d'apparition de nouvelles galeries
 - o réalisées deux fois par semaine (de mai à septembre), puis une fois par semaine (en octobre)
- La caractérisation des galeries ainsi que l'espèce l'ayant creusée
 - o Deux prélèvements ont été faits le 17 août et le 29 septembre 2020

Les critères de caractérisation des galeries sont l'essence, le diamètre de la tige, de la moelle et du trou de galerie, la longueur de la galerie ainsi que le nombre de loges (longueur et diamètre).

6.2 Validation du test

Les essences témoins ont eu les résultats attendus : pas de colonisation des tiges de nerprun et une forte colonisation des tiges de sureau. Les deux fagots du témoin négatif ne présentent aucune colonisation dans le tunnel (supposé témoin négatif). La colonisation des fagots présents dans la haie s'est faite très tardivement par rapport aux modalités testées.

Pour la modalité plante fleurie, les Apiaceae n'ont pas fleuri sur la période souhaitée. Etant donné que les premières colonisations ont eu lieu avant l'ajout de plante fleurie, une mise à jour du facteur environnement a été faite dans le tableau de données : il y a eu présence de fleur entre le 10 juin et le 25 août (fin de floraison).

6.3 Résultats

6.3.1 Spectres d'hyménoptères foreurs

En 2020, la proportion d'hyménoptères chasseurs (du genre Pemphredon) retrouvées est équivalente au nombre d'abeilles solitaire (non prédatrice).

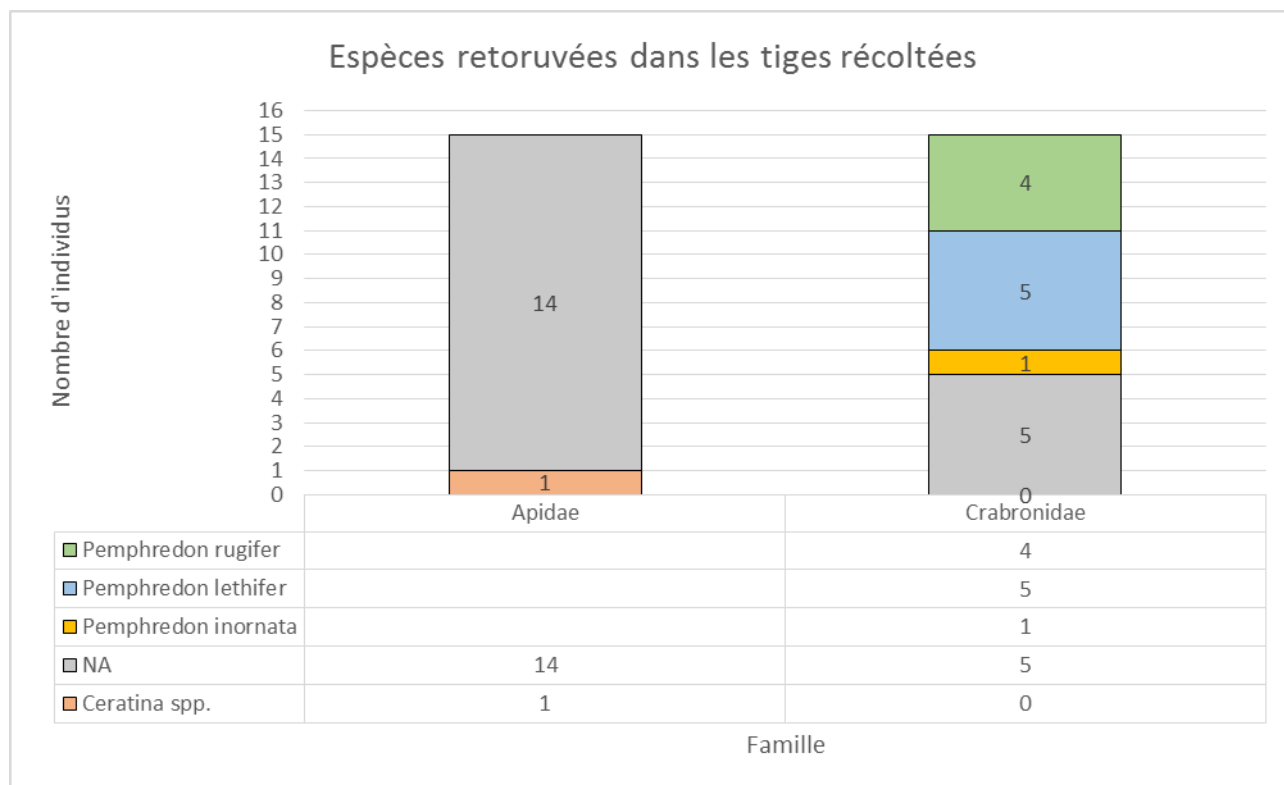


Figure 7 : répartition des espèces retrouvées après ouverture des tiges de fagots

6.3.2 Attractivité des hyménoptères chasseurs

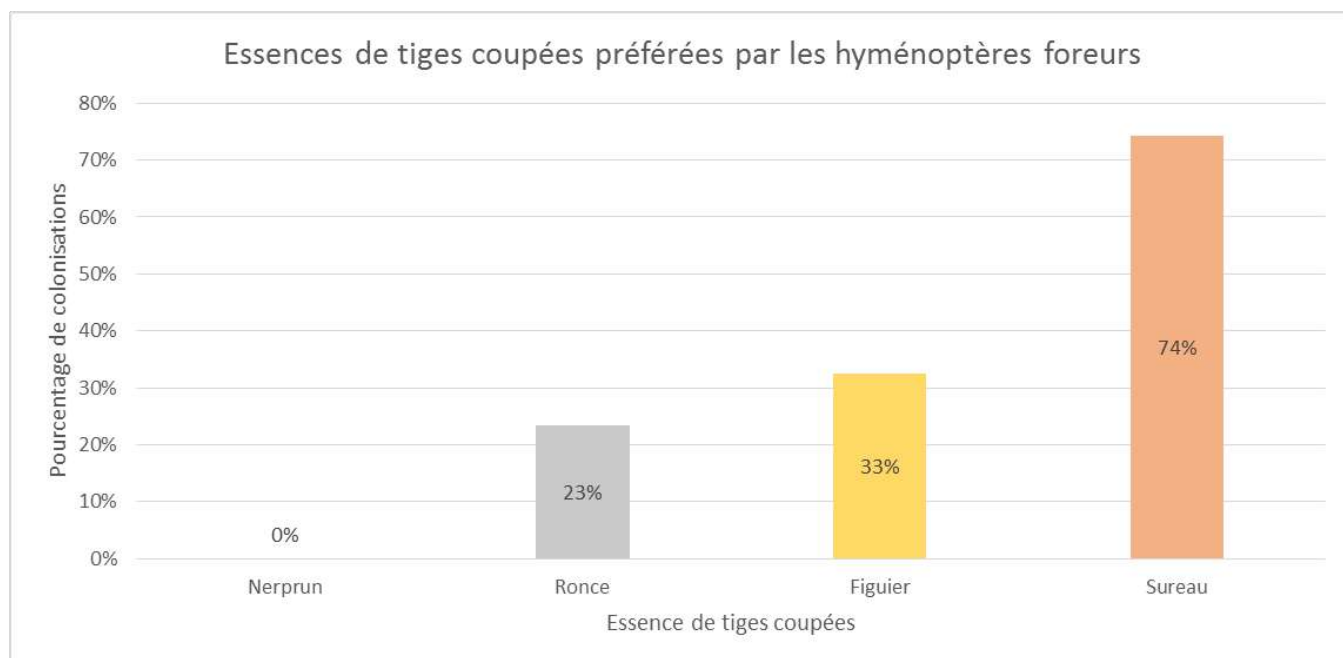


Figure 8 : Effet de l'essence sur la colonisation totale durant l'essai

L'essence de sureau montre un taux de colonisation supérieur à celles de ronce et de figuier. Le sureau permet donc d'attirer les hyménoptères chasseurs.

La forte colonisation dans les fagots par rapport aux plantes entières ainsi que l'absence de colonisation dans le tunnel montre que les tiges doivent être visibles par les hyménoptères pour être colonisées.

La figure suivante indique la présence de tiges sur plantes taillées et sur fagot.

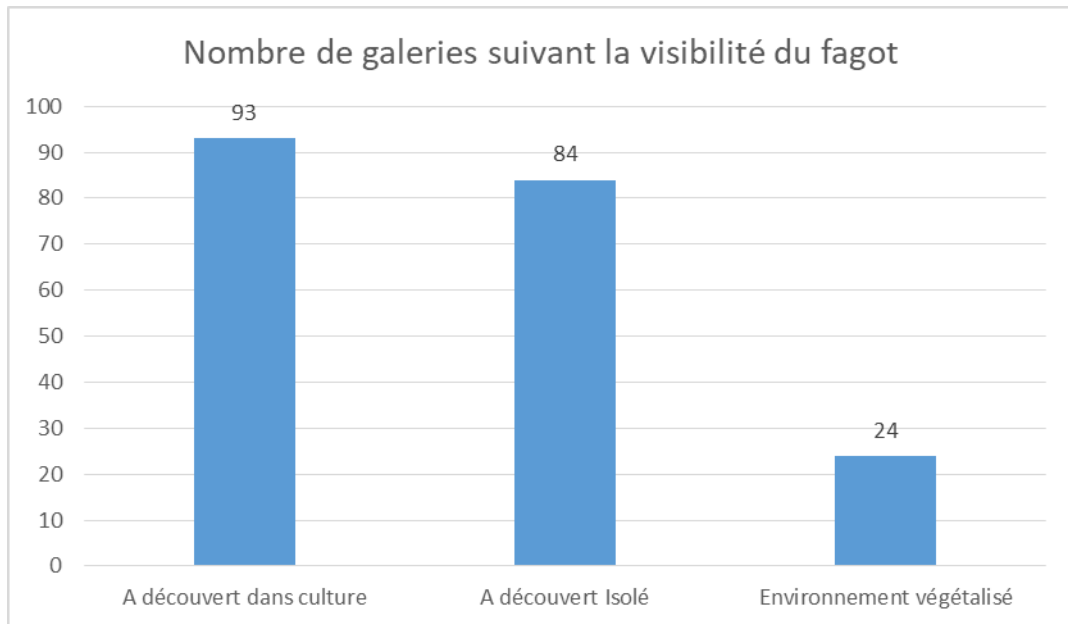


Figure 9 : nombre de galerie suivant la disposition des fagots (à découvert en hauteur ou dans un environnement végétalisé)

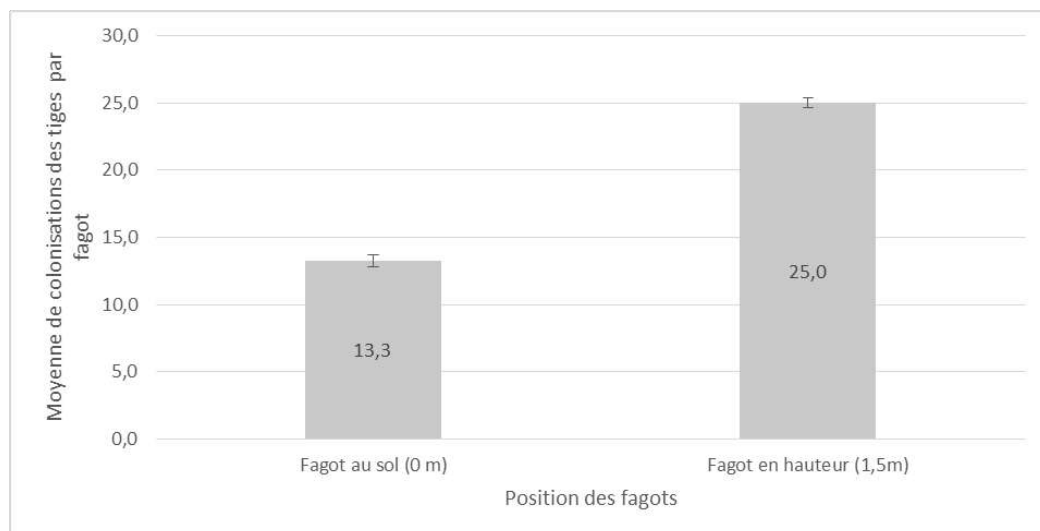


Figure 10 : nombre de galerie suivant la disposition des fagots (au sol ou en hauteur)

Les résultats indiquent clairement que les tiges sont colonisées majoritairement dans les fagots exposés, bien visibles en hauteur. La recherche d'un habitat favorable passerait donc principalement pas la vue.

6.3.3 Caractéristiques des galeries

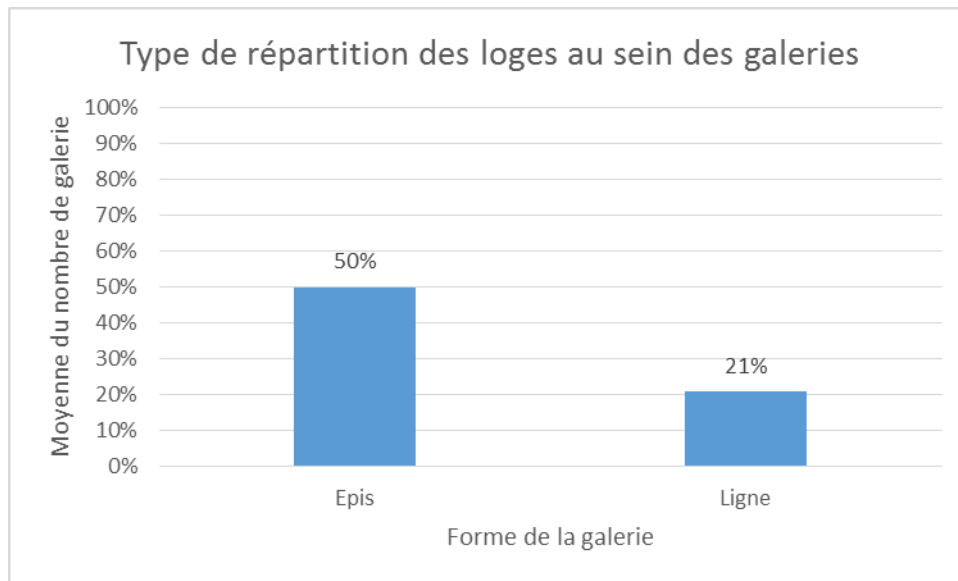


Figure : répartition des formes de galerie (n=62) (épis =galerie de *Pemphredon* ; ligne = galerie de *Ceratina*)

Les galeries ont deux types de formes selon la répartition des loges au sein de celle-ci : en épis ou en ligne. La mise en correspondance entre l'identification et la forme des galeries montre que les abeilles solitaires construisent toujours des loges en ligne alors que les *Pemphredon* construisent pratiquement toujours en épis. La structure en épis permet aux individus d'augmenter le nombre de loges possibles sur une longueur donnée de galerie.

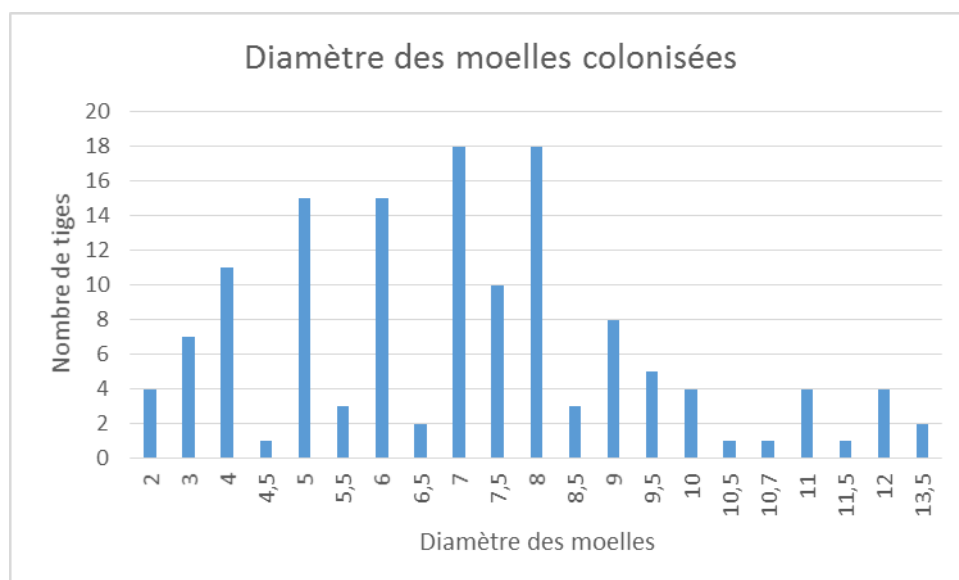


Figure : relation gaussienne du diamètre de la moelle des tiges colonisées

La relation gaussienne (PEARSON, p-value = 0.13) permet de définir le diamètre optimale pour favoriser la colonisation qui est compris entre 5 et 8 mm de diamètre. Le diamètre du trou de galerie est compris entre 2 et 2.5mm.

6.3.4 Colonisation dans le temps

Le graphique suivant présente le nombre cumulé de nouvelles galeries pendant la saison 2020.

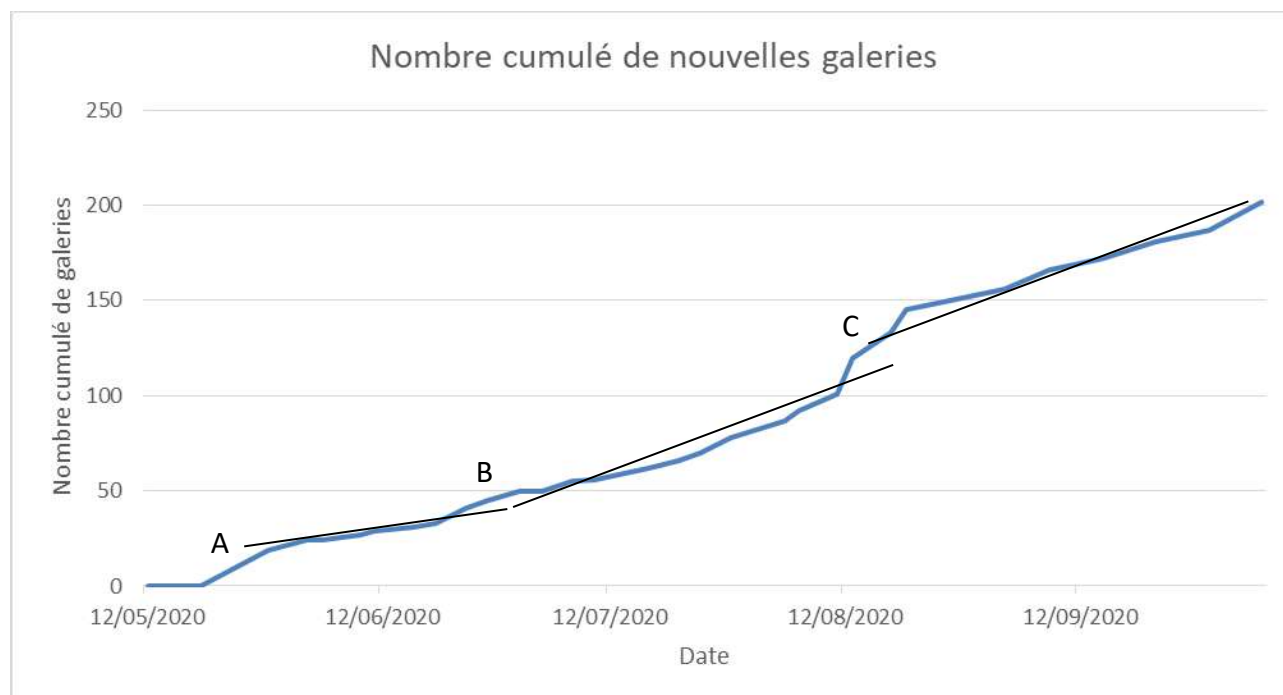


Figure 11 : dynamique de colonisation des fagots disposés à la station

Nous pouvons observer que la pente de cette courbe n'est pas régulière. Il y a trois moments où les colonisations sont fortes (A, B et C) et nous pouvons séparer la courbe en trois segments. Cela nous laisse supposer qu'il y a eu trois générations dans l'année. La première, responsable de la colonisation de A à B serait les femelles hivernantes. La seconde de B à C serait due à leurs filles et la troisième au-delà de C à leurs petites-filles.

6.3.5 Potentiel de prédation

Le potentiel de prédation des hyménoptères chasseurs a été défini en fonction de l'intensité de la colonisation ainsi que du nombre de générations estimé par an.

Tableau : estimation du potentiel de prédation sur une saison d'après une femelle hivernante

Génération	Nombre de femelle	Nombre maximum de loges (équivalent au nombre maximum d'œufs)	Mortalité entre la larve et l'adulte	Nombre de descendants	Nombre de femelles émergentes (ratio de 2/3)	Nombre de proies (pucerons) prédâtées
0	1	75	0	75	50	7,50E+03
1	50	3750	0	3750	2500	3,75E+05
2	2500	187500	0	187500	125000	1,88E+07

7. Travaux 2021 : intérêt en protection des cultures

7.1 Objectifs

Deux objectifs étaient poursuivis. Le premier consistait à accroître le recueil de données biologiques et comportementales en disposant des fagots à la station et en entreprise dans différents environnements. Le second était d'acquérir les premières données concernant l'impact de l'activité des hyménoptères chasseurs sur les populations de puceron proches.

7.2 Climat 2021

En 2021, le printemps a été frais et l'été humide (voir graphique ci-dessous).

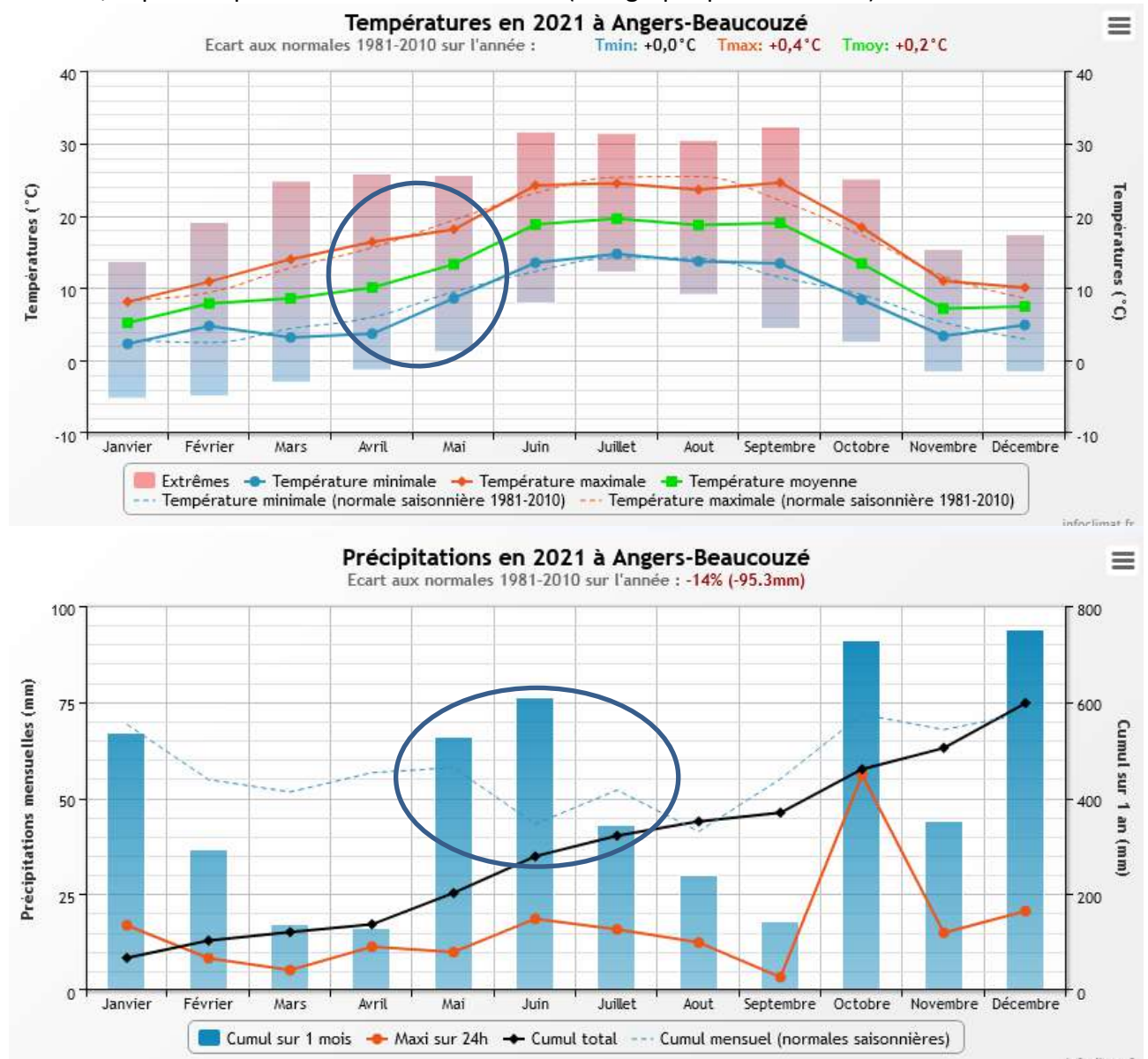


Figure 12 : bilan thermique et hydrique de l'année 2021 à Angers

Les hyménoptères chasseurs préférant les températures chaudes et les temps secs, ces deux conditions ont influencées fortement la colonisation de nos fagots ; nous avons eu 18% de tiges colonisées contre 66% en 2020.

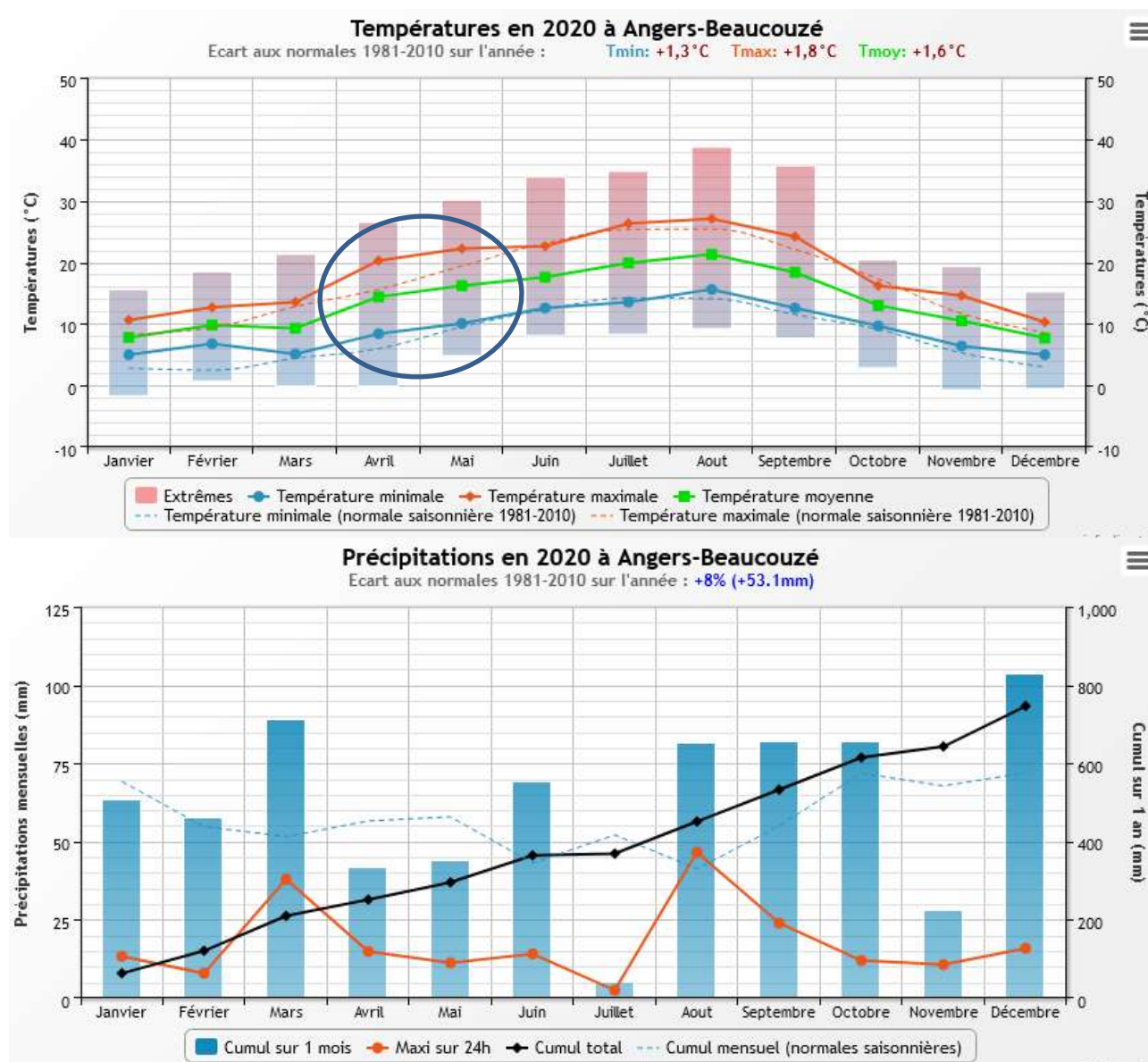


Figure 13 : bilan thermique et hydrique de l'année 2020 à Angers

En comparant les données des années 2020 et 2021, il semblerait que le retard de colonisation (mi-mai en 2020 et début juin en 2021) puisse être dû aux températures fraîches en avril mai qui auraient ralenti la métamorphose ou l'émergence des adultes. Ensuite, le faible taux de colonisation pourrait être imputé aux régulières précipitations de mai à juillet qui nuisent aux vols donc à la prospection des adultes pour trouver des tiges.

7.3 Matériel et méthode

7.3.1 Localisation des fagots

Des fagots ont été installés dans deux entreprises (Hortival Diffusion à Beaufort en vallée, 49 et Robin Tourte à Mazé, 49), au lycée du Fresne à Angers et à la station aux Ponts-de-Cé.

7.3.2 Environnement des fagots

Le tableau suivant précise les environnements où été installés les fagots.

Tableau V : nombre de fagots installés en 2021 suivant leur environnement proche

Site	Station	Lycée du Fresne	Hortival Diffusion	Robin Tourte
Dégagé dans une zone de production hors sol	2	9	5	
Dans le feuillage d'une plante				2
Dégagé dans une zone naturelle ou en agriculture naturelle	3	4		2
Dans un tunnel	1			

7.4 Résultats

7.4.1 Colonisation des fagots

La figure suivante présente le profil de colonisation des fagots présents à la station.

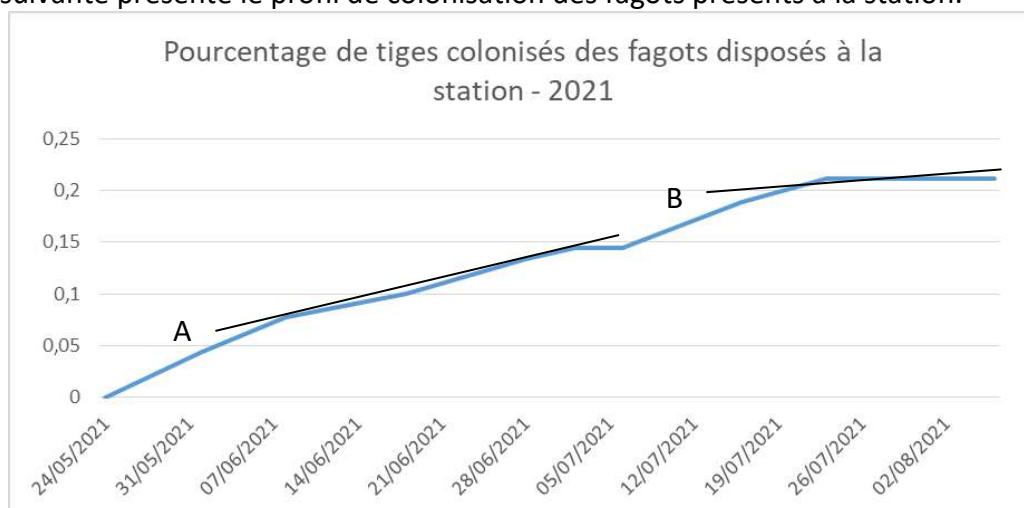


Figure 14 : pourcentage de tiges colonisées en 2021

Comme en 2020, nous pouvons identifier des cassures dans la courbe où les colonisations sont rapides (A et B) séparant la courbe en 2 segments ce qui indiquerait 2 générations pour 2021.

7.4.2 Spectre d'espèces – émergences des tiges hivernées

Les identifications à l'espèce sont toujours en cours.

Nous avons trié les émergences des tiges hivernées en 2020. Les figures suivantes illustrent les résultats obtenus.

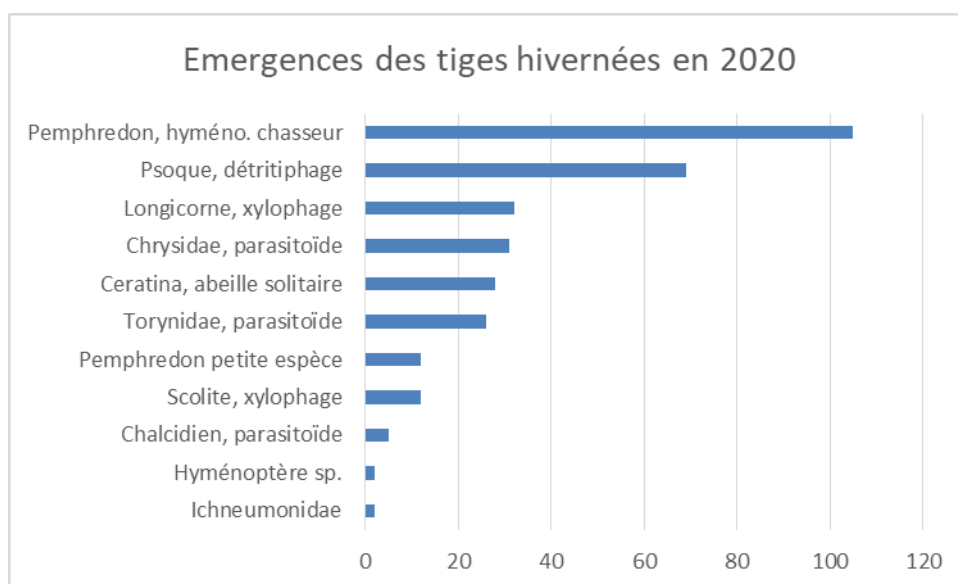


Figure 15 : proportion des émergences suivant le groupe taxonomique

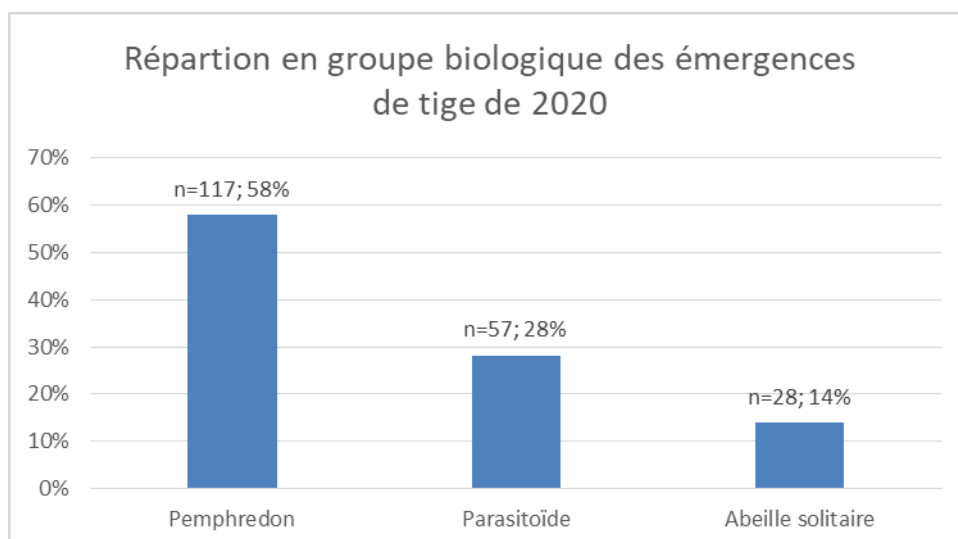


Figure 16 : proportion des émergences d'hyménoptères chasseurs de puceron, d'abeille solitaire et de parasitoïdes

Les proportions entre *Pemphredon* et *Ceratina* sont de 81% contre 19%. Elle comparable au chiffre de 2019 avec 76% de *Pemphredon* pour 24% de *Ceratina*.

7.4.3 Spectres d'espèces – observations sur le terrain

En 2021, des tiges ont eu des trous beaucoup plus gros que les années précédentes. Ils étaient présents sur les tiges avec beaucoup de moelle ayant une section d'environ 1 cm. Après ouverture de tige, nous avons pu identifier un *Ectemnius* ou genre proche qui chasse des grosses mouches brachycères.

Pour maximiser la présence des *Pemphredon*, il sera donc utile de sélectionner des tiges avec une section de moelle pas trop importante pour empêcher leur colonisation par ce genre de gros hyménoptère chasseur.

7.4.4 Potentielle efficacité en production

Les essais conduits chez Hortival diffusion ont été mené au sein d'une parcelle hors-sol de cerisier.

Les résultats sont présentés au moyen des figures suivantes. Les cases représentent des rang de cerisier et les couleur l'intensité de l'attaque de puceron (pourcentage d'apex avec symptômes).

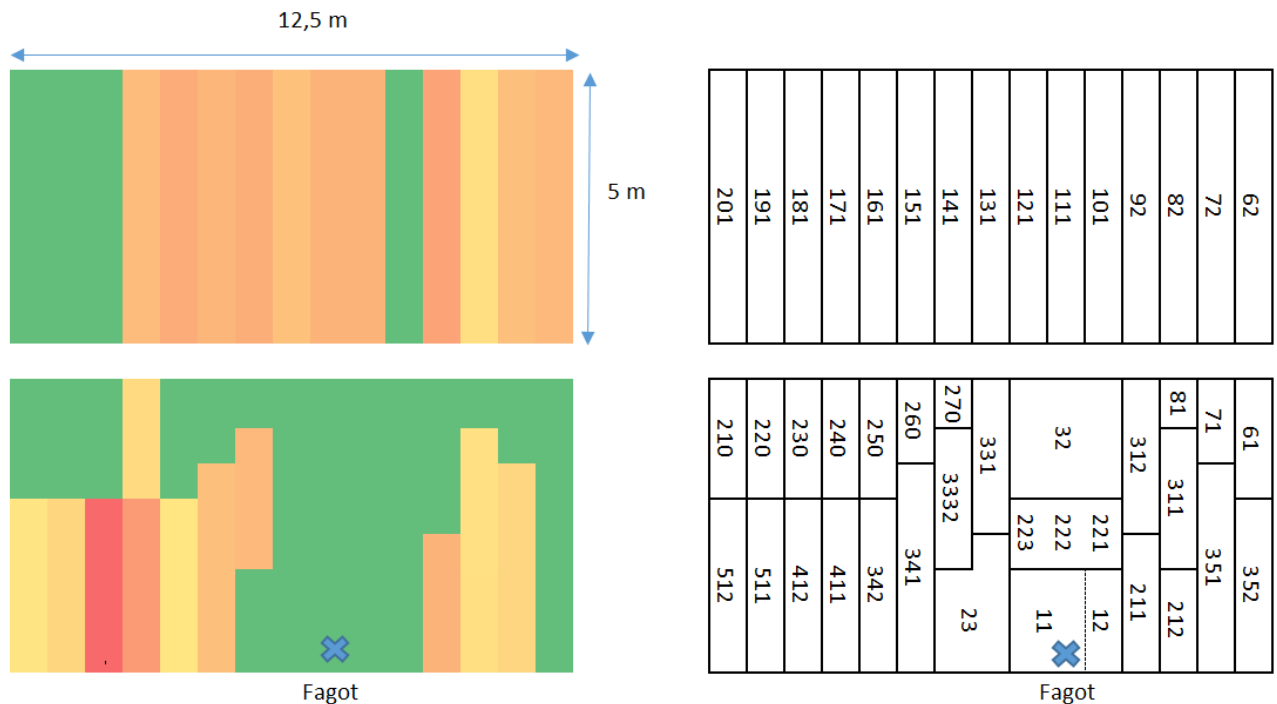


Figure 17 : répartition de l'infestation en puceron autour du fagot le 10/08/2020 (gauche : résultat ; droite : plan des zones notées)

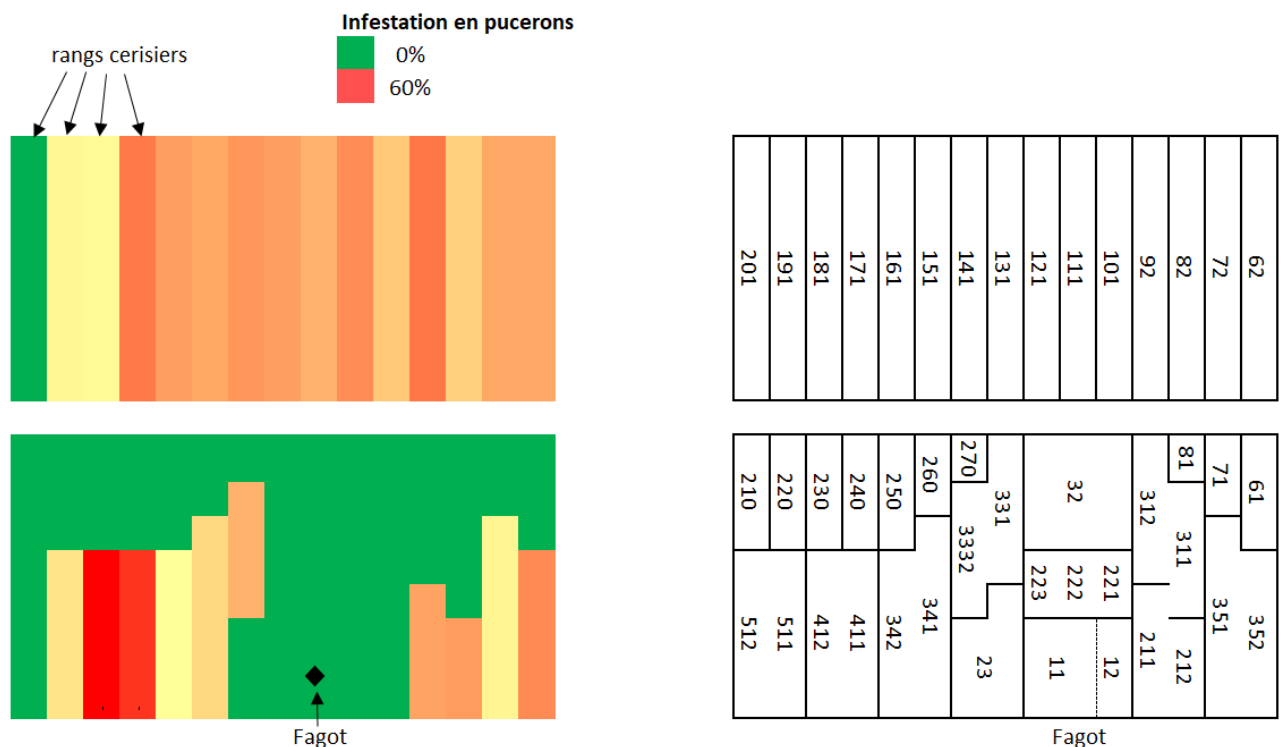


Figure 18 : répartition de l'infestation en puceron autour du fagot le 01/09/2020 (gauche : résultat ; droite : plan des zones notées)

Ces premières données d'efficacité tendent à faire ressortir une efficacité autour du fagot sur un rayon d'au moins 2 mètres.

Les essais 2022 devront fournir de nouvelles données pour étayer cette première impression.

8. Discussion

Ce projet a montré qu'il était possible d'attirer et de maintenir facilement les hyménoptères chasseurs au sein d'une parcelle de production. Le choix de l'essence des tiges des fagots et leur diamètre est important pour sélectionner au maximum les chasseurs de puceron.

Concernant la biologie des *Pemphredon* et des genres proches, nous pouvons confirmer qu'ils préfèrent se développer en climat chaud et sec. On ne peut donc pas s'attendre à avoir des colonisations avant mai juin. En revanche, ils restent actif assez longtemps, jusqu'en octobre pour l'année 2020.

L'essence végétale qui est le plus colonisée est le sureau noir.

La rapidité de colonisation est assez variable d'une situation à l'autre et d'une année à l'autre. Pour pallier cette incertitude, nous testerons au sein du projet suivant Phybi 2 l'hivernage de tiges. En effet, nous avons pu montrer que l'espèce hivernait dans les tiges sous forme de larve. Au printemps, lorsque les conditions climatiques redeviennent favorables, les larves se métamorphosent et les adultes émergent. Ainsi, nous supposons que mettre des tiges colonisées en N-1 autour de tiges neuves permettrait une colonisation de ces-dernières plus rapide.

Concernant le comportement, nous avons pu montrer que ces hyménoptères trouvaient leur habitat grâce à la vue. Ainsi, il est important de disposer les fagots en hauteur, bien visibles pour maximiser les chances d'installation d'hyménoptères. Ainsi, si pendant une culture le feuillage commence à cacher le fagot il sera bénéfique de le remonter pour le rendre de nouveau visible.

Concernant la taille des tiges, nous avons pu montrer que des tiges trop grosses, avec une section de moelle importante attirait d'autres espèces de chasseurs plus grosses. Pour maximiser la colonisation par *Pemphredon*, il est donc important de ne pas utiliser de tiges trop grosses. Les diamètres de moelle optimaux semblent se situer entre 3 et 8 mm.

Enfin, les premiers tests en production semblent indiquer une efficacité possible sur environ 2 m de rayon. Des travaux futurs devront préciser ces données qui permettront de conseiller au mieux les producteurs.

9. Conclusion

Ce travail, initié par la lecture de quelques références bibliographiques (Henri Fabre, Bernard Chaubet) montre que le groupe des hyménoptères chasseurs, souvent négligé dans la protection des plantes, pourrait apporter une aide appréciable au contrôle des ravageurs. Les *Pemphredon* sont abondant et facile à attirer sur les parcelles de production. Les quantités de pucerons chassés sont assez importantes (de 500 à 2000 pucerons par femelle) et les premières données d'efficacité tendent à montrer un effet significatif sur les populations de puceron autour des fagots.

Ce champ de travaux est donc prometteur pas que pour le contrôle des pucerons, mais aussi pour d'autres ravageurs en ajouter l'habitat qui attire ses hyménoptères chasseurs.

Projet PHYBI ; Action 5 :
Contrôle des fourmis
Années 2019, 2020 et 2021



Projet : PHYBI

Rédigé par : Julie Egon / Tom Hebbinckuys

Date de rédaction : février 2022

Référent technique : Alain Ferre

Financeurs : Région Pays de la Loire, France Agrimer

Fiche de synthèse

Contrôle des fourmis

Projet – année : PHYBI – années 2019 à 2021.

Résumé :

Ce compte-rendu présente les essais menés de 2019 à 2021 par Arexhor Pays de la Loire, dans le cadre du projet PHYBI (Nouveaux moyens de lutte physiques et biologiques) financé par la région Pays de la Loire et par France Agrimer. Ces essais avaient pour but d'identifier des stratégies de biocontrôle pour lutter contre les fourmis. Les essais se déroulaient en deux phases : 1) tests sur colonies en laboratoire ; 2) test sur colonies sauvages sur le terrain. Les produits étaient présents dans des tubes fermés par un coton sur lesquels les fourmis viennent s'abreuver. Les observations suivantes étaient régulièrement effectuées : nombre de fourmis en train de s'abreuver, présence ou non de bouchons de sable à l'entrée des tubes (indiquant que le contenu est identifié comme une menace), vigueur des ouvrières et de la reine pour les colonies en laboratoire. Le produit idéal serait donc non détecté comme néfaste, consommé par les fourmis et aboutissant à une mortalité importante. Ces observations aboutissent aux conclusions synthétisées dans le tableau suivant :

	Consommation	Mortalité	Détection/bouchons
Eau sucrée 5%	+	-	-
Eau sucrée 10%	+	-	-
Eau sucrée 20%	+	-	-
Eau sucrée 30%	+	-	-
Eau sucrée 40%	+	-	-
Eau salée 5%	-	-	-
NaHCO ₃ à 5% + eau sucrée 20%	+	-	-
NaHCO ₃ à 10%	-	?	-
Ac. borique 5% + eau sucrée 20%	+	+	+
Ac. borique 10% + eau sucrée 20%	+	+	+
Farine	?	-	?
L-Cystéine à 80g/kg + farine	?	-	?
L-Cystéine à 80g/l + eau sucrée 20%	+	+	?
Gel insecticide (cyperméthrine)	+	+	-

L'acide borique semble être la meilleure modalité cependant celui-ci est irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires et qui plus est reprotoxique, il est donc préférable de trouver une meilleure modalité. La L-Cystéine à 80g/l est consommée lorsqu'elle est mélangée à de l'eau sucrée et semble être efficace contre les fourmis. Cependant, ces derniers tests se sont réalisés sans répétition. Il serait bon de confirmer ces résultats et creuser cette voie.

Sorties opérationnelles :

Produits efficaces : acide borique 5 et 10% avec eau sucrée à 20%. L-Cystéine à 80g/l + eau sucrée à 20%, cyperméthrine en gel.

Produits inefficaces : eau salée à 5%, bicarbonate de soude 5 et 10%. L-Cystéine+farine (?)

Illustrations :



Fourmis qui s'abreuvent de l'une des modalités



Illustration d'un bouchon à l'entrée du tube

Astuces :

- Placer le produit sur les chemins empruntés par les fourmis
- Mélanger les produits insecticides à de l'eau sucrée à 20% pour la rendre attractive et consommée

Contact :

Arexhor Pays de la Loire
02-41-79-73-12

Alain Ferre : alain.ferre@astredhor.fr

Sommaire

Fiche de synthèse.....	1
Résumé	5
1. Bibliographie.....	6
2. Appâts empoisonnés.....	8
2.1 Matériel et méthode.....	8
2.1.1 Localisation.....	8
2.1.2 Conception des distributeurs des appâts.....	8
2.1.3 Appâts et matières actives utilisés.....	9
2.1.4 Témoins	10
2.2 Calendrier des interventions.....	11
2.2.1 Critères de notation	12
2.3 Validation des tests.....	12
2.4 Résultats.....	12
2.4.1 Quantité de fourmis consommant les appâts empoisonnés	12
2.4.2 Vitesse de consommation des appâts.....	14
2.4.3 Formation de bouchon de terre.....	15
3. Discussion	16
4. Conclusion	16
1. Fourmilières sauvages en extérieur	18
1.1 Matériel et méthode.....	18
1.2 Résultats.....	18
2. Fourmilières artificielles en laboratoire	21
2.1 Matériel et méthodes	21
2.2 Résultats.....	22
3. Discussion et conclusion	23
1. Fourmilières artificielles en laboratoire	24
1.1 Matériel et méthode.....	24
2. Résultats	25
3. Conclusion	25

Contrôle des fourmis

Projet PHYBI ; action 5

Travaux réalisés en 2019



Financeurs :

Conseil régional des Pays de la Loire
Producteurs adhérents

Rédigé par :

Alain Ferre, avril 2020

Référent technique :

Alain Ferre

Résumé

Les fourmis sont des insectes sociaux qui élèvent et protègent contre les auxiliaires des insectes ravageurs. Leur impact est très important pouvant aller jusqu'à l'échec de la lutte biologique.

Ce travail vise à évaluer des moyens de contrôle des fourmis. La stratégie est de leur offrir des aliments empoisonnés. Une fois ingérés par les fourmis ouvrières, nous espérons que, par trophallaxie, la reine soit empoisonnée puis tuée.

En 2019, nous avons testé trois types d'aliments, le mélange sucre-sel, le mélange acide borique-sucre et le mélange bicarbonate de soude-sucre. Le sucre sert à attirer les fourmis et le sel, le bicarbonate et l'acide borique sont les poisons. Les mesures ont consisté à mesurer le temps de consommation des appâts. Les données indiquent qu'il faut fournir des appâts liquides, sinon les fourmis sélectionnent dans le mélange les grains de sucre et délaissent les autres. De plus, si l'appât est identifié comme néfaste, alors les fourmis bouchent l'entrée du tube d'appât avec de la terre. Il semble que ce soit l'acide borique mélangé à du sucre qui est le plus consommé et le moins identifié comme néfaste. De plus la quantité à fournir par semaine serait de 15 ml.

Il est difficile d'évaluer l'effet des poisons sur la fourmilière. En 2020, nous réaliserons des tests avec des fourmilières de laboratoire pour évaluer l'effet sur la reine.

Nous avons également testé l'application de glue sur les troncs d'arbre. Cette méthode est très efficace mais l'application technique en production sera surement difficile. Ces travaux ont néanmoins permis de valider le fait que les fourmis avaient un impact majeur sur l'efficacité des auxiliaires spontanés.

1. Bibliographie

Jusqu'à présent les fourmis n'étaient pas ou peu considérées comme un acteur majeur dans nos programmes de lutte biologique ravageur-auxiliaires. Leur présence est généralement répertoriée mais leurs actions (positives ou négatives) sont difficilement évaluables. L'interaction la plus connue des fourmis avec nos ravageurs communs est notamment celle avec les pucerons et les cochenilles. Les fourmis défendent âprement les colonies des assaillants et en échange peuvent se nourrir du miellat sécrété continuellement par les pucerons ou les cochenilles. Elle est appelée interaction mutualiste car les deux protagonistes y trouvent un avantage. La défense est d'autant plus efficace qu'il existe chez les fourmis différentes castes parmi lesquelles les « soldats », dont l'activité unique consiste à défendre la fourmilière et les colonies de pucerons. Or, lorsque nous introduisons ou favorisons des auxiliaires au sein des cultures, ils représentent de fait une menace pour les colonies de pucerons et se retrouvent donc ennemis des fourmis. Jusqu'à maintenant les interactions auxiliaires-fourmis étaient probablement sous-estimées mais depuis quelques années nos observations laissent entendre qu'elles sont essentielles et à prendre en compte. Il a été observé très récemment qu'en présence de fourmis, l'efficacité des auxiliaires de foyers n'est pas suffisante pour limiter les dégâts sur culture et les conséquences économiques sont graves. Voici trois exemples qui illustrent ce propos : au sein des projets DIAPLASCE et DIAPLASCE 2 (sur la période 2014-2018) plusieurs échecs de lutte biologique ont été constatés en raison de la présence massive de fourmis dans les cultures.

- **Lutte contre la cochenille farineuse en culture de *Choisya ternata* à l'aide de chrysopes (2017)** : des larves de chrysopes ont été lâchées à la densité de 10 ou 20/m² pour lutter contre les cochenilles. En l'absence de fourmis, les 4 lâchers de chrysopes ont permis de faire passer l'infestation en cochenilles de 62 % à 8 % de nœuds infestés. En revanche, sur une parcelle où un nombre important de fourmis a été constaté, ces quatre mêmes lâchers de chrysopes n'ont eu qu'un effet très limité puisque l'infestation passe de 65 % à 52 %.

- **Utilisation de plantes de services en culture de cerisiers pour lutter contre le puceron noir du cerisier *Myzus cerasi* (2017-2018)** : présentant l'effet négatif des fourmis grâce aux observations réalisées en 2017, une modalité au sein de l'essai 2018 a consisté à exclure les fourmis des cultures. Pour cela, de la glu arboricole a été appliquée sur les troncs, empêchant les fourmis d'aller au contact des colonies de pucerons au niveau des apex de cerisiers. A la fin de cet essai, la proportion de cerisiers morts à cause d'une pullulation trop intensive de pucerons était de 82 % pour le témoin, 46 % pour les modalités où les auxiliaires ont été favorisés par des plantes de service et seulement 20 % dans la modalité « anti-fourmis ». De même, les dégâts en parcelle "sans fourmis" étaient bien moindres qu'en parcelle avec plantes de service (voir figure ci-dessous).



Figure 1 : gauche : parcelle de cerisiers avec exclusion des fourmis. Droite : parcelle de cerisier sans exclusion de fourmis

Cela démontre clairement que favoriser les auxiliaires n'est pas efficace si des fourmis sont nombreuses. A l'inverse, en l'absence de fourmis, les auxiliaires n'ont aucun frein pour une régulation des ravageurs efficace et des dégâts sur culture limités.

- **Lutte contre *Heliothrips haemorrhoidalis* en culture de *Viburnum tinus* à l'aide de chrysopes (2018):** testée en laboratoire, la chrysope s'est révélée être un prédateur très vorace puisqu'elle consomme 30 thrips par jour. De ce fait, des larves de chrysopes ont été lâchées à la densité de 10/m² pour lutter contre les thrips du feuillage (*H. haemorrhoidalis*) en culture de *Viburnum tinus*. Cependant, après deux lâchers, aucune efficacité de ces auxiliaires n'a été constatée. Supposant fortement que les fourmis avaient un rôle là-dedans nous avons observé finement la culture après un lâcher de chrysope. Comme supposé, les fourmis défendent les colonies de ravageurs et soit expulsent les chrysopes de la culture, soit les tuent comme le montre les photos ci-dessous, prises lors de notre essai.



Figure 2 : deux fourmis soldates photographiées en train de tuer une larve de chrysope

Ces différentes constatations montrent qu'il est primordial d'exclure les fourmis des cultures de façon à laisser le champ libre aux auxiliaires spontanés ou lâchés pour une régulation biologique efficace de certains bioagresseurs. D'après les informations recueillies dans la bibliographie, plusieurs pistes sont envisagées pour réaliser cela (certaines ont été testées en 2018 au sein du projet Diaplasce) :

- Application de glu arboricole (Huile de ricin, colophane et cire d'abeille) sur le tronc des arbres. Cette solution a déjà été testée avec une bonne efficacité en 2018 sur cerisier mais ne peut concerner que les cultures érigées où l'application est réalisable et mécanisable tronc par tronc. Cette méthode servira de témoin positif pour les cultures érigées.

- Saupoudrage de terre de Diatomée en pourtour de parcelles ou au pied des arbres. Les diatomées fossilisées sont riches en silice, matériau connu pour être abrasif. De ce fait, les fourmis en marchant dans la terre de diatomée se créent de nombreuses lésions aboutissant à une déshydratation du corps ou créant des voies d'accès à de nombreuses bactéries. Cette solution a déjà été testée également dans le projet DIAPLASCE, au pied des cerisiers en condition extérieure mais le produit n'était pas suffisamment rémanent. En effet, cela nécessitait de remettre du produit toutes les deux semaines en conditions sèches et plus fréquemment encore en conditions humides. De plus, cette solution testée en 2018 n'a pas donné satisfaction. Cette solution ne sera pas travaillée.

- Solution d'acide borique. Substance naturelle, l'acide borique est disponible sous forme de poudre. Mélangé à de l'eau et à du sucre, il est consommé par les fourmis qui sont ainsi empoisonnées [Web4]. De plus, la trophallaxie permet une diffusion de l'acide au sein de la fourmilière et donc l'empoisonnement affecte même les larves ou les ouvrières qui ne sortent pas. Le but ultime étant de tuer la reine.

- Solution de sucre ou miel/sel. Une solution riche en sucre et en sel permettrait de venir à bout des fourmis, notamment des larves. Pour cela un piège avec un mélange contenant $\frac{1}{4}$ d'eau miellée et $\frac{3}{4}$ de sel agirait par ingestion. Comme pour l'acide borique, les fourmis se nourrissant de ce mélange vont ensuite aller nourrir leurs congénères qui ne sortent pas de la fourmilière (larves, ouvrières et reine) en régurgitant leur contenu stomacal empoisonné. La forte concentration en sel va alors les tuer.

2. Appâts empoisonnés

2.1 Matériel et méthode

2.1.1 Localisation

Les essais ont été conduits à la station d'expérimentation située 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts de Cé.

2.1.2 Conception des distributeurs des appâts

Nous avons utilisé un tube à essai de 10 ml. Ils sont remplis avec 8 ml d'appât liquide puis bouchés avec un tampon de coton. Sur le terrain, ils sont placés horizontalement au sol sur un passage de fourmis et recouvert d'une coupe retournée ouvertes des deux côtés. L'illustration suivante montre un tube en place.



Figure 3 : dispositif de distribution de l'appât empoisonné

Les appâts solides sont présentés de la même manière, dans un tube à essai laissé ouvert.

2.1.3 Appâts et matières actives utilisés

Nous avons testé les produits et les doses suivants.

Tableau 1 : appâts et matières actives testées

Codage	Matière active	Concentration (% w/w)	Appât	Concentration (%w/w)	Formulation
AcB10-S15 L	Acide borique	10	Sucre	15	Liquide
AcB10-S20 L	Acide borique	10	Sucre	20	Liquide
BiNa5-S15 L	Bicarbonate de sodium	5	Sucre	15	Liquide
BiNa5-S20 L	Bicarbonate de sodium	5	Sucre	20	Liquide
BiNa5-S15 L	Bicarbonate de sodium	5	Sucre	15	Liquide
BiNa10-S20 L	Bicarbonate de sodium	10	Sucre	20	Liquide
BiNa20-S20 L	Bicarbonate de sodium	20	Sucre	20	Liquide
BiNa50-S50 S	Bicarbonate de sodium	50	Sucre	50	Solide
Sel5-S15 L	Sel NaCl	5	Sucre	15	Liquide
Sel5-S20 L	Sel NaCl	5	Sucre	20	Liquide
Sel10-S20 L	Sel NaCl	10	Sucre	20	Liquide
Sel20-S20 L	Sel NaCl	20	Sucre	20	Liquide
TE	Aucun	0	Aucune	0	Liquide

2.1.4 Témoins

A partir d'août, alors que les températures et l'évaporation sont élevées, nous avons installé des tubes témoins qui servent à mesurer le niveau d'évaporation expliquant la diminution des quantités d'appâts liquides.

En 2020, sera utilisé en plus un témoin avec du sucre mais sans appât. Cette modalité servira à voir si le poison, dans les autres modalités, est détecté.

2.2 Calendrier des interventions

Tableau 2 : types d'appâts empoisonnés suivant la période de l'essai

Date de mise en place	Date de retrait	AcB10-S15 L	AcB10-S20 L	BiNa5-S15 L	BiNa5-S20 L	BiNa10-S20 L	BiNa20-S20 L	BiNa50-S50 S	S5-S15 L	S5-S20 L	S10-S20 L	S20-S20 L	TE
18/06/19	03/07/19		X									X	
03/07/19	08/07/19		X				X	X				X	
09/07/19	16/07/19		X			X		X			X		
17/07/19	01/08/19		X		X			X			X		
01/08/19	08/08/19		X		X			X		X			
08/08/19	02/09/19		X	X						X			X
02/09/19	26/09/19	X		X					X				X
01/10/19	16/10/19	X		X					X				X

2.2.1 Critères de notation

Deux critères de notation sont utilisés. Le premier consiste à noter le nombre de fourmis en train de se nourrir sur le coton au moment de la notation. La variable utilisée pour l'interprétation sera l'intégrale de la courbe obtenue divisée par le nombre de jours de test ce qui est un indicateur du nombre de total de prises alimentaires journalières. Le second critère est la vitesse de vidage des tubes. Pour cela à chaque notation, la quantité de liquide ou solide restant sont relevés. Cette vitesse de consommation est un indicateur de la qualité de l'appât. Enfin, des données qualitatives sont notées pour éviter sélectionner les données interprétables comme le fait que le bouchon ne soit plus en contact avec le liquide ou bien la disposition par les fourmis d'un bouchon de terre devant le bouchon de coton.

2.3 Validation des tests

De nombreuses fourmis ont été observées en train de se nourrir sur les bouchons. De plus, la vitesse de vidage de certain tube est bien super à celle des tubes témoins.

Par conséquent, la validité des protocoles est validée donnant la possibilité d'interpréter les résultats.

2.4 Résultats

2.4.1 Quantité de fourmis consommant les appâts empoisonnés

La figure suivante présente le nombre moyen de fourmis observé se nourrissant par date de notation.

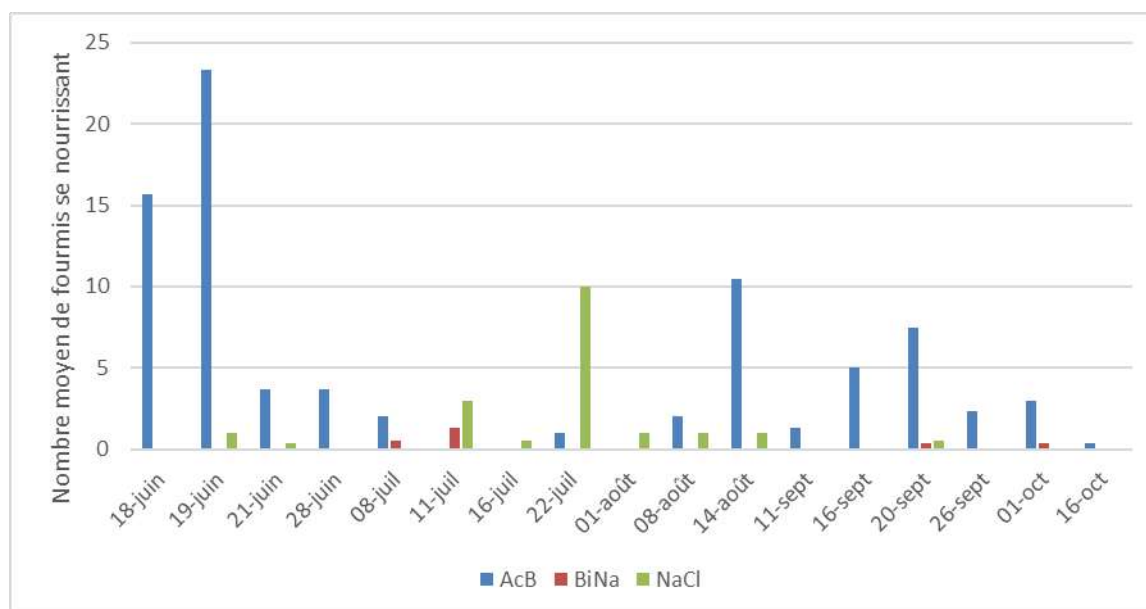


Figure 4 : nombre moyen de fourmis se nourrissant sur le coton par type de poison et par date de notation

Ces données nous montrent de grandes variations suivant l'appât et la saison. Le mélange acide borique / sucre est le plus consommé suivi de mélange sel/sucre. Celui à base de bicarbonate l'est très peu.

Lorsque l'on regarde uniquement les données de l'acide borique, la consommation en juin et en septembre est nettement plus importante.

Les données concernant l'intégrale du nombre de fourmis sur les bouchons nous donnent de nouvelles informations.

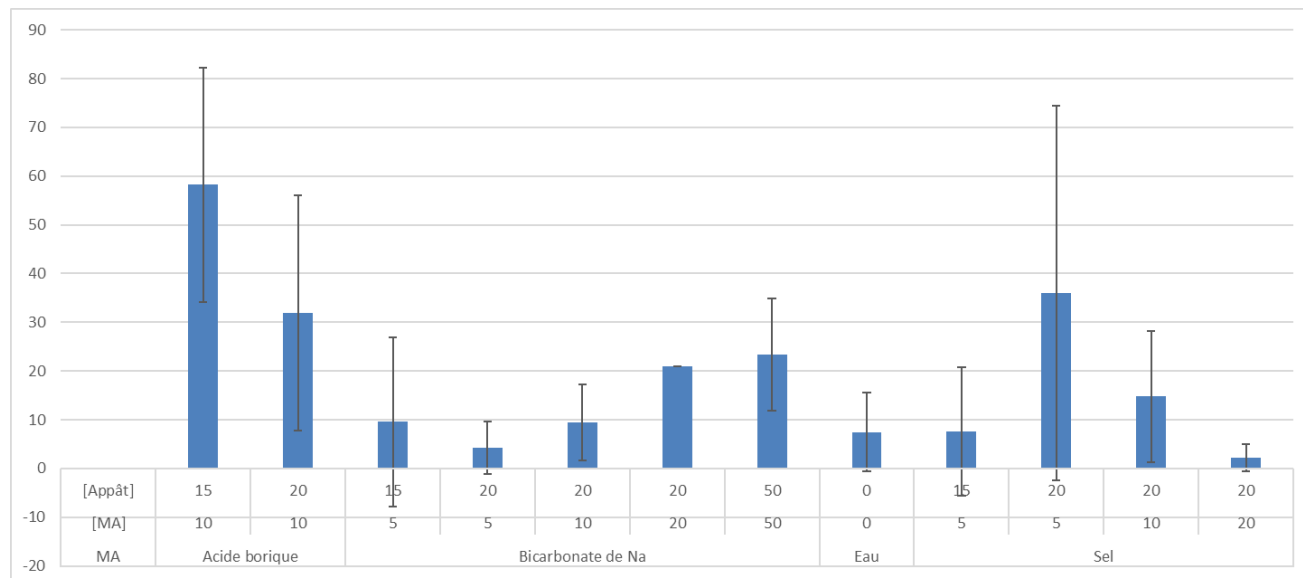


Figure 5 : nombre de fourmis par jour sur les bouchons en fonction de la matière active et de sa concentration

Face aux écart-types importants, nous devons rester prudents quant à l'interprétation des résultats. *A priori*, l'acide borique est le plus volontiers consommé. De plus, les données du sel semblent indiquer que plus la concentration de sel est importante et plus le nombre de fourmis est faible. Ce poison est détecté et délaissé par les fourmis. La présence de bouchon de terre mis devant le bouchon de coton par les fourmis, nous montre qu'elles détectent la dangerosité du mélange.

Les données 2020, permettront d'améliorer l'interprétabilité des données.



Figure 6 : fourmis se nourrissant sur un tube d'acide borique+sucre

2.4.2 Vitesse de consommation des appâts

Le graphique suivant présente les données 2019. Les volumes restants ont été relevés tous 3 à 7 jours et le climat jouant beaucoup sur la consommation et l'évaporation des mélanges, ces données ne peuvent être considérées comme très fiables. Elles permettent cependant d'esquisser certains enseignements.

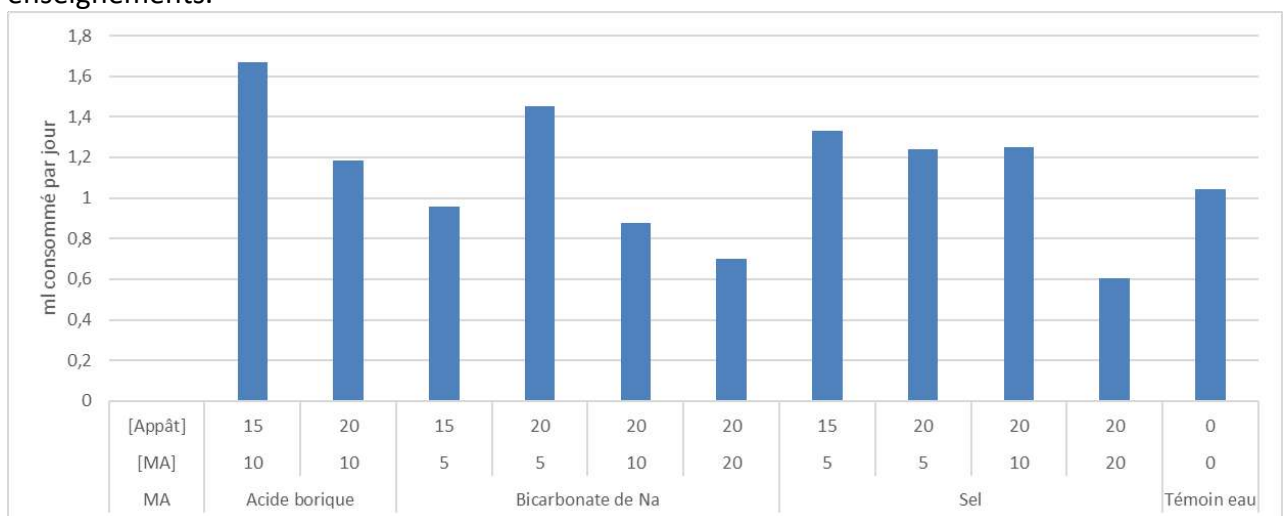


Figure 7 : consommation journalière d'appât empoisonné.

Il semble que la concentration de sucre (notés [Appât]) n'a pas d'influence. Puisque les consommations maximales sont similaires que la concentration soit de 15 ou de 20 % w/w. En effet, ces concentrations étant très proche du taux de saturation, la différence gustative doit être faible.

Concernant les concentrations de matière active, il semble que les fourmis détectent le bicarbonate de Na en 5 et 10% de concentration car la consommation diminue à partir de 10%. De même pour le sel, le niveau de détection semble se situer entre 10 et 20%.

2.4.3 Formation de bouchon de terre

La formation des bouchons de terre nous indique que les fourmis détectent une matière néfaste. Elles en bloquent alors d'accès avec de la terre. Le graphique suivant présente la proportion de bouchon par modalités.



Figure 8 : bouchon de terre formé par les fourmis devant le bouchon de terre d'un tube de mélange sel-sucre.

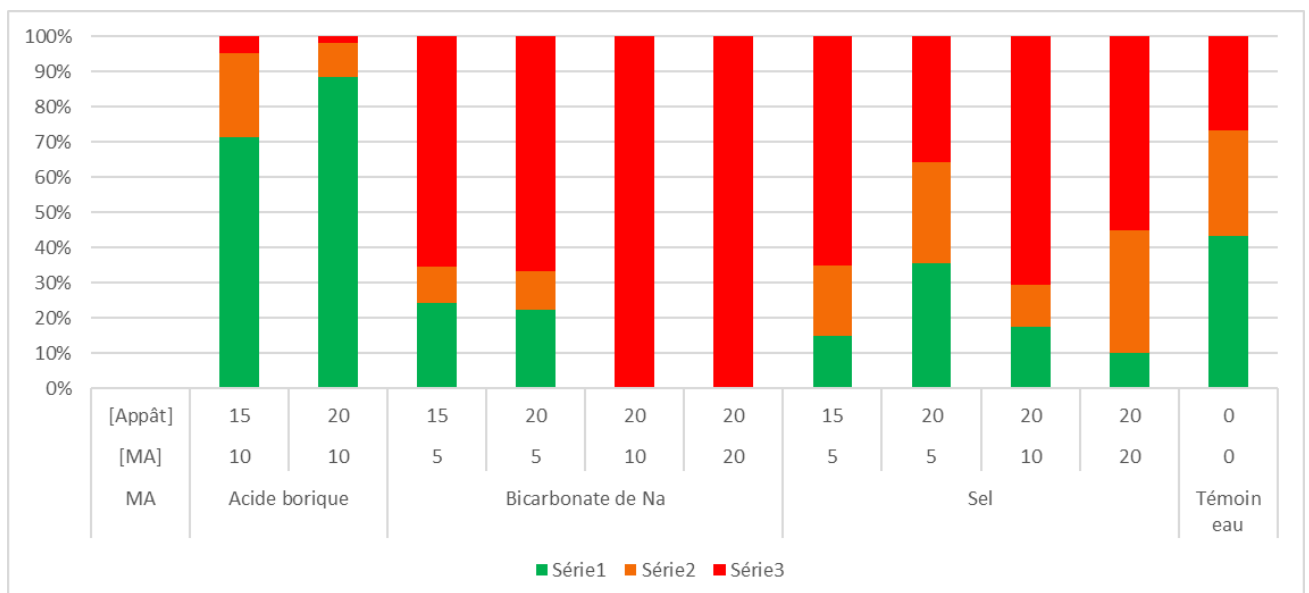


Figure 9 : proportion de tubes fermés par un bouchon de terre

Clairement, l'acide borique ne déclenche pas ou peu la formation de bouchons de terre. En revanche, le sel et le bicarbonate, même à faible concentration, entraîne une formation massive de bouchon.

En comparant la proportion de bouchon en fonction de la concentration d'appât à concentration de MA constante, on constate qu'à 20% il y a un peu moins de bouchon qu'à 15%.

3. Discussion

Ces premiers résultats permettent de préciser le comportement des fourmis (sans préjuger de l'efficacité des matières actives utilisées). D'abord, le sucre concentré à 15% semble être suffisant. Ensuite, l'acide borique paraît être la MA la plus consommée. Le sel et le bicarbonate de sodium à partir de 10% sont en général rejetés par les fourmis.

Les données concernant la formation de bouchons de terre clarifient cela. Seul l'acide borique ne déclenche pas ce comportement. Les autres MA sont détectées même à faible concentration et déclenche la formation de bouchon. Même au niveau des témoins eau, des bouchons sont observés. L'eau utilisée venant du réseau d'eau potable, peut-être que les fourmis détectent une molécule, par exemple le chlore, qui déclenche la formation de bouchon.

Enfin, la présence de sucre, limite les bouchons de terre et il semble de plus le sucre est concentré et moins il y a de bouchons formés.

Ainsi, nous pouvons valider l'intérêt du protocole utilisé pour quantifier la perception des MA sans préjuger de leur efficacité. En 2020, des adaptations devront être faites :

- Ajout d'un témoin eau-sucre
- Test de différentes concentrations de sucre pour valider que plus la concentration est forte et plus l'appât est accepté
- Utiliser un sirop de sucre pour tester des concentrations supérieures au taux de saturation à température ambiante pouvant permettre d'acceptation de MA à des concentrations plus fortes
- Noter les quantités restantes tous les jours à heure fixe

4. Conclusion

Les premiers résultats indiquent que l'appât empoisonné le plus accepté et consommé est l'acide borique. Il faudra apporter des quantités d'environ 15 ml / semaine.

En 2020, nous affinerons ces données et préciseront l'impact de l'appât sur l'acceptation du mélange. De plus, des travaux sur fourmilière en laboratoire devront permettre d'apporter des données concernant l'efficacité des appâts empoisonnés.

Contrôle des fourmis

Projet PHYBI ; action 5

Travaux réalisés en 2020 et 2021



Financeurs :

Conseil régional des Pays de la Loire
Producteurs adhérents

Rédigé par :

Julie Egon, Tom Hebbinckuys

Référent technique :

Alain Ferre

Année 2020

1. Fourmilières sauvages en extérieur

1.1 Matériel et méthode

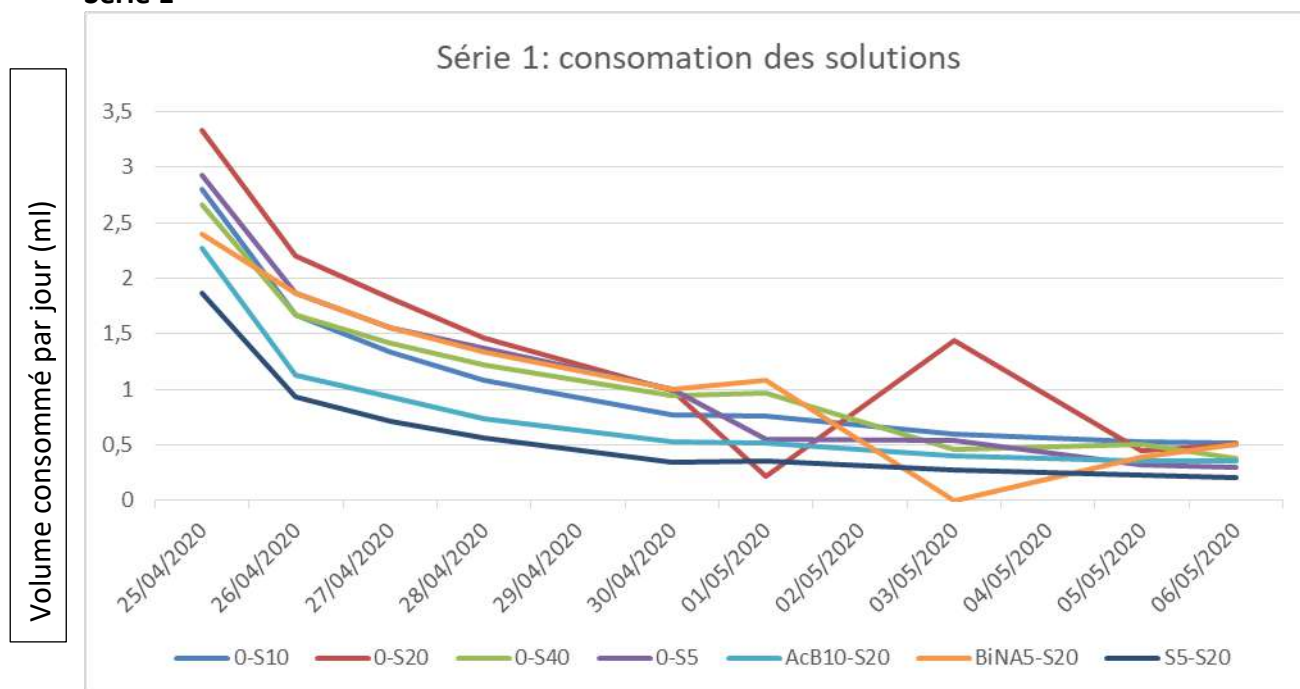
Trois séries ont été menées en 2020, même protocole qu'en 2019 (voir chapitre 3. Dans le compte-rendu 2019).

Les modalités suivantes ont été mises en place :

- Solutions sucrées à 5, 10, 20 et 40%
- Solution salée à 5%
- Acide borique à 10% mélangé à une solution sucrée à 20%
- Bicarbonate de soude à 5% + solution sucrée à 20%

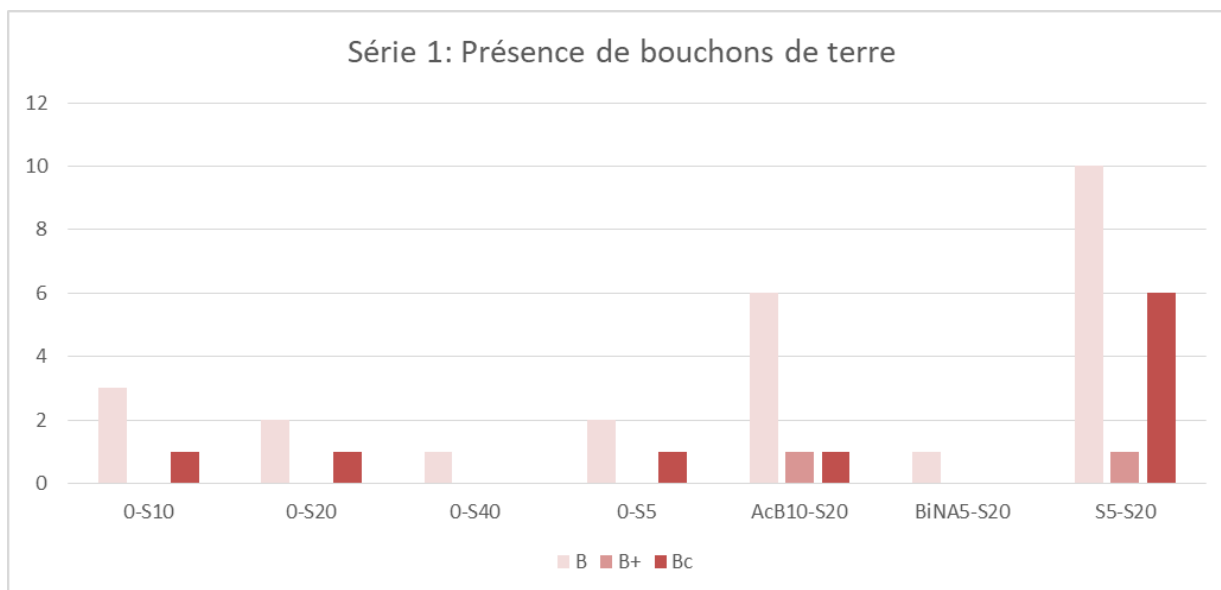
1.2 Résultats

Série 1



La solution de sucre à 20% est plus consommée par rapport à celle à 10% et celle à 40%. La solution contenant du sel est très peu consommée, de même que la solution contenant de l'acide borique. Le bicarbonate de soude est plutôt bien consommé par les fourmis.

Occurrences durant la série

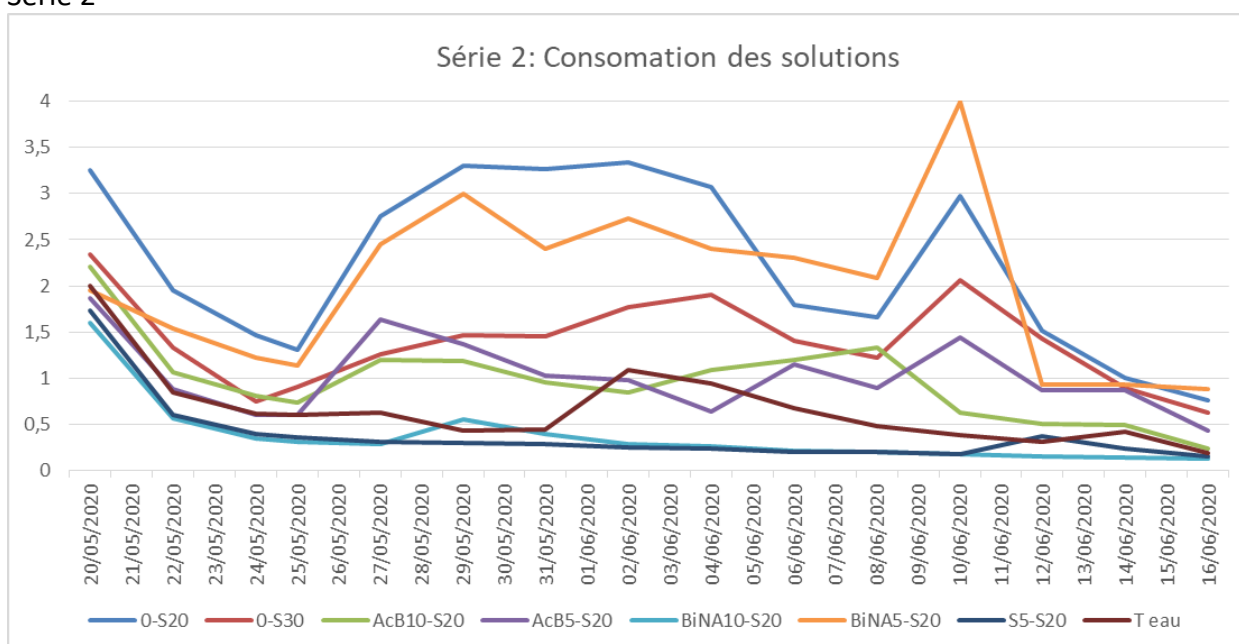


La modalité ayant le plus entraîné la formation de bouchon de terre est celle contenant du sel. L'acide borique est également bien détecté.

Les autres modalités présentent un nombre de bouchons similaire, que ce soit en présence de sucre seul ou avec un autre mélange.

Série 2

Volume consommé par jour (ml)

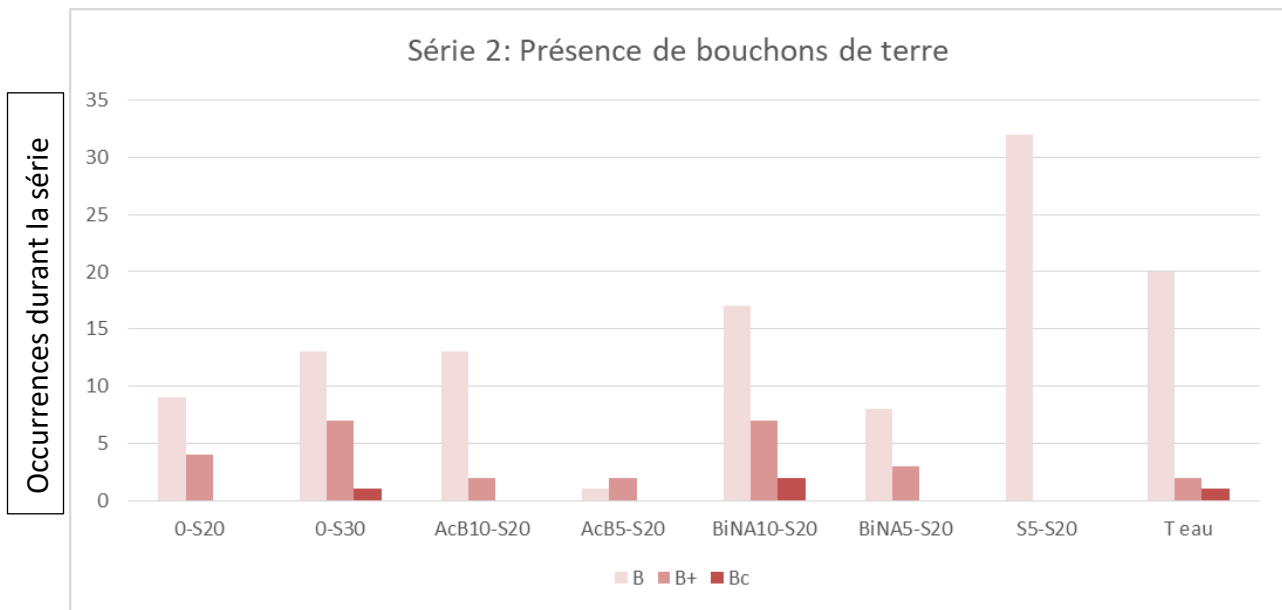


Les différences de consommation sont plus marquées sur cette série estivale. Peut-être le besoin en eau est-il plus fort sur cette période.

Le sucre à une concentration de 20% est bien plus consommé qu'à 30%.

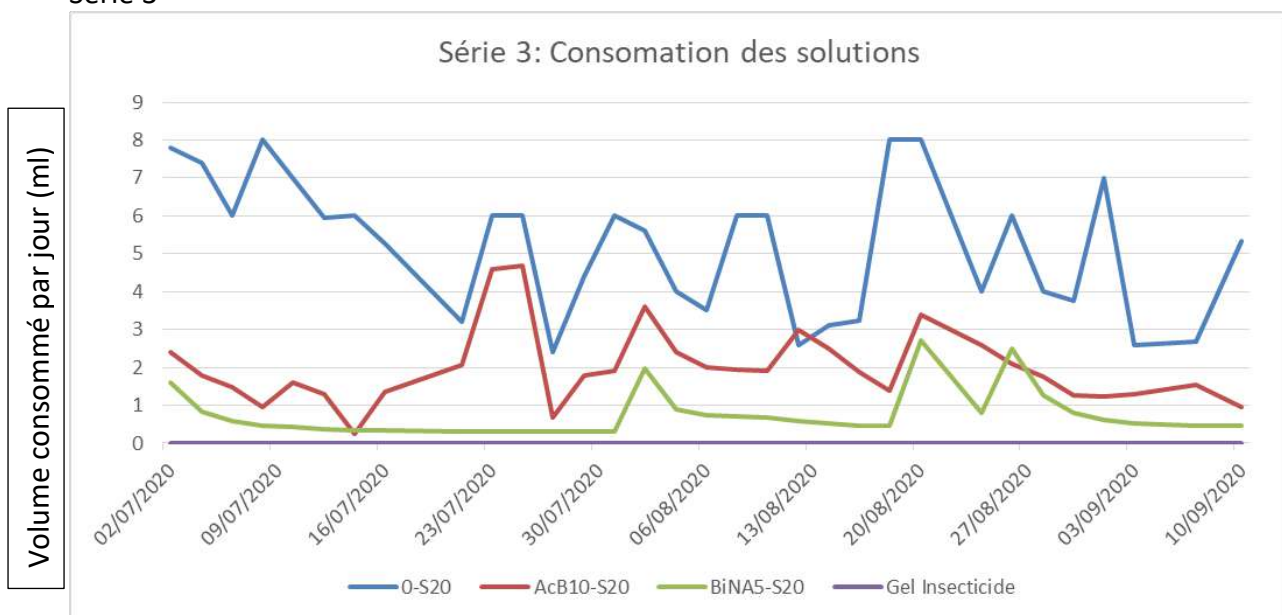
Le bicarbonate est bien consommé à 5%, mais pas du tout à 10%.

L'acide borique (5 et 10%) n'est pas beaucoup consommé, mais toujours plus que le sel.



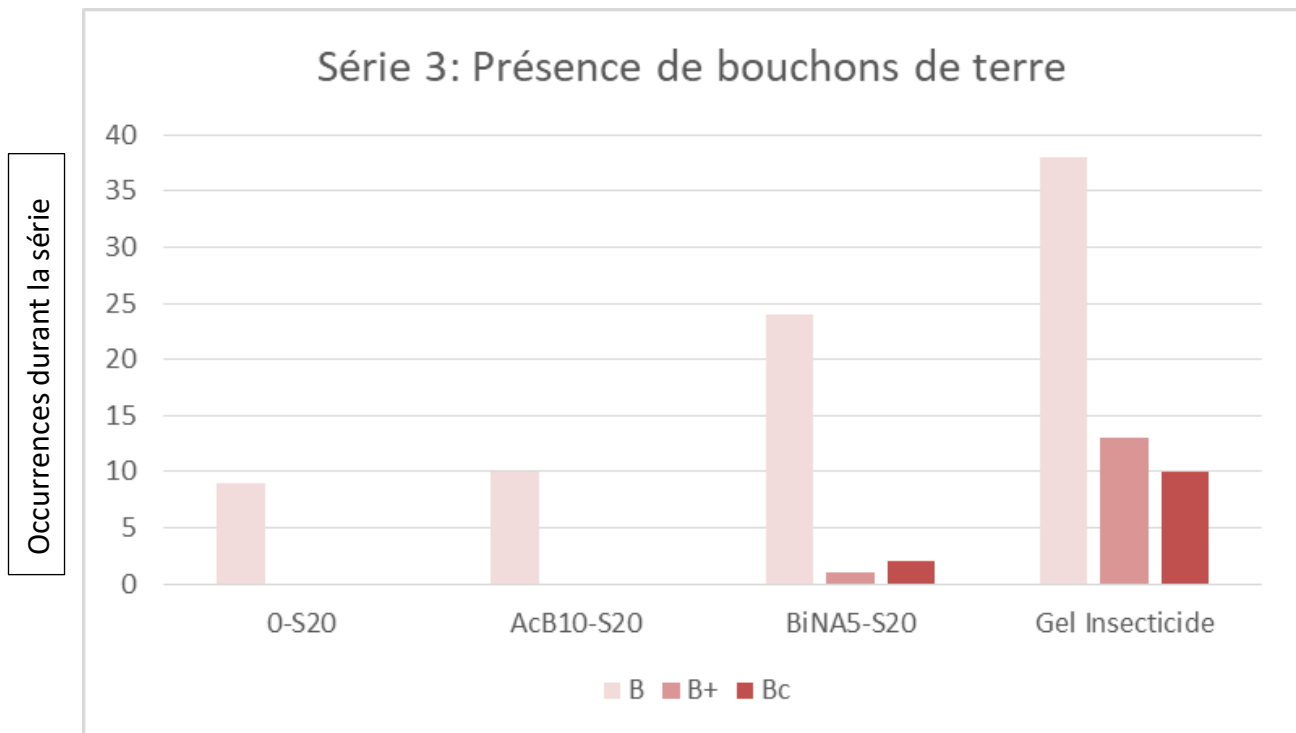
Les modalités présentant le plus de bouchons sont le sel, et surprenamment l'eau seule. Le bicarbonate présente également un nombre de bouchons élevé, mais beaucoup plus proche des solutions simplement sucrées.

Série 3



L'acide borique est mieux consommé, au contraire du bicarbonate que les fourmis ont très peu prélevé. Le sucre à 20% confirme son attractivité, nous conserverons cette concentration par la suite.

Nous n'avons pas pu suivre la consommation de gel insecticide, celui-ci étant présent sous forme de gel et non pas de solution comme les autres modalités.



Le gel insecticide a occasionné la formation d'un grand nombre de bouchons, montrant que les fourmis souhaitent en condamner l'accès. Le bicarbonate présente également un nombre non négligeable de bouchons. En revanche, l'acide borique et le sucre sont peu touchés par le phénomène.

2. Fourmilières artificielles en laboratoire

2.1 Matériel et méthodes

Installation des fourmilières

Les fourmilières ont été achetées à l'entreprise anthouse.es Elles ont été installées suivant le protocole fournis par cette entreprise.

Les gynes (reines fourmis) sont conditionnées dans des tubes dans lesquels elles doivent rester le temps de s'être reproduites assez pour que l'on puisse les installer dans une nouvelle fourmilière. Nous avons attendu qu'il y ai entre 5 et 10 ouvrières avant de les faire sortir des tubes. On considère que la colonie est prête à être sortie du tube quand les ouvrières essaient de sortir du tube en creusant le coton.

Il faut alors monter les fourmilières : humidifier le mélange de sable et d'argile (17 ml d'eau ont été ajoutés) puis le placer dans le « sandwich » (partie verticale). Ajouter les éléments de décor de la partie supérieure (sable coloré humidifié (3ml), graviers) et enfin positionner l'abreuvoir. Ne pas oublier de boucher les trous latéraux avec les bouchons rouges prévus à cet effet.

Les fourmilières sont placées à température ambiante, à l'abri de la lumière directe.

Entretien des fourmilières

Les colonies vont ensuite explorer leur environnement et creuser des galeries.

L'abreuvoir doit toujours contenir de l'eau, ce qui nécessite de le remplir une fois par jour (en été). De temps en temps, une solution protéinée diluée à 30% (environ) et placée d'un côté de l'abreuvoir pour compléter l'alimentation. Des graines (petite taille) sont placées de temps en temps dans la partie supérieure (il faut qu'il y en ai toujours).

Régulièrement, la partie supérieure est brumisée de manière à entretenir une légère humidité de l'environnement (4-5 pshits par fourmilière)

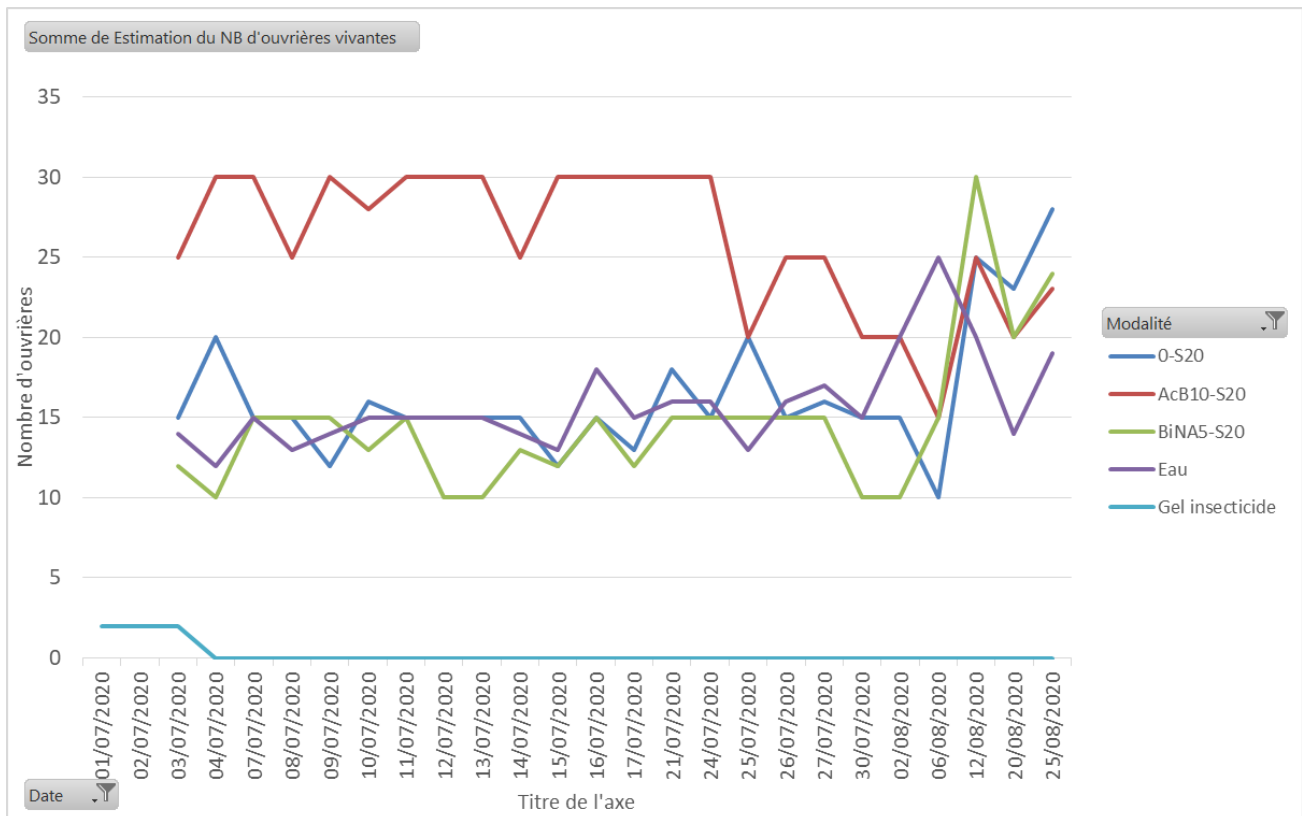
Test en fourmilières

Les fourmilières testées doivent avoir un développement similaire, ce qui est évalué en nombre d'individus (mais c'est difficile à évaluer).

Lors du test, un tube contenant le produit testé est placé dans la partie supérieure de la fourmilière. La mortalité est ensuite observée sur la reine.

L'abreuvoir est enlevé pendant les essais, de manière à forcer les fourmis à s'y nourrir.

2.2 Résultats



Le gel insecticide (cyperméthrine) a entraîné une mortalité très rapide.

Le bicarbonate de soude n'a pas permis de provoquer de la mortalité.

L'acide borique (10%) a provoqué une certaine mortalité des ouvrières au bout d'un mois environ avec une baisse de la fécondité de la reine, qui a fini par mourir après la fin de l'essai.

3. Discussion et conclusion

Précisons que les essais ont été menés avec l'espèce *Messor barbarus*, une fourmi granivore exotique. Nous avions prévu de mener ces essais avec des *Lasius niger*, mais le fournisseur nous a envoyé la mauvaise espèce. *M. barbarus* n'était pas l'espèce la plus indiquée car elle n'est pas attirée par le sucre (contrairement à *L. niger*) qui est le produit attractif (témoin positif de consommation) utilisé dans nos essais. De plus, il est plus intéressant de faire des essais avec une fourmi locale, qui pose effectivement des problèmes aux agriculteurs de notre région.

La présence de bouchons à l'entrée des tubes placés sur les chemins des fourmis peut être interprétée comme l'identification d'une menace pour les congénères. Les fourmis détectant ces substances forment alors un bouchon de sable et de gravillons pour empêcher les autres fourmis de la colonie d'aller s'y nourrir. La substance idéale serait donc mortelle mais non détectée et donc consommée par les fourmis.

En termes de résultats nous pouvons dire que :

- Le sucre dosé à 20% en mélange avec de l'eau est plus attractif qu'à d'autres concentrations, c'est cette concentration qui sera utilisée en tant qu'attractif et nous le conservons en témoin positif de consommation.
- Le gel insecticide est efficace rapidement, il continuera à être utilisé en tant que témoin d'efficacité, mais il est cependant rapidement détecté comme « menace » par les fourmis.
- Le bicarbonate de soude à 5% n'a pas permis de provoquer de la mortalité, bien qu'il soit consommé sur le terrain. En revanche, le bicarbonate de soude à 10% est peu consommé, nous n'avons donc pas évalué sa mortalité.
- L'acide borique (10%) a provoqué une certaine mortalité des ouvrières au bout d'un mois environ avec une baisse de la fécondité de la reine. Sur le terrain, il est plutôt bien consommé (bien que ce soit variable suivant les essais).

Année 2021

Des recherches bibliographiques en 2021 nous ont permis d'identifier une nouvelle substance potentiellement efficace : la L-Cystéine, une Substance de Base à action insecticide contre les fourmis. L'ITAB conseille de l'appliquer à la dose de 80g/kg en mélange avec de la farine, en saupoudrage au-dessus des fourmilières. Nous avons décidé de tester cette substance en 2021. Nous l'avons testée en mélange avec de la farine mise à disposition des fourmis dans un récipient (impossibilité de saupoudrer le mélange sous peine de condamner la fourmilière pour de prochains essais). Nous avons également testé ce produit sous forme liquide en mélange avec de l'eau et du sucre.

1. Fourmilières artificielles en laboratoire

La L-Cystéine sera donc évaluée, de même que des substances issues des essais précédents en essayant de les masquer par mélange avec du sucre afin qu'elles soient consommées par les fourmis.

Ainsi, les modalités suivantes ont été testées :

- Acide borique à 5% en formulation liquide avec 20% de sucre

Nous avons décidé de baisser la dose d'acide borique, car la dose de 10% ne permettait pas un bon mélange de la substance avec de l'eau (contrairement à la dose de 5%)

- L-Cystéine à 80g/L en mélange avec de l'eau et 20% de sucre
- L-Cystéine à 80g/kg mélangée à de la farine
- Le gel insecticide (cyperméthrine) en tant que témoin d'efficacité
- Le sucre à 20% dans de l'eau en tant que Témoin négatif de mortalité pour les modalités liquides
- La farine en tant que Témoin négatif de mortalité pour les modalités solides.

1.1 Matériel et méthode

L'espèce de fourmis utilisée cette année est *Lasius niger*. Les fourmilières ne se sont pas développées comme prévu. L'installation a été beaucoup plus lente qu'avec l'espèce utilisée l'année dernière (*Messor barbarus*) et une mortalité spontanée a été observée. De ce fait nous n'avons pu mener nos expérimentations que sur un nombre limité de fourmilières (6) et nous n'avons pas pu inclure de répétitions.

Nous avons réutilisé les fourmilières en plexiglass utilisées les années précédentes.

Les notations ont été effectuées chaque semaine entre juin et août. Plusieurs critères ont été notés :

- L'activité de la reine
- L'activité des ouvrières
- La présence de larves
- La présence d'œufs

En fourmilière artificielle, il est très compliqué d'évaluer le nombre d'individus. C'est pourquoi nous avons choisis ces critères.

L'essai a duré environ deux mois.

2. Résultats

Somme de Etat Reine (1=active, 0= inactive)	Gel insecticide	L-Cystéine 80g/L + sucre à 20%	Acide borique à 5% + 20% de sucre	Sucre à 20 %	Farine + Cystéine 80g/kg	L- Farine
28/06/2021	1	1	1	1	1	1
08/07/2021	1	1	0	1	1	1
21/07/2021		0	0	1	1	1
28/07/2021	0	0	0	1	1	1
04/08/2021	0			1	1	1
11/08/2021	0			1	1	1
18/08/2021				1	1	1
Total général	2	2	1	7	7	7

Ce tableau montre la mortalité des reines au sein des différentes fourmilières. La valeur « 1 » indique une reine toujours vivante et active alors que la valeur « 0 » indique une mortalité.

Tout d'abord on peut observer que le protocole est validé puisqu'au sein de nos deux modalités témoin négatif de mortalité (farine et eau sucrée), les reines sont vivantes durant tout l'essai alors que la reine exposée au gel insecticide (témoin positif) meure rapidement.

Tout comme celle exposée au gel insecticide, les reines exposées à la L-Cystéine mélangée à du sucre (sous forme liquide) et à l'acide borique (également sous forme liquide, mélangé avec du sucre) meurent également rapidement : en moins de 10 jours pour l'acide borique et entre 2 et 3 semaines pour la L-cystéine à 80g/L + sucre à 20%.

En revanche, pas de mortalité observée pour la modalité farine + L-Cystéine.

L'observation des ouvrières a donné des résultats similaires, tandis que les œufs et les larves n'ont pas pu être observés facilement.

3. Conclusion

L'acide borique confirme son effet insecticide, et la dose de 5% semble être suffisante pour cela. La L-Cystéine a donné de bons résultats sous forme liquide (en mélange avec une solution sucrée à 20%). Sous forme solide, aucune mortalité n'a été constatée. Le mode d'administration est très probablement en cause et il serait nécessaire de tester ce mélange en saupoudrage, comme préconisé par l'ITAB. Dans un second temps, il faudrait valider ces résultats avec des répétitions. Enfin, il est nécessaire de tester cette substance sur le terrain, de manière à évaluer son attractivité dans un environnement diversifié en sources de nourriture.

Projet PHYBI ; Action 1 : Lutte physique
Tâche 1.2 piégeages mécaniques
Années 2019, 2020 et 2021



Projet : PHYBI

Rédigé par : Tom Hebbinckuys

Date de rédaction : juin 2022

Référent technique : Tom Hebbinckuys

Financeurs : Région Pays de la Loire, France Agrimer

Fiche de synthèse

Piégeage mécanique

Projet – année : PHYBI – années 2019 à 2021.

Résumé :

Ce compte-rendu présente les essais menés de 2019 à 2021 par Arexhor Pays de la Loire, dans le cadre du projet PHYBI (Nouveaux moyens de lutte physiques et biologiques) financé par la région Pays de la Loire et par France Agrimer. L'objectif de cette partie du projet était d'évaluer l'efficacité du piégeage mécanique à l'aide de bandes jaunes engluées.

Ces quelques années d'essai ont permis de montrer que le passage répété d'un piège mécanique (plusieurs allers-retours par jour) à l'aide de bandes jaunes engluées semble efficace pour limiter la pression en ravageurs. Rappelons que ce piégeage ne permet de piéger que des adultes (volant ou sautant) et que cela limite donc les pontes et le nombre de larves sur la culture. Les ravageurs ciblés ici étaient les thrips et les cicadelles. Le piégeage des cicadelles semble plus efficace car fréquemment des dizaines ou centaines de cicadelles a été observées sur bandes jaunes et aucun adultes ni aucun dégât sur culture. Lorsque la pression est très importante, ce levier à lui seul ne suffit pas et des dégâts sont tout de même visibles en culture mais permet de limiter la proportion. Une partie des résultats concernant les cicadelles peut donc être résumé comme suit :

- Au total sur 3 ans d'essais et différentes cultures, 692 cicadelles ont été piégées.
- 6 fois moins de dégâts sur primevères en pression modérée
- 17% de feuilles avec dégâts en moins en culture très sensible (sauge) avec pression forte

Le bilan sur thrips est plus mitigé mais cela semble tout de même limiter l'installation des ravageurs sur culture.

- Au total sur 3 ans d'essais et différentes cultures, 3982 thrips ont été piégés.
- En pression modérée et si le piégeage est régulier et mis en place dès le début de la culture, les bandes jaunes semblent efficaces pour piéger les adultes et limiter leur installation, et donc les dégâts engendrés, sur la culture.
- En cas de forte pression, ce levier seul ne suffit pas mais participe tout de même à limiter les dégâts.

Sorties opérationnelles :

Une fréquence de 8 allers-retours par jour, (départ toutes les deux heures) permet de piéger un nombre important de ravageurs. Attention cependant à l'effet réduction de croissance.

Illustrations :**Astuces :**

- Remplacer régulièrement la bande pour observer plus facilement les ravageurs sans « pollution » des autres organismes

Contact :

Arexhor Pays de la Loire
02-41-79-73-12

Alain Ferre : tom.hebbinckuys@astredhor.fr

Sommaire

Fiche de synthèse.....	1
Résumé	4
1. Bibliographie.....	5
2. Bandes engluées	7
2.1 Matériel et méthode.....	7
2.1.1 Localisation.....	7
2.1.2 Matériel	7
3. Résultats	9
3.1 Cicadelles :	9
3.1.1 Cicadelles 2019.....	9
3.1.2 Cicadelles 2020.....	10
3.1.1 Cicadelles 2021.....	10
3.2 Thrips :.....	10
3.2.1 Thrips 2019.....	10
3.2.1 Thrips 2020.....	11
3.2.2 Thrips 2021.....	12
4. Conclusion	12

Résumé

L'objectif de cette partie du projet était d'évaluer l'efficacité du piégeage mécanique à l'aide de bandes jaunes engluées.

Ces quelques années d'essai ont permis de montrer que le passage répété d'un piège mécanique (plusieurs allers-retours par jour) à l'aide de bandes jaunes engluées semble efficace pour limiter la pression en ravageurs. Rappelons que ce piégeage ne permet de piéger que des adultes (volant ou sautant) et que cela limite donc les pontes et le nombre de larves sur la culture. Les ravageurs ciblés ici étaient les thrips et les cicadelles. Le piégeage des cicadelles semble plus efficace car fréquemment des dizaines ou centaines de cicadelles a été observées sur bandes jaunes et aucun adultes ni aucun dégât sur culture. Lorsque la pression est très importante, ce levier à lui seul ne suffit pas et des dégâts sont tout de même visibles en culture mais permet de limiter la proportion. Une partie des résultats concernant les cicadelles peut donc être résumé comme suit :

- Au total sur 3 ans d'essais et différentes cultures, 692 cicadelles ont été piégées.
- 6 fois moins de dégâts sur primevères en pression modérée
- 17% de feuilles avec dégâts en moins en culture très sensible (sauge) avec pression forte

Le bilan sur thrips est plus mitigé mais cela semble tout de même limiter l'installation des ravageurs sur culture.

- Au total sur 3 ans d'essais et différentes cultures, 3982 thrips ont été piégés.
- En pression modérée et si le piégeage est régulier et mis en place dès le début de la culture, les bandes jaunes semblent efficaces pour piéger les adultes et limiter leur installation, et donc les dégâts engendrés, sur la culture.
- En cas de forte pression, ce levier seul ne suffit pas mais participe tout de même à limiter les dégâts.

1. Bibliographie

Les bandes engluées

Depuis 2016 à l'AREXHOR Pays de la Loire nous évaluons l'efficacité d'une bande engluée associée à un système de stimulation mécanique répété des plantes afin de piéger les thrips (projet DIAPLASCE). En effet, les **thrips** les plus communs en productions (*Frankliniella occidentalis* et *Thrips tabaci*) sautent lorsqu'ils sont dérangés. L'idée est de tirer parti de ce comportement pour essayer de piéger le thrips quand il saute. Ce levier fonctionne uniquement sur les adultes puisqu'ils sont les seuls à pouvoir voler. Les larves, elles, resteront sur le feuillage. Cependant, piéger régulièrement des adultes permet d'empêcher la multiplication du ravageur et va donc entraîner son déclin. Le dispositif de stimulation mécanique des apex de plantes est déclenché plusieurs fois par jour avec pour résultat de réduire la croissance apicale des plantes et ainsi réguler leur croissance sans utilisation de régulateurs de croissance de synthèse. Le matériau de stimulation de ce système (généralement une bâche plastique) passe donc de façon régulière dans la culture, touche les feuilles, courbe l'apex des plantes et est ainsi susceptible de déranger les ravageurs. L'association d'une bande engluée (jaune ou bleue) à ce système permettrait de façon simple et peu coûteuse de piéger les thrips. Les essais en interne ont été menés en culture de chrysanthèmes.

En 2016, première année d'essai, cette méthode de piégeage des adultes thrips a fait ses preuves puisqu'à partir du moment où les plantes sont régulièrement dérangées nous observons un déclin des populations de thrips jusqu'à aboutir à une culture indemne de thrips en 5-6 semaines. En parallèle de cela, la population de thrips dénombrée sur bande engluée augmente. De ce fait, il semble y avoir une bonne corrélation entre déclin des thrips dans la culture et augmentation des thrips sur bande engluée. Autre observation intéressante, des plantes-pièges très sensibles au thrips (*Tagetes patula*) avaient été placées au sein des chrysanthèmes. Lors des notations de bande engluée nous retrouvions des zones à haute densité de thrips piégés qui correspondaient au passage au-dessus des plantes-pièges. Ces observations confirment que le thrips saute bien lorsqu'il est dérangé et que la bande engluée permet de piéger une partie de ces sauteurs. Au total en 2016, 2194 thrips ont été dénombrés sur bande engluée contre 3480 sur 60 chrysanthèmes (la majorité de ceux-ci au cours des premières semaines de culture).

En 2017 même constat, toujours en culture de chrysanthèmes. Un déclin du nombre de thrips dans la culture est constaté parallèlement à une augmentation sur bande engluée. De plus, à partir de la mi-culture, les larves de thrips n'ont quasiment plus été observées sur les chrysanthèmes. Le piégeage des adultes a donc permis de limiter la reproduction du ravageur et donc les dégâts.

D'autres retours d'expériences de piégeages sur bandes engluées sont positifs comme à Astredhor Sud-Ouest où un contrôle très efficace des **aleurodes** adultes a été réalisé en culture de Dipladenia. Dans le cadre du programme Dephyserre Ecophyto, dont l'ARELPAL/ CDDM était le chef de file, cette technique a aussi été conduite sur aleurodes des serres avec des bandes jaunes engluées positionnées sur les charriots électriques se déplaçant en culture.

Cette technique peut tout à fait être étendue à d'autres ravageurs avec un comportement de fuite similaire, comme les **cicadelles**. En effet, actuellement très peu de moyens de lutte existent contre ce ravageur. Ils se cantonnent à l'utilisation de produits phytosanitaires, de quelques piégeages et aucune solution de lutte biologique n'existe. Les exemples de piégeages mécaniques avec bande engluée cités précédemment ont également permis de piéger des cicadelles. Les cultures ornementales sur lesquelles nos essais étaient menés n'étaient pas particulièrement sensibles à la cicadelle, donc peu d'entre-elles étaient retrouvées. Cependant, cela valide le fait que le piégeage

mécanique pourrait fonctionner contre ce ravageur. De plus, les cicadelles typhlocibines sont les ravageurs les plus préoccupants en production de labiacées aromatiques. Les dégâts qu'elles y occasionnent (à la fois sur l'esthétisme et le rendement), les limites de la lutte chimique et le fort développement en AB incitent à rechercher de nouveaux moyens de lutte. Des essais conduits dans le cadre du projet Bio'Horma de tests d'efficacité de dispositifs de type bandes fleuries et enherbées n'ont pas permis de favoriser suffisamment les auxiliaires généralistes. Nous souhaitons donc actionner un nouveau levier contre ce ravageur, celui de la lutte physique.

Tout comme les autres ravageurs cités précédemment, les **altises** ont un comportement de fuite qui consiste à sauter pour s'éloigner du risque. De ce fait, les adultes sont très probablement contrôlables par aspiration et/ou par piégeage sur bande engluée. Des essais réalisés par la CAB Anjou à ce sujet ont montré des résultats intéressants de piégeage d'altises en culture de choux en disposant des bandes jaunes engluées à l'avant des tracteurs. Ainsi, à chaque passage du tracteur dans les cultures (désherbage, traitement...), la bande engluée piège des adultes, cassant ainsi le cycle de reproduction du ravageur. Cette technique de contrôle des ravageurs doit donc être testée à plus grande échelle en parcelles de maraichage agrobio ou conventionnel.

En effet l'altise est également un ravageur important des cultures de radis et de roquette en période estivale. Ces cultures doivent présenter un feuillage impeccable mais les altises perforent les feuilles, dépréciant ainsi, de façon parfois très importante, la qualité visuelle du feuillage rendant non commercialisable les radis ou la roquette.

L'altise, mesurant à l'état adulte quelques millimètres de long (Figure 6), est responsable de dégâts considérables sur les cultures de radis entraînant un déclassement de ces derniers. Les adultes vont perforer les feuilles de petits trous alors que les larves se développent le plus souvent dans les racines de la



Figure 1 : altise du radis (source: Neudorff)

plante-hôte. Les attaques sur cultures sont généralement recensées à la fin du printemps (mai – juin) mais elles peuvent se décaler dans le temps en fonction des conditions climatiques car les altises se développent préférentiellement par temps chaud et sec. Dans un premier temps, dans le cadre du projet PICHAMP porté par l'ARELPAL et en collaboration avec AREXHOR Pays de la Loire, une identification des espèces d'altises les plus courantes en Pays de la Loire ainsi que la rédaction d'une clef d'identification simplifiée a été réalisée à partir des données Faune de France N°80 (Coléoptères, Chrysomelidae Volume 2, Alticinae, 1994). Suite à cela, une première approche de piégeage de l'altise a été mise en place par l'utilisation de la moutarde brune. En effet, le rôle des plantes-pièges est de détourner les ravageurs de la culture par l'installation de plantes compagnes hyper-sensibles. Cette technique, peu coûteuse et simple à mettre en place, ne s'est malheureusement pas avérée assez efficace pour être utilisée en production.

En Provence, dans le cadre du programme Dephyserre précédemment cité, des tests d'aspiration ont été développés par la station APREL pour lutter contre les punaises phytophages *Nesidiocoris* sp. en culture de tomate. Le principe consiste à aspirer les insectes en tête de plantes par un aspirateur à main (type aspirateur à feuilles). L'aspiration avait dans ce cas permis de contenir les punaises mais sans les éradiquer. Ce même système a été testé en 2007 au CIVAM Bio des Pyrénées-Orientales en culture d'aubergines pour lutter contre les punaises phytophages *Lygus* sp., causant de très grosses pertes de production. Grâce à l'aspiration, 300 punaises en 30 minutes ont été capturés (Arrufat, 2007) pour une surface de 2000 m². L'avantage de ce système de lutte contrairement aux bandes engluées et qu'il n'est pas sélectif des adultes et permet donc de piéger à la fois les larves et les adultes de certains ravageurs.



Figure 2: matériel d'aspiration monté sur tracteur en production de fraise en Ontario (source : Youtube)

Cependant, l'aspirateur à main, trop chronophage, ne peut directement être appliqué sur les cultures de plein champ et nécessite donc d'être amélioré et adapté à d'autres usages. De nombreux exemples en Ontario (Canada) montrent des tracteurs équipés d'aspirateurs puissants à turbine passant régulièrement sur les cultures de choux ou de fraises afin d'en aspirer les ravageurs. Cette pratique est réalisée là-bas depuis plus de 20 ans. Ce type de machines et d'utilisation pourrait tout à fait être transférées et testées en France au sein de nos productions.

Tous les exemples précédents montrent que certains ravageurs très problématiques ne sont pour le moment pas suffisamment contrôlables par utilisation de produits phytosanitaires, par lâchers d'auxiliaires ou encore par implantation d'infrastructures agro-écologiques dans l'environnement. C'est pourquoi, dans sa quête de nouveaux moyens de lutte efficaces, ce projet s'attardera à évaluer l'efficacité des piégeages mécaniques (aspiration et bande engluée) pour le contrôle des altises en roquette et radis, des cicadelles en culture de thym ainsi que des thrips en chrysanthèmes et ciboulette.

2. Bandes engluées

Les ravageurs altises et cicadelles en plein champ sont travaillés par les partenaires. Ne sera question ici que des cicadelles sous abris et thrips.

2.1 Matériel et méthode

2.1.1 Localisation

Les essais ont été conduits à la station d'expérimentation AREXHOR Pays de la Loire située 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts-de-Cé.

2.1.2 Matériel

Utilisation d'un chariot d'irrigation converti à un usage de stimulation mécanique répété sur les plantes complété de bâches plastiques (2kg/m²) frangées (3 cm). Une bande engluée jaune est collée sur les bâches de stimulation pour assurer un piégeage actif des ravageurs lors des passages de stimulation.

Fréquence de passage : 8 allers-retours/jour, de 6h à 20h toutes les deux heures. Les notations sont réalisées plus ou moins régulièrement en fonction des cultures.



Figure 3 : photo du dispositif de piégeage

3. Résultats

3.1 Cicadelles :

3.1.1 Cicadelles 2019

L'année 2019 était assez riche en cicadelles. Les résultats suivants montrent les résultats dans 3 cultures différentes :

Plantes à massif : 39 cicadelles adultes ont été piégées par le dispositif pour la durée de l'essai. Aucun symptôme ni aucune larve n'ont été observés sur la culture.

Chrysanthèmes : Même constat sur chrysanthèmes avec 304 adultes piégés sur le dispositif au cours de l'essai et aucun dégât majeur n'a été constaté en culture.

On peut donc imaginer que dans ces deux cas là les bandes jaunes ont permis de capturer les adultes avant qu'ils ne s'installent dans la culture.

Primevères : Les dégâts causés par les larves sur feuilles de primevères sont facilement observables. Le graphique ci-dessous montre le pourcentage de plantes avec dégâts de cicadelles :

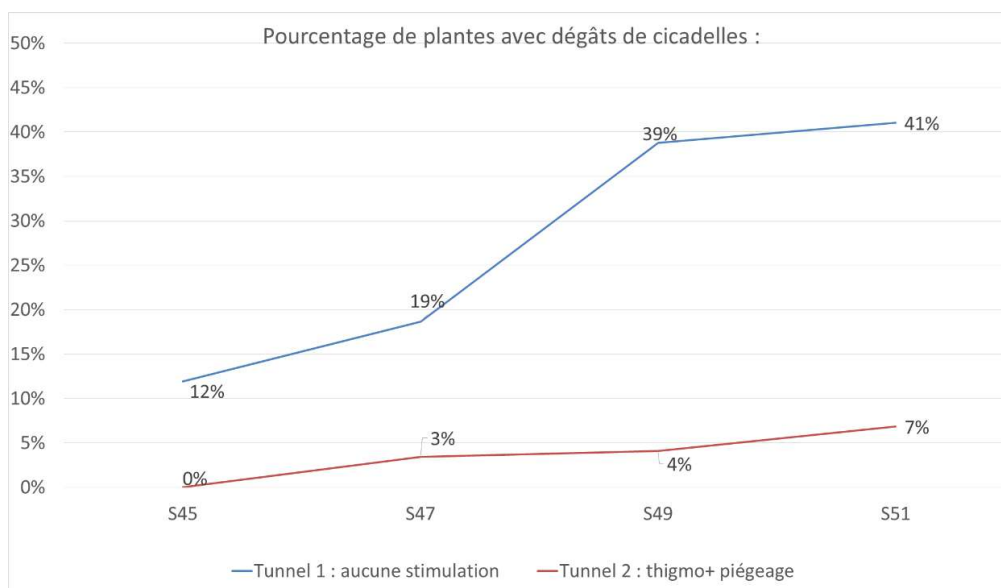


Figure 4: Différence de proportions en primevères présentant des dégâts de cicadelles en fonction du tunnel

Nous pouvons constater que les primevères cultivées avec les bandes jaunes ont été beaucoup moins impactées par les cicadelles que celles cultivées sans dispositif. Le pourcentage de plantes avec dégâts est donc seulement de 7% avec bandes jaunes contre 41% en fin d'essai. En termes de quantité, 59 adultes ont été comptabilisés sur bandes engluées en fin d'essai. Cela illustre une nouvelle fois l'intérêt du piégeage des adultes pour limiter les pontes, et donc les larves occasionnant les dégâts.

3.1.2 Cicadelles 2020

En 2020, la pression était assez forte en culture d'aromatiques et potagères. Tout comme précédemment, un dénombrement des plantes avec dégâts a été réalisé. Il en résulte que le piégeage par bandes jaunes a permis de réduire de 17% la quantité de feuilles avec dégâts, notamment sur sauge.

3.1.1 Cicadelles 2021

En 2021, des cicadelles ont uniquement été rencontrées en chrysanthèmes. Un total de 290 cicadelles a été observé sur bandes jaunes engluées et aucun dégât n'a été constaté sur la culture.

3.2 Thrips :

3.2.1 Thrips 2019

Le graphique ci-dessous illustre l'infestation en thrips en culture de chrysanthèmes.

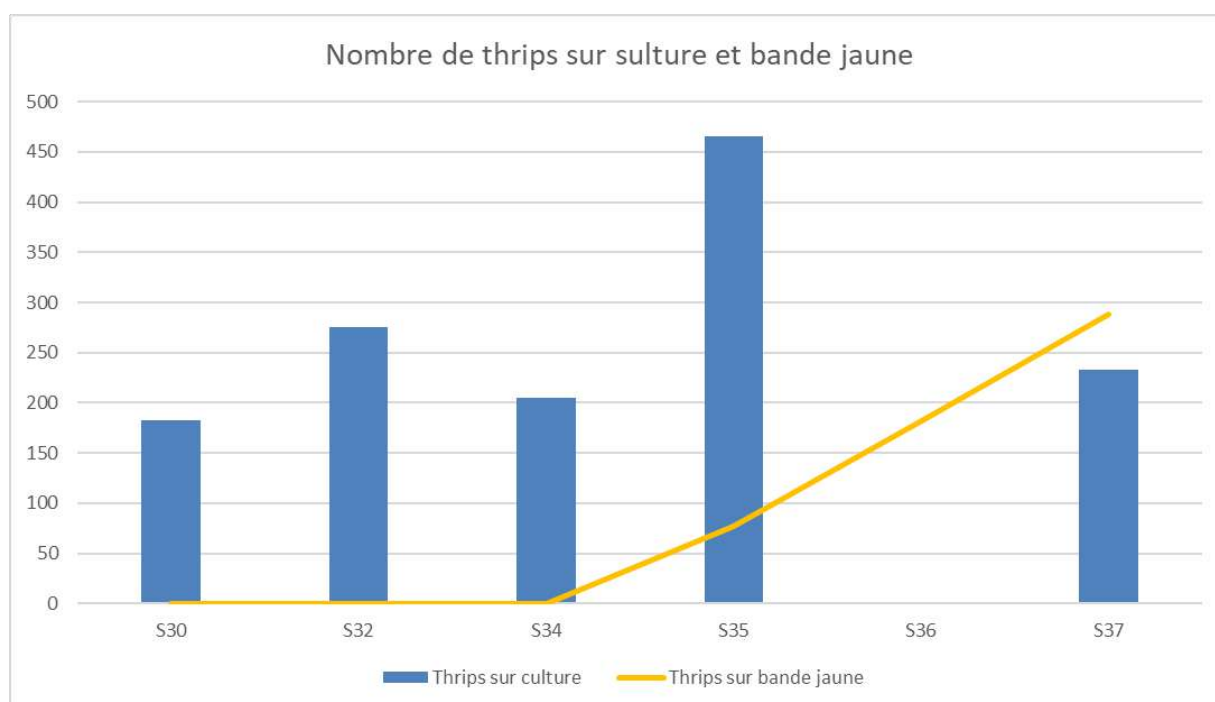


Figure 5: nombre de thrips en culture et sur bandes jaunes en chrysanthèmes, 2019

La pression en thrips était conséquente dès les premières notations. Le système de bandes engluées fixées sur le dispositif de stimulation a permis le piégeage de 456 thrips en quelques semaines. L'utilisation de phéromones sur une des bandes n'a pas montré d'augmentation de la quantité d'individus piégés. Aucune autre intervention n'a été réalisée et malgré cela, l'infestation est restée sous un seuil acceptable, et a décliné au fur et à mesure des notations. On remarque également que le nombre de thrips diminue en culture au fur et à mesure qu'il augmente sur bandes jaunes. On peut donc imaginer que le piégeage est efficace. En fin de culture, très peu de dégâts de thrips étaient visibles.

3.2.1 Thrips 2020

Aromatiques et potagères :

Très forte pression en thrips en 2020 sur cette culture. En moyenne, 170 thrips ont été piégés par semaine sur bandes engluées ce qui permet probablement de contenir la population de ravageur. Celle-ci tend à diminuer progressivement au cours de l'essai alors qu'elle reste stable voire augmente sur bades jaunes. En 6 semaines, le piégeage a tout de même permis de capturer plus de 1100 thrips.

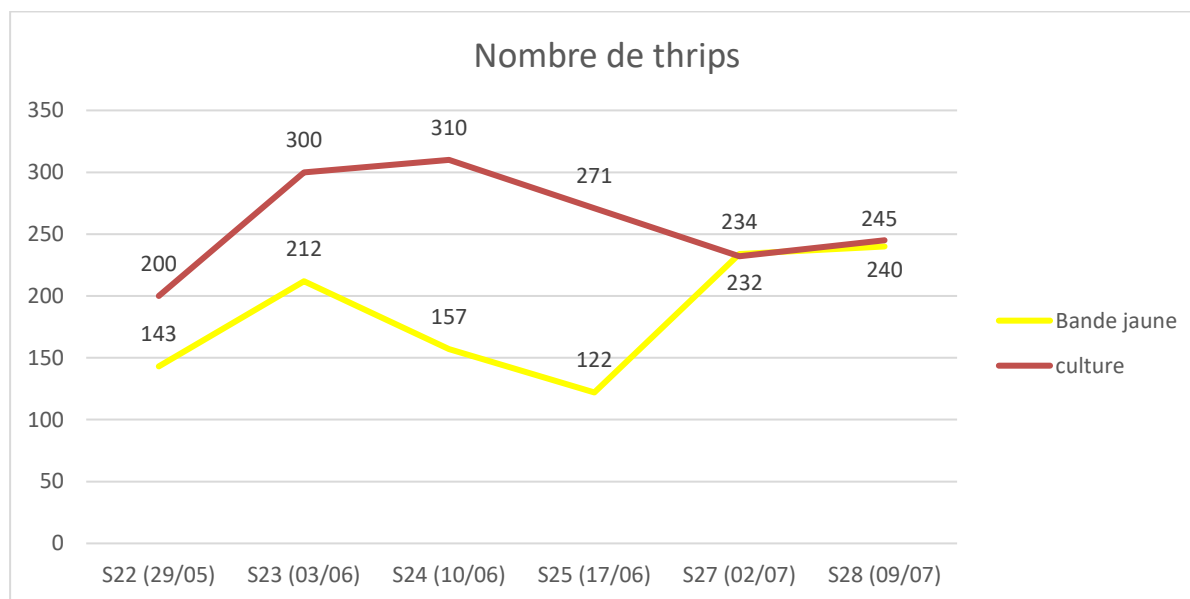


Figure 6: nombre de thrips en culture et sur bandes jaunes en aromatiques et potagères, 2020

Chrysanthèmes :

Le piégeage sur bande jaune a visiblement bien permis de limiter le nombre de thrips sur culture avec un pic de 800 thrips piégés en semaine 33 contre 150 en culture. De plus, la pression en thrips dans la culture reste homogène et relativement faible tout au long de l'essai alors qu'un grand nombre est capturé en parallèle sur bandes jaunes.

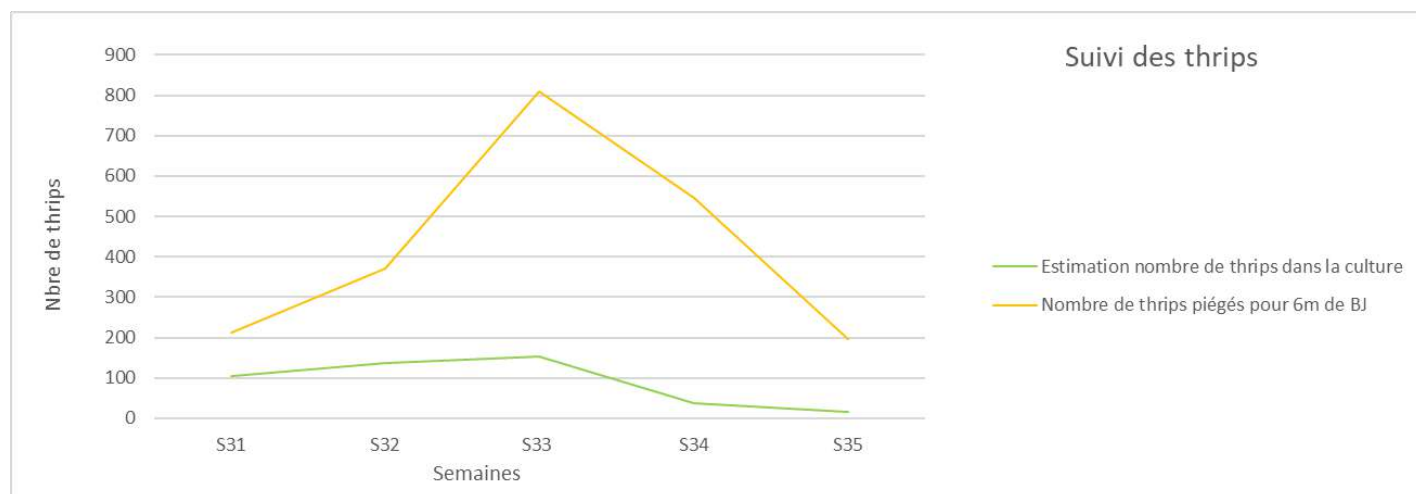


Figure 7: nombre de thrips en culture et sur bandes jaunes en chrysanthèmes, 2020

3.2.2 Thrips 2021

A l'inverse des deux années précédentes, l'année 2021 a été pauvre en thrips. Ainsi, seule la culture de chrysanthèmes a permis un suivi de ce ravageur.

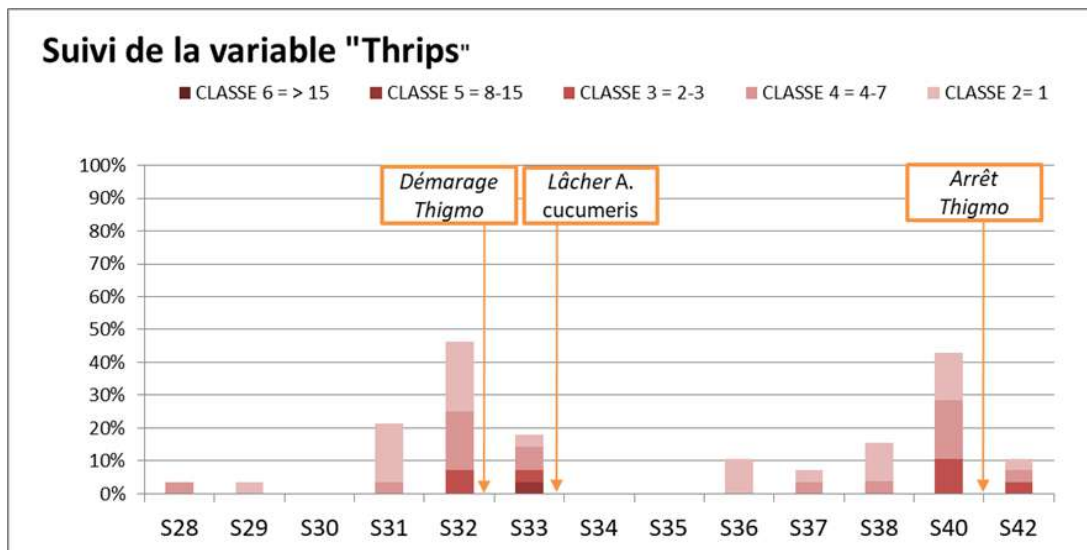


Figure 8 : pression en thrips en culture de chrysanthèmes, 2021

Un seul comptage sur bandes engluées a été réalisé en semaine 37. Celui-ci a permis d'observer 320 thrips collés. Ainsi, il est fort probable que le piégeage a permis de capturer les adultes avant de s'installer sur la culture puisque la pression en thrips sur culture est restée faible tout du long.

4. Conclusion

Ces quelques années d'essai ont permis de montrer que le passage répété d'un piège mécanique à l'aide de bandes jaunes engluées semble efficace pour limiter la pression en ravageurs. Rappelons que ce piégeage ne permet de piéger que des adultes (volant ou sautant) et que cela limite donc les pontes et le nombre de larves sur la culture. Les ravageurs ciblés ici étaient les thrips et les cicadelles. Le piégeage des cicadelles semble plus efficace car fréquemment des dizaines ou centaines de cicadelles a été observées sur bandes jaunes et aucune ni aucun dégât sur culture. Lorsque la pression est très importante, ce levier à lui seul ne suffit pas et des dégâts sont tout de même visibles en culture mais permet de limiter la proportion. Une partie des résultats concernant les cicadelles peut donc être résumé comme suit :

- Au total sur 3 ans d'essais et différentes cultures, 692 cicadelles ont été piégées.
- 6 fois moins de dégâts sur primevères en pression modérée
- 17% de feuilles avec dégâts en moins en culture très sensible (sauge) avec pression forte

Le bilan sur thrips est plus mitigé mais cela semble tout de même limiter l'installation des ravageurs sur culture.

- Au total sur 3 ans d'essais et différentes cultures, 3982 thrips ont été piégés.
- En pression modérée et si le piégeage est régulier et mis en place dès le début de la culture, les bandes jaunes semblent efficaces pour piéger les adultes et limiter leur installation, et donc les dégâts engendrés, sur la culture.
- En cas de forte pression, ce levier seul ne suffit pas mais participe tout de même à limiter les dégâts.

Pièges lumineux contre les insectes ravageurs

Projet PHYBI ; action 2

Travaux réalisés en 2019



Financeurs :

Conseil régional des Pays de la Loire
Producteurs adhérents

Rédigé par :

Alain Ferre, mars 2020

Référent technique :

Alain Ferre

Résumé

L'essor des éclairages Leds permet d'éclairer avec des longueurs d'onde bien définies. Parallèlement, il est bien connu que certains insectes volants sont attirés la nuit par la lumière. Ainsi, on peut espérer de réduire la pression en ravageurs dans les cultures sous abri par des pièges lumineux nocturne.

Ce travail vise à explorer cette voie. Plusieurs tâches seront réalisées en parallèle. D'abord, chaque mois des éclairages monochromatiques sont allumés pendant une nuit par mois. Le lendemain, les plaques engluées sont retirées et les insectes identifiés. Ce travail a permis de mesurer la sélectivité de chaque couleur et l'efficacité de la méthode suivant la saison.

Ensuite les pièges les plus prometteurs ont été installés dans des cultures pour mesurer l'efficacité de la méthode.

En 2019, les résultats montrent une assez bonne efficacité et sélectivité de certaines longueurs d'onde. Celles qui piègent le plus d'insectes sont le bleu et le vert. Nous avons piégé énormément de chironomes, des papillons et, de manière plus surprenante des cicadelles et des fourmis ailées. Les tests en tunnel n'ont pas donné de résultats très exploitables.

Pièges lumineux contre les insectes ravageurs

Projet PHYBI ; action 2

Cette action du projet PHYBI vise à évaluer l'effet de spectre lumineux spécifiques sur l'attraction d'insectes volants pour les utiliser comme piège lumineux en culture. Cette méthode pourrait être intéressante pour contrôler les papillons. Deux voies d'étude ont été menées. D'abord des piégeages nocturnes une nuit par mois pour évaluer la spécificité des longueurs d'ondes puis des tests sous abri en production.

1. Bibliographie

Les pièges lumineux sont bien connus des chasseurs de papillons. Disposer des lampes à vapeur de mercure contre un drap blanc la nuit permet d'attirer de nombreux papillons (cf. figure ci-dessous).



Figure 1 : chasse nocturne d'insectes grâce à une lampe à vapeur de mercure et un drap blanc
(source : <http://www.nmentomo.fr/page/6/?nggpage=2>)

Cette faculté d'être attiré par la lumière la nuit peut être utile pour piéger nos ravageurs nocturnes. Des travaux utilisant des pièges lumineux ont été réalisés pour inventorier l'entomofaune d'une région, pour déterminer les meilleures conditions de piégeage ou encore pour déterminer l'impact de la pollution lumineuse suivant les équipements d'éclairage urbain. Peu d'essais ont été réalisés en production, cependant, les autres travaux peuvent nous aiguiller quant aux méthodes à appliquer en production.

D'abord, concernant la distance de piégeage, deux études réalisées par Baker et Sadovy en 1978 et par Truxa et Fiedler en 2012 sont assez concordantes et indiquent un optimal de capture pour les papillons situés entre 5 et 10 mètres autour de la lampe. Le second article précise également le

spectre de lépidoptères piégés montrant une majorité de Noctuoidea et de Pyraloidea, les deux super-familles qui impactent majoritairement nos productions. Une autre étude liste plus précisément les insectes piégés. En effet, Frith en 1979 a listé les insectes attrapés par un piège lumineux pendant une année dans des îles de l'Océan Indien. Le graphique suivant montre le nombre d'insectes piégés suivant leur ordre.

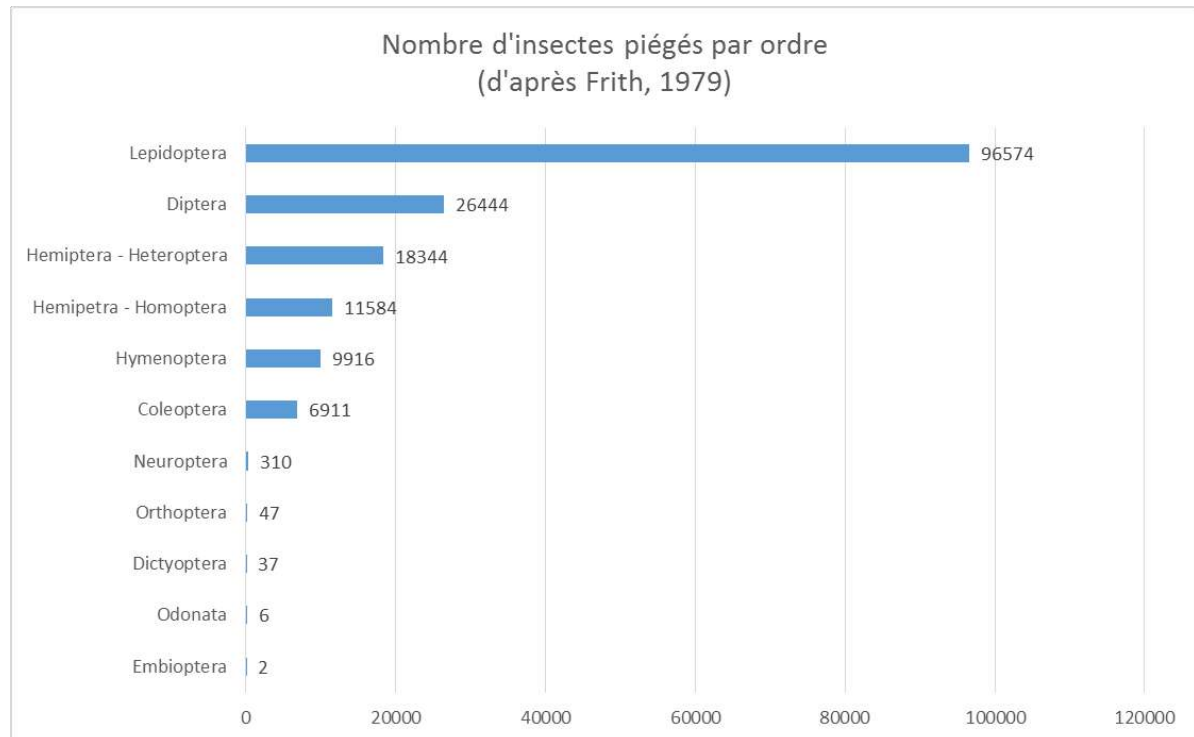


Figure 2 : sélectivité de pièges lumineux suivant les ordres d'insectes.

On constate que les papillons sont de loin les plus piégés. Parmi les autres ordres, des effets secondaires des piégeages pourraient être intéressants ou néfastes. Par exemple, le piégeage des homoptères pourrait contribuer à leur contrôle, par contre le piégeage trop intense des auxiliaires appartenant aux ordres des diptères (syrphes et cécidomyies) et des hyménoptères (parasitoïdes) pourrait limiter l'efficacité de la lutte biologique. Au sein des autres ordres majoritaires, les familles d'intérêt piégées sont des fourmis (90% des hyménoptères piégés) et des parasitoïdes (5%), des Cicadellidae (85% des homoptères piégés), des chrysomèles, des carabes et des staphylins (15% chacun des coléoptères piégés).

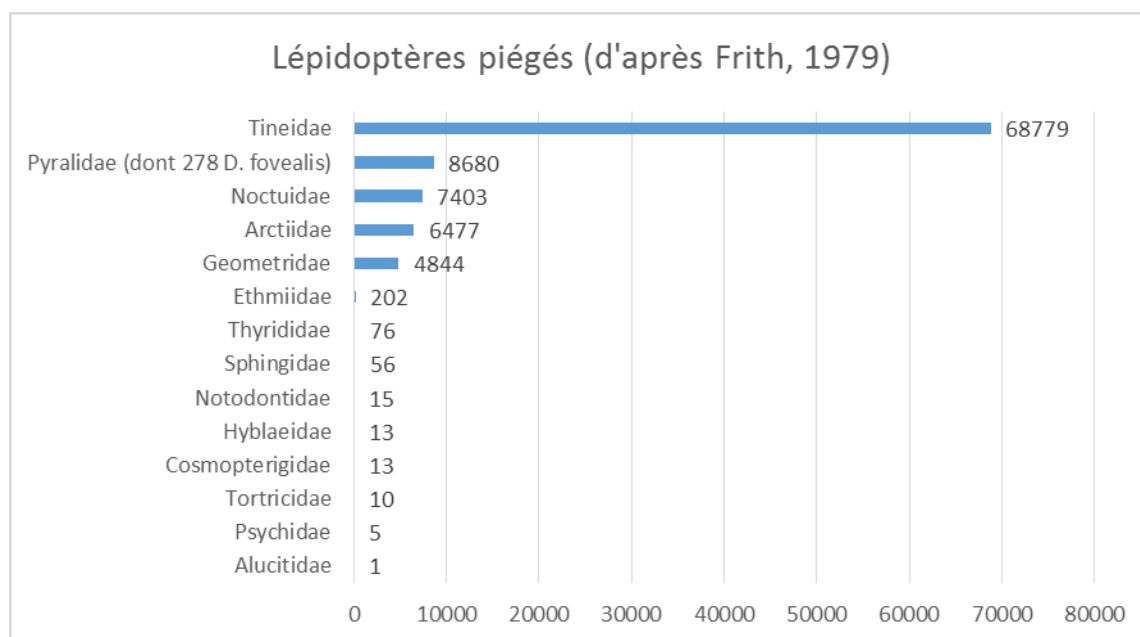


Figure 3 : sélectivité de pièges lumineux suivant les familles de lépidoptère

Le graphique 6 montre clairement que les pièges lumineux attrapent majoritairement les papillons nocturnes. Ceux-ci s'orientent la nuit grâce à la lumière de la lune. Ainsi, un piège lumineux les désoriente et les attire. Les deux familles qui nous intéressent particulièrement sont classées en deuxième et troisième position. Cette information est prometteuse quant à l'efficacité de la pratique en production.

Les pièges lumineux pourront donc potentiellement avoir des effets secondaires positifs (piégeage des fourmis, cicadelles, chrysomèles) ou négatifs (piégeage des parasitoïdes, carabes, staphylyns). Nous n'avons pas trouvé d'étude similaire pour la France. Cependant, une autre étude menée par Conway et ses collègues en Angleterre confirme la forte efficacité des pièges lumineux pour les noctuelles et pyrales (au sens large de la super-famille). Au cours de leur étude, ils ont piégé 656 *Pyraloidea* et 428 *Noctuidae* contre 210 autres individus appartenant à 7 familles de lépidoptères. Nos essais devront confirmer ces informations encourageantes et préciser dans quelles situations l'utilisation des pièges est envisageable.

Concernant l'efficacité des spectres, ce sont en général des lampes émettrices d'UV qui sont utilisées (lampe à fluorescence « Lumière noire » ou lampe à vapeur de mercure). L'étude de Truxa et Fiedler a utilisé des tubes fluorescents à lumière UV-A : Sylvania 15W/BLB-T8 et Phillips TLD 15W/05. Parallèlement, Vilayanoor et ses collègues ont montré en 2010 que les lampes à vapeur de mercure seraient plus performantes que les tubes fluorescents d'UV-A. Baker et Sadovy ont eux testé plusieurs types de spectre, des lampes vertes « panelescente » et des lampes UV. Les lampes panelescentes sont les ancêtres des Leds. Les lampes utilisées éclairaient avec un pic à 510 nm [web3]. Les résultats ont montré une nette préférence de deux des trois espèces de papillons présentes dans l'étude pour la lumière verte (pyrale indienne des fruits secs (*Pyralidae*) : 134 vert / 65 UV ; Alucite des céréales (*Tineidae*) : 130 vert / 173 UV ; *Cadra cautella* (*Pyralidae*) : 920 vert / 376 UV). Les deux réagissant le mieux au vert appartiennent à la famille des pyrales ce qui nous laisse subodorer que *Duponchelia fovealis* sera aussi attirée préférentiellement par le vert. Concernant les autres longueurs d'onde, nous n'avons pas trouvé d'étude fiable. Van Langevelde en 2011 tend à montrer que le vert (pic à 545 nm) serait une couleur intéressante pour les pyrales, cependant, le protocole n'est pas assez clair pour conclure avec certitude (la modalité « verte » contient une émission d'UV et la modalité UV contient un peu de vert). Cet article montre

néanmoins clairement que le rouge est peu efficace. Cette couleur pourra servir de témoin négatif dans nos essais (voir plus loin l'intérêt des témoins négatifs).

L'article de Lazopulo *et al.* (2019), concernant la préférence des drosophiles envers le vert le matin et le soir, doit nous alerter quant à l'importance des horaires d'éclairage. Ainsi, si la préférence pour une couleur est liée à une plage horaire précise, il conviendra d'éclairer pendant cette plage horaire.

Références bibliographiques :

- Baker, R. R., & Sadovy, Y. (1978). The distance and nature of the light-trap response of moths. *Nature*, 276(5690), 818.
- Frith, D. W. (1979). A list of insects caught in light traps on West Island, Aldabra Atoll, Indian Ocean.
- Lazopulo S., Lazopulo A., Baker J. D. & Syed S. (2019). Daytime colour preference in *Drosophila* depends on the circadian clock and TRP channels. *Nature* 574, 108-111.
- Truxa, C., & Fiedler, K. (2012). Attraction to light-from how far do moths (Lepidoptera) return to weak artificial sources of light?. *European Journal of Entomology*, 109(1).

2. Piégeages nocturnes à l'extérieur - Sélectivité des longueurs d'ondes

2.1 Matériel et méthode

2.1.1 Localisation

Les essais ont été conduits à la station d'expérimentation située 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts de Cé.

2.1.2 Conception des pièges extérieurs

Nous avons d'abord utilisé des éclairages Leds. 1 Led était placée au milieu d'une plaque engluée blanche. Ensuite le tout était placé à l'extérieur, la plaque disposée verticalement. Vu d'absence d'insectes piégés, nous avons arrêté cette méthode. Nous avons identifié deux hypothèses, qui seront explorées plus tard, pouvant expliquer cet échec. D'abord, l'éclairage était trop faible. Nous retesterons en mettant plus de Leds. Ensuite, l'échec pourrait être dû à une mauvaise disposition des plaques par rapport au sol et par rapport à la source lumineuse. Nous explorerons également ces facteurs dans de futurs travaux. Pour pallier l'échec de cette première méthode, nous avons réalisé de nouveaux pièges avec des tubes fluorescents monochromatiques posés au sol et encadrés par deux plaques transparentes, engluées et disposées à 45° par rapport au sol comme l'illustre la figure suivante. Chaque plaque mesure 70 cm x 20 cm. La surface totale de piégeage est donc de 2 800 cm².

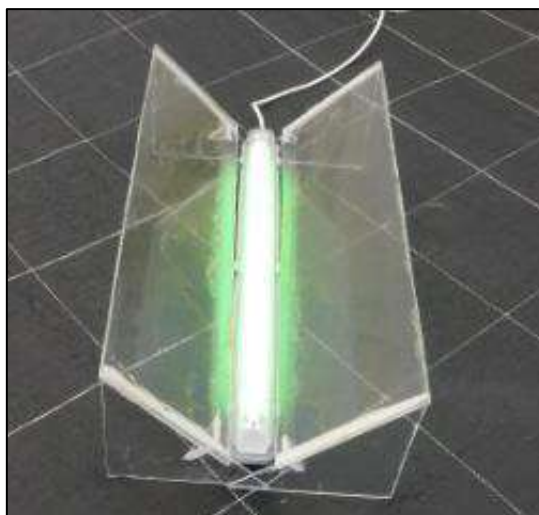


Figure 4 : dispositif lumineux de piégeage nocturne

2.1.3 Spectres des tubes fluorescents

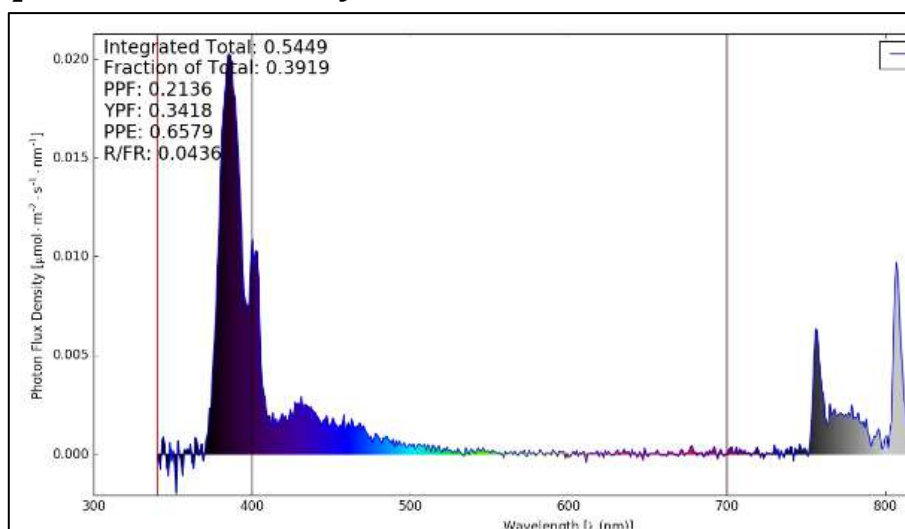


Figure 5 : spectre des tubes fluorescents UV-A

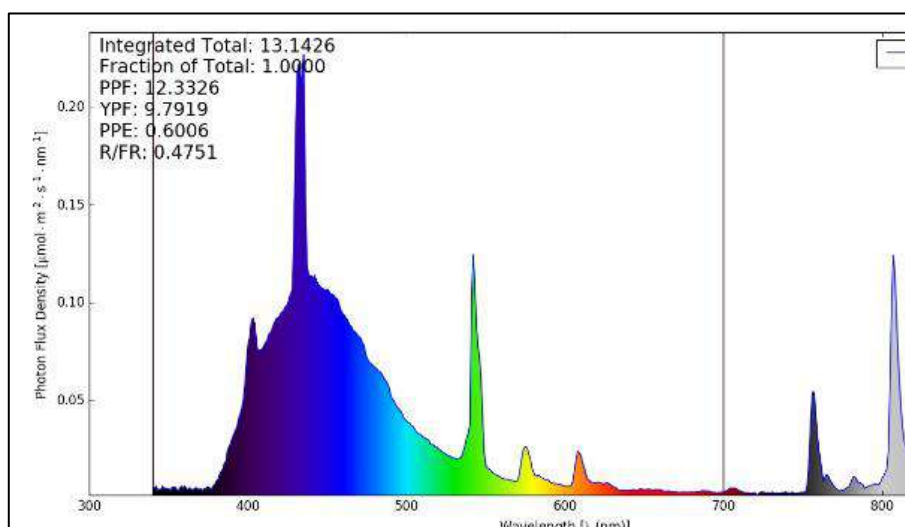


Figure 6 : spectre des tubes fluorescents bleus

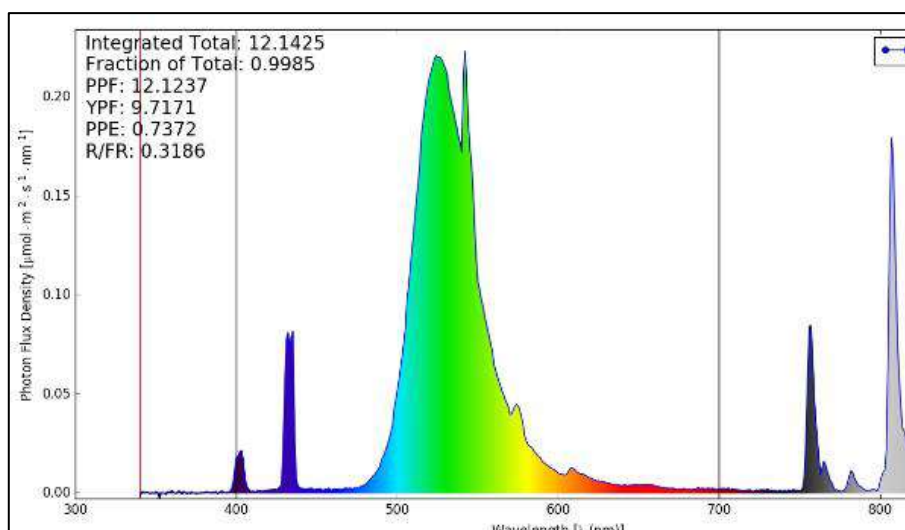


Figure 7 : spectre des tubes fluorescents verts

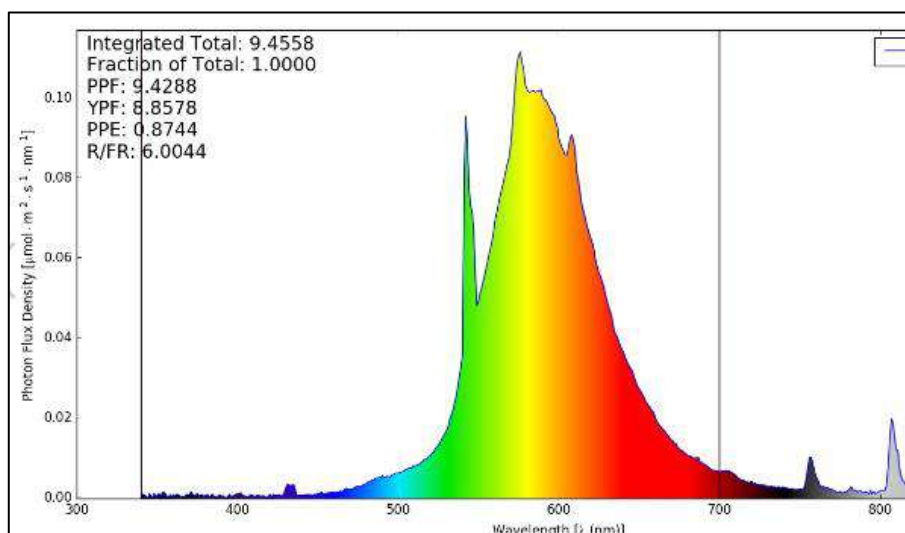


Figure 8 : spectre des tubes fluorescents jaunes

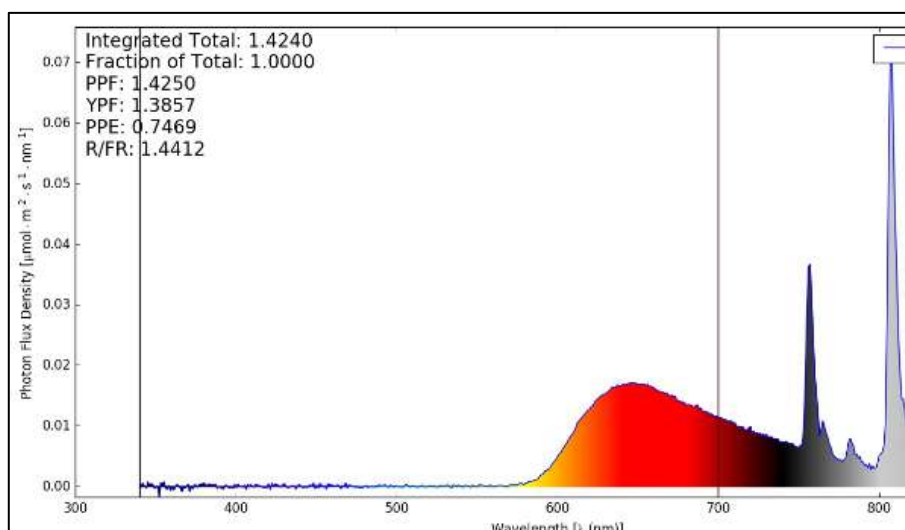


Figure 9 : spectre des tubes fluorescents rouges

2.1.4 Caractéristiques des spectres des tubes fluorescents

Le tableau suivant résume les caractéristiques de chacun des spectres.

Tableau 1 : caractéristiques des spectres des tubes fluorescents « monochromatiques »

Tube	Intensité à 20 cm du tube (350-700 nm)	% UV-A (350-400 nm)	% bleu (400-500 nm)	% vert (500-560 nm)	% jaune (560-600 nm)	% rouge (600-700 nm)
UV-A	0,52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	63	37	0	0	0
Bleu	13	5	72	15	1	1
Vert	12	0	8	78	11	3
Jaune	9,5	0	2	19	40	39
Rouge	1,4	0	0	0	0	100

Ces données nous indiquent que, pour interpréter les résultats, nous ne devons pas prendre uniquement en compte la couleur du tube. En effet, si le rouge diffuse que du rouge et que les tubes uv et bleu diffuse majoritairement leur couleur, le tube jaune diffuse à la fois du jaune, du vert et du rouge le tube UV-A diffuse également du bleu en assez forte proportion.

Ainsi, nous considéreront que les tubes bleu, vert et rouge sont monochromes, que le tube UV est bicolor UV-A+bleu et que le jaune est tricolor vert+jaune+rouge.

Enfin, nous pouvons constater que les intensités par tubes sont très différentes. Durant l'interprétation, il faudra tenir compte de cela. Si des échecs sont constaté pour le tube UVA et le rouge, alors ce n'est peut-être pas à cause de la couleur mais de l'intensité.

2.1.5 Témoins

Nous utilisons comme témoin des plaques engluées pour lesquels il n'y a pas de tubes associés.

2.2 Calendrier des interventions

Série	Date d'allumage	Horaires d'éclairage	Remarque
1	08 au 09/08/2019	22h à 7h	
2	01 au 02/04/2020	21h à 7h	Nuit froide et venteuse

2.2.1 Critères de notation

Le critère est le nombre d'insectes par classe taxonomique et par m^2 de piège.

Le niveau d'identification dépend de l'intérêt des insectes. Pour les insectes dit neutres le niveau se limite à l'ordre ou à la famille. Pour les insectes d'intérêt, le niveau est le genre ou l'espèce.

A cause des intensités différentes et des fluctuations de populations d'insectes présents dû à la météo du jour de piégeage et de la saison, il semble être plus pertinent d'analyser les données en termes de fréquence relative qu'en termes de nombre d'insectes piégés

2.3 Validation des essais

Nous avons piégé un grand nombre d'insectes en août 2019. Par conséquent, nous pouvons conclure que le principe de nos pièges fonctionne.

Les plaques engluées témoin, sans lampe, ont piégé peu d'insectes. Les quantités piégées sont donc bien due à l'éclairage. Si une modalité à sensiblement le même spectre et le même nombre d'insectes piégés alors nous pourrions considérer que cette modalité n'a pas eu d'effet.

La faible intensité des UV-A et du rouge devra rester une explication possible du faible nombre d'insectes piégés.

Le protocole est valide et les données sont exploitables en conservant la précaution d'analyse pour les pièges UV-A et rouge.

2.4 Résultats

2.4.1 Efficacité des spectres en termes de nombre d'insectes piégés

Le graphique suivant présente le nombre d'insectes piégés par spectre.

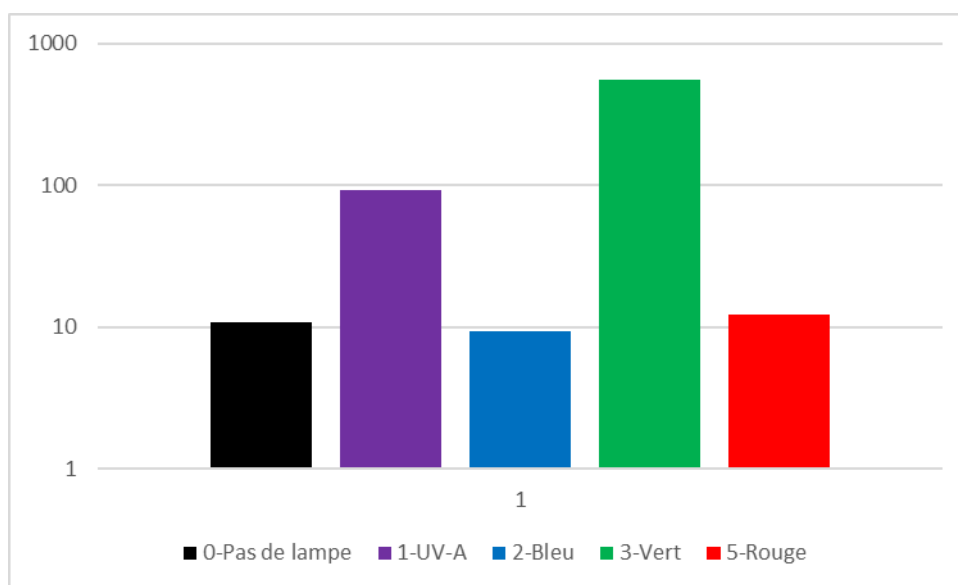


Figure 10 : nombre d'insectes piégés par nuit et par m² par spectre lumineux. Données 2019 + 2020 jusqu'au 1^{er} avril (échelle logarithmique)

Il semble que les spectres bleu et rouge ne piègent pas plus d'insectes que le témoin sans éclairage. Pour le rouge, cela paraît normal puisque très peu d'insectes voient le rouge, ce piège est donc équivalent par la majorité des insectes à un piège non éclairé. Pour le bleu, les données sont plus étonnantes. Cela devra être confirmé ou infirmé par les données acquises pendant le printemps et l'été 2020.

Les pièges UV-A, malgré sa faible intensité, et surtout vert ont piégés de nombreux insectes.

La répartition par groupe biologique, montre qu'ils ont piégé très majoritairement des insectes phytophages et neutres (voir figure suivante). Cela peut être dû soit à une forte prédominance dans l'environnement, soit à une forte sélectivité. La répétition des tests pendant la saison 2020 permettra de conclure.

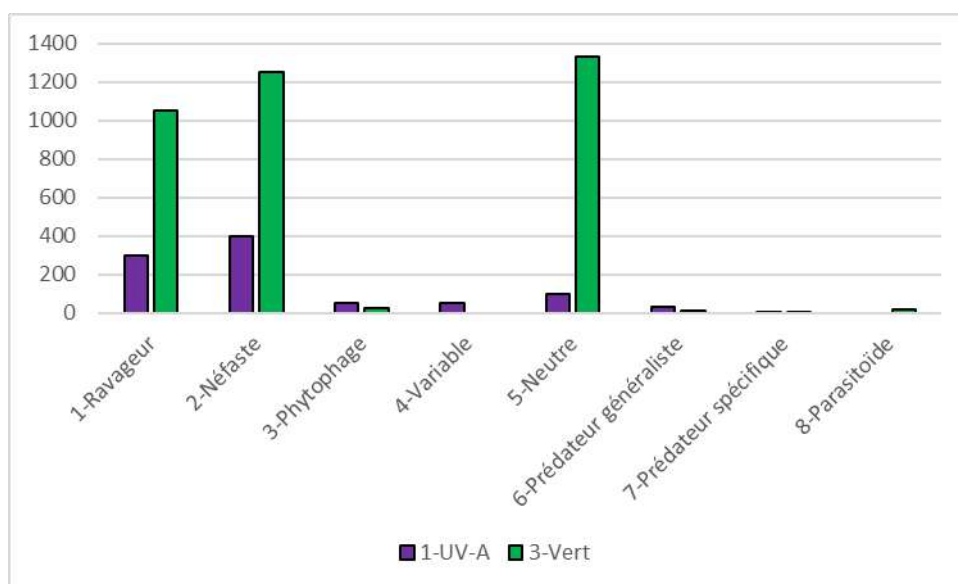


Figure 11 : nombre d'insectes piégés par groupe biologique, par nuit et par m² (échelle logarithmique)

Le graphique en page suivante, détaille les prises par famille d'insectes. Nous pouvons constater que le tube UV-A piège un spectre plus large d'insecte que le tube vert. De son côté, le tube vert est plus attractif pour certaines familles comme les chironomes, fourmis ailées et cicadelle.

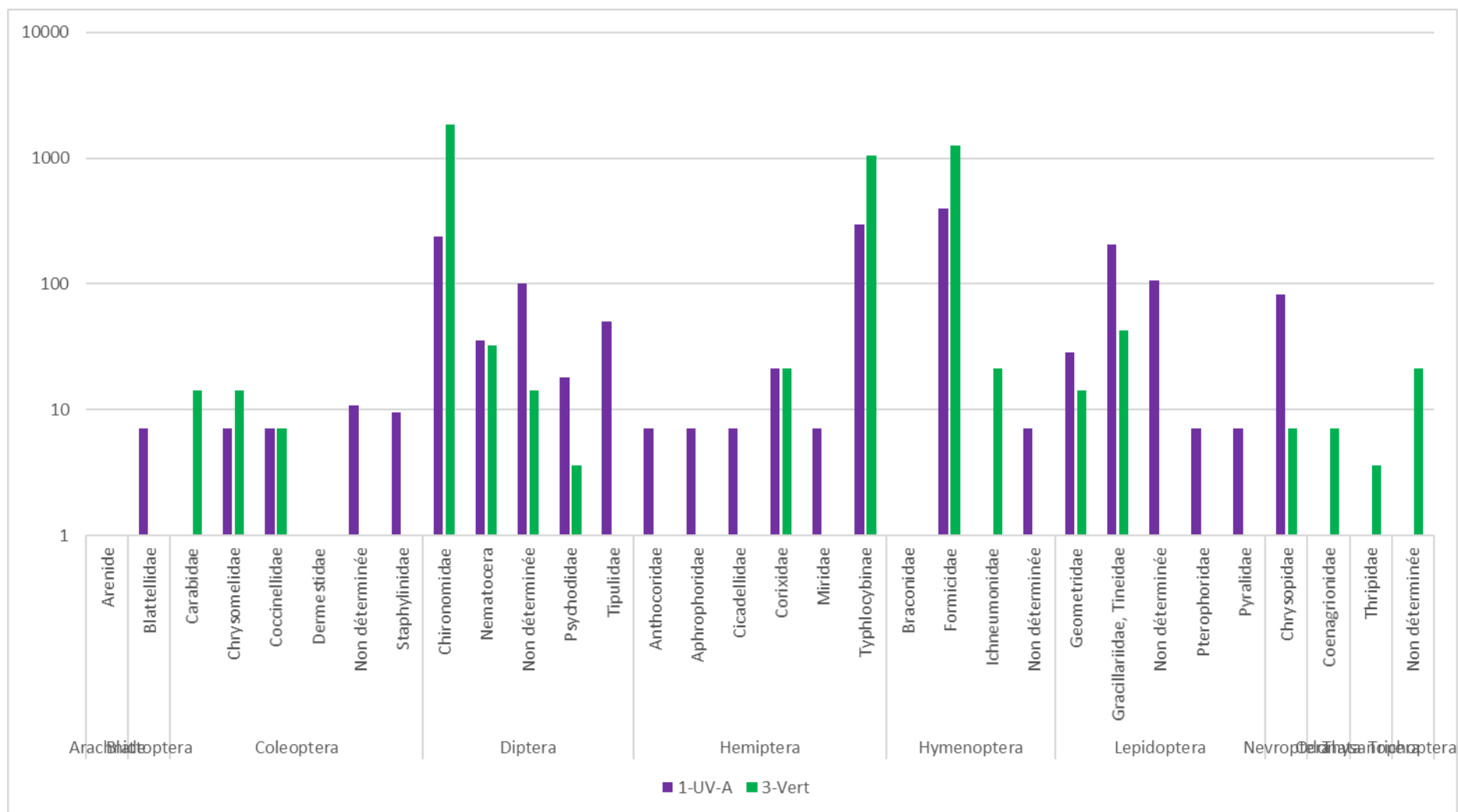


Figure 12 : nombre d'insectes piégés par famille par nuit et par m². (échelle logarithmique ; données jusqu'au 01/04/20)

2.4.2 Sélectivité des spectres

Afin de mesurer la sélectivité des pièges, les graphiques suivants présentent la proportion d'insectes piégés par ordre suivant le spectre.

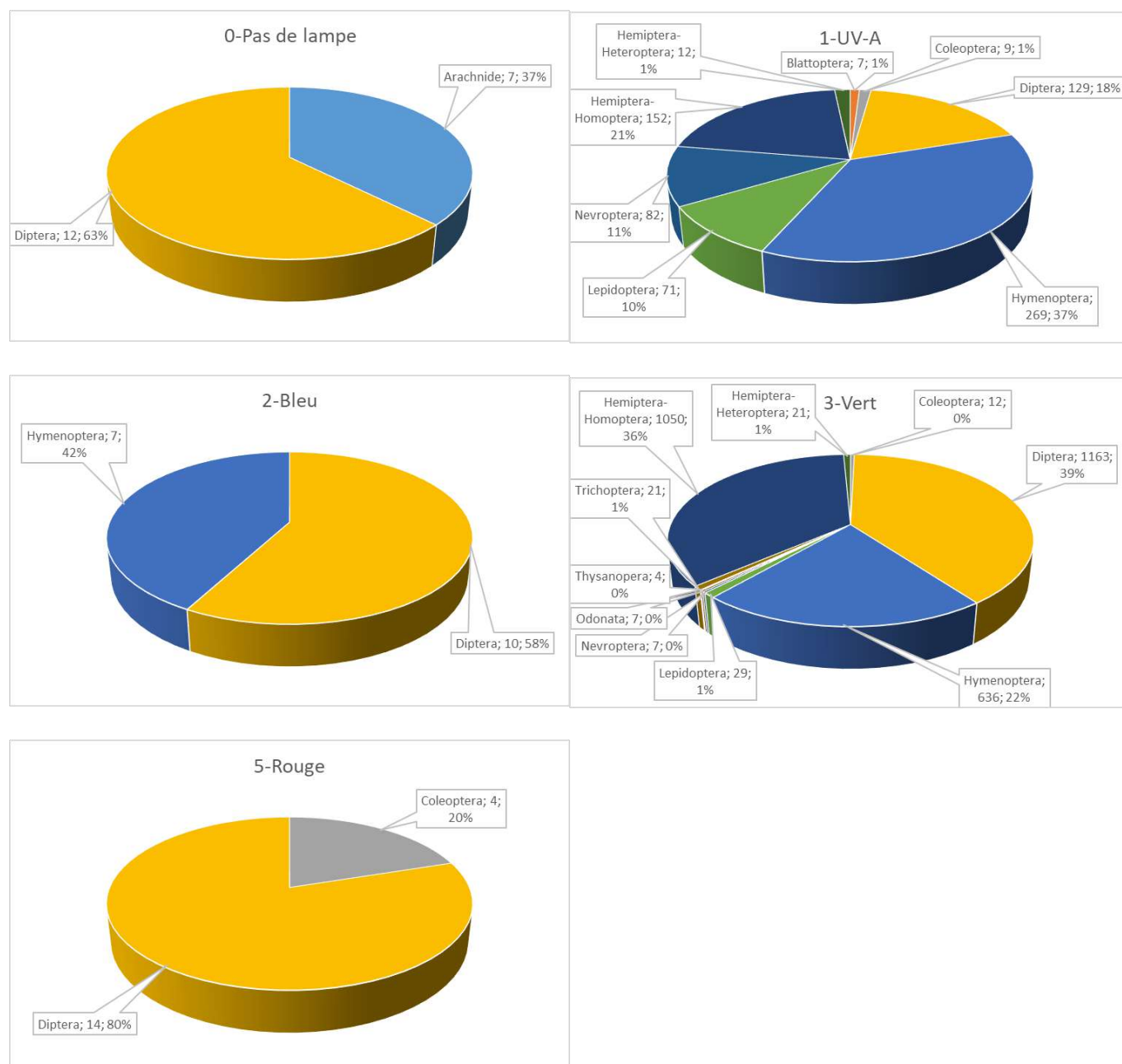


Figure 13 : proportion d'insectes piégés par ordre (données jusqu'au 01/04/2020)

Les araignées et insectes non volants piégés l'ont été certainement car ils viennent consommer les autres insectes piégés. Lorsque l'on se concentre sur les pièges UV-A et vert, nous pouvons constater des similitudes. Ils piègent tous les deux des hyménoptères (fourmis ailées essentiellement), des homoptères (cicadelles) et des diptères (chironomes). Nous pouvons aussi constater des différences. Le piège UV-A cible en plus les névroptères (chrysopes) et les lépidoptères.

2.4.3 Efficacité suivant la saison

Les essais seront réalisés en 2020.

3. Piégeage sous abri

3.1 Matériel et méthode

Les essais seront réalisés en 2020.

4. Discussion

Les premiers résultats montrent une efficacité et une sélectivité différentes entre les spectres. Avec les résultats actuels, il semble que les plus efficaces sont les tubes UV-A et vert. Le vert semble être plus sélectif et très attractif pour les chironomes. Les lépidoptères semblent être plus attirés par les UV-A que par le vert, par contre, les UV-A paraît attirer de nombreuses chrysopes adultes ce qui peut être néfaste à la PBI.

La poursuite des essais en 2020 permettra de mieux cadrer les caractéristiques de chaque spectre.

5. Conclusion

Ce projet vise à évaluer l'intérêt de pièges lumineux. En 2019, nous avons testé l'efficacité et la sélectivité de différents spectres. Les premières données indiquent un intérêt des pièges UV-A et vert. Nous avons piégé des papillons mais aussi des fourmis ailées et des cicadelles. Ces résultats inattendus élargissent les applications possibles des pièges lumineux.

En 2020, nous continuerons à tester les différents spectres en extérieur et nous démarrerons de nouveaux travaux :

- Utilisation de Leds
- Test de différentes orientations des plaques engluées.
- Utilisation sous abri avec ou sans lâchers de lépidoptères
- Utilisation en cultures sensibles aux cicadelles

Renforcer les défenses des plantes par un éclairage spécifique

Projet PHYBI ; action1

Travaux réalisés en 2019 et 2020



Financeurs :

Conseil régional des Pays de la Loire
Producteurs adhérents

Rédigé par :

Alain Ferre, mars 2020

Référent technique :

Alain Ferre

Résumé

Des observations, réalisées précédemment au niveau d'essai réalisé en chambre de culture avec différents spectres, nous ont fait pressentir un effet d'éclairage spécifique sur la résistance des plantes.

Des recherches bibliographiques nous confortent dans cette idée. En effet, Les articles consultés montrent des effets protecteurs du bleu, des UV-B et d'un ratio rouge/rouge lointain (R/RL) élevé.

Le projet REGAL conduit par notre station (financement conseil régional Pays de la Loire 2012-2015) a montré que l'effet d'un ratio R/RL dépend de la présence de RL et de l'intensité de R. De plus, le ratio rouge / bleu (R/B) entre en interaction avec les effets du rouge et du rouge lointain.

Ainsi, au sein de ce projet, nous souhaitons éclaircir les effets de spectres spécifiques sur la résistance des plantes aux ravageurs :

- Spectre à dominante bleu
- Spectre à dominante rouge (sans RL)
- Spectre à ratio R/RL faible ou fort
- Spectre avec ajout d'UV-B

Parallèlement l'effet de l'intensité est en cours d'exploration.

En 2019, nous avons utilisé comme modèle les couples suivants :

- Chrysanthème / thrips *Frankliniella occidentalis*
- Chrysanthème / puceron *Aphis gossypii*
- Menthe / thrips *Frankliniella occidentalis*

Les essais ont été conduits en chambre de culture en l'absence de lumière naturelle.

Les résultats montrent des effets différents suivant le ravageur. Le thrips semble être fortement sensible au conditionnement des plantes avec des taux d'infestation divisés par quatre sous spectre à dominante bleu comparé à un spectre à dominante rouge. Concernant le puceron, nous n'avons relevé d'effet très prononcé.

Enfin, le test sur chrysanthème a mis en évidence l'importance essentielle de l'intensité lumineuse pour une bonne protection des plants.

Renforcer les défenses des plantes par un éclairage spécifique

Projet PHYBI ; action1

Cette action du projet PHYBI vise à évaluer l'effet de spectres lumineux spécifiques sur le développement des ravageurs. L'effet soupçonné est une activation des défenses des plantes. Nous avons conduit des essais en chambre de culture en l'absence de lumière naturelle et en production. Les facteurs étudiés étaient les caractéristiques du spectre, l'intensité et la photopériode.

1. Bibliographie

1.1 Lumière et photorécepteurs des plantes : effets et interactions

Les plantes perçoivent les conditions de leur environnement par de nombreux photorécepteurs. Ils captent la lumière au niveau de quatre plages de longueur d'onde :

Les phytochromes captent le rouge clair (R=660 nm) et le rouge lointain (RL=740 nm)

Les cryptochromes, phototropines, ZTL etc. absorbent des UVA au bleu (pics d'absorption à 365 et 450nm)

Les UVR8 absorbent les UV-B (290-300nm)

Suivant l'intensité reçue pour une longueur d'onde donnée ou le rapport d'intensités entre deux longueurs d'onde, les plantes vont réagir spécifiquement. Par exemple, si le ratio R/RL est élevé alors les plantes arrêtent leur croissance apicale, se ramifient et les feuilles deviennent plus foncées.

Les effets en relation avec les insectes identifiés dans la bibliographie portent essentiellement sur le ratio R/RL et sur l'intensité en bleu, violet et UV-B.

Concernant le R/RL, les études montrent qu'un rapport faible limite la résistance des plantes via une réduction de la production d'acide jasmonique et de l'expression des défenses liées à l'acide jasmonique (Ballaré *et al.*, 2012 ; Cargnel *et al.*, 2014 ; De Wit *et al.*, 2013). De nombreux autres articles montrent l'effet "sensibilisateur" d'un ratio R/RL faible contre *Botrytis cinerea* pour *Arabidopsis* (Cargnel *et al.*, 2014 ; De Wit *et al.*, 2013) et tomate (Xu *et al.*, 2016). Nous n'avons pas trouvé d'articles montrant un effet du ratio R/RL sur le développement des ravageurs, mais par extension des résultats précédents, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'ils seront comparables.

Une plante dans l'ombre des plantes voisines peut se trouver dans une situation délicate car la morphogénèse, pour optimiser l'exposition à la lumière (le syndrome de l'évitement de l'ombre induit par un rapport R/RL faible), est priorisée par rapport à la mise en place des mécanismes de défense (induit par un rapport R/RL élevé). Il est démontré qu'une plante avec un syndrome de l'évitement de l'ombre est plus sensible aux bio-agresseurs (Izaguirre *et al.* 2006, De Wit *et al.* 2013, Ballaré 2009). Cette régulation passe par la répression du *phytochrome-interacting factors* (PIFs) qui réduit la sensibilité au jasmonate.

Concernant l'impact d'un éclairage bleu, les mécanismes sont plus confus. Jeong et ses collègues ont montré en 2010 que les récepteurs du bleu cryptochrome 2 et phototropine 2

sont nécessaires à la stabilité des protéines R qui améliore la résistance au virus TCV. L'article de Wu et Yang paru en 2010, montre que le cryptochrome 1 est impliqué dans la régulation des protéines R qui induisent la résistance des *Arabidopsis* au *Pseudomonas syringae*. La réponse à la lumière bleue est également corrélée à l'état des phytochromes donc à la lumière rouge (El-Esawi *et al.*, 2017). Ce dernier article montre que l'activation du cry1 entraîne une surproduction de ROS qui elle-même améliore la résistance des plantes et par une boucle de rétroaction désactive cry1.

Pour l'instant nous ne connaissons pas de récepteur spécifique à la lumière verte, cependant, nous savons que ces longueurs d'onde agissent sur les photorécepteurs du bleu, en particulier les cryptochromes. Une étude de 2015 réalisée par Sato et ses collègues, montre qu'un éclairage de 2h la nuit avec de la lumière verte ou de la lumière bleue entraîne des effets similaires sur la morphologie de l'arabette (réduction de la longueur des racines et de l'hypocotyle). Ces éclairages entraînent également une surproduction d'acide jasmonique et d'acide salicylique. En plus, l'éclairage avec le vert est plus efficace avec des taux deux fois supérieurs à l'éclairage bleu. Un éclairage vert+bleu réduit entièrement le FADH alors qu'un éclairage uniquement bleu passe le FAD de sa forme oxydée à sa forme neutre (Hammad *et al.*, 2019).

Assez récemment, un récepteur aux UV-B, nommé UVR8 (UV Resistance Locus 8), a été mis en évidence (Brown *et al.* 2005). Le pic d'absorption de ce récepteur serait compris entre 280 et 310 nm (Jenkins, 2009) et il est activé avec de très faibles intensités d'éclairage ($1,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in Cloix *et al.*, 2012).

Les effets actuellement connus d'un éclairage riche en UV-B en relation avec la résistance des plantes sont :

- production de flavonoïdes, pigments protégeant l'intégrité cellulaires contre les UV-B et UV-C (Jenkins, 2009, Ballaré *et al.*, 2012, Timbrook *et al.*, 2013),
- amélioration de la résistance aux bioagresseurs (Ballaré *et al.*, 2012, Tilbrook *et al.*, 2013, Escobar-Bravo *et al.*, 2017) par interaction avec les voies de signalisation SA et JA, provoquant notamment l'accumulation de produits phénoliques, voie du métabolisme secondaire génératrice de composés de défense vis-à-vis de stress biotiques et abiotiques (Ballaré, 2014).
- renforcement pariétal à différents niveaux (lignine, hémicellulose, cellulose) et inhibition de son élasticité (Le Gall *et al.*, 2015).
- résistance aux stress hydriques (Escobar-Bravo *et al.*, 2017)
- résistance aux fortes températures (Escobar-Bravo *et al.*, 2017)

Ainsi, l'intensité en rouge lointain, rouge clair, vert, bleu et UV-B y compris les ratios d'intensités entre ces couleurs jouent des rôles importants dans l'activation des défenses des plantes.

Articles :

- Ballare, C. L. (2009). Illuminated behaviour: phytochrome as a key regulator of light foraging and plant anti-herbivore defence. *Plant, Cell & Environment*, 32(6), 713-725.
- Ballaré, C. L., Mazza, C. A., Austin, A. T., & Pierik, R., (2012). Canopy light and plant health. *Plant Physiology*, 160(1), 145-155.
- Ballaré, C. L. (2014). Light Regulation of Plant Defense. *Annual Review of Plant Biology*, 65(1), 335–363.
- Brown B.A., Cloix C., Jiang G.H., Kaiserli E., Herzyk P., Kliebenstein D.J., Jenkins G.I., (2005). A UV-B-specific signaling component orchestrates plant UV protection. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102: 18225-18230.
- Cargnel M. D., Demkura P. V., Ballaré C. L., 2014. Linking phytochrome to plant immunity: low red : far-red ratios increase Arabidopsis susceptibility to Botrytis cinerea by reducing the biosynthesis of indolic glucosinolates and camalexin. *New phytologist* (2014) 204: 342-354
- Cloix C, Kaiserli K, Heilmann M, Baxter KJ, Brown BA, O'Hara A, Smith BO, Christie JM, Jenkins GI (2012) The C-terminal region of the UV-B photoreceptor UVR8 initiates signaling through interaction with COP1. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 109: 16366-16370.
- De Wit M., Spoel S.H., Sanchez-Perez G. F., Gommers C. M. M., Pieterse C. M., Voesenek L. A. C. J. and PIERIK R., 2013. Perception of low red:far-red ratio compromises both salicylic acid- and jasmonic acid-dependent pathogen defences in Arabidopsis. *The Plant Journal* (2013) 75, 90-103
- El-Esawi, M., Arthaut, L. D., Jourdan, N., d'Harlingue, A., Link, J., Martino, C. F., & Ahmad, M. (2017). Blue-light induced biosynthesis of ROS contributes to the signaling mechanism of Arabidopsis cryptochrome. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.
- Escobar-Bravo, R., Klinkhamer, P. G., & Leiss, K. A. (2017). Interactive effects of UV-B light with abiotic factors on plant growth and chemistry, and their consequences for defense against arthropod herbivores. *Frontiers in plant science*, 8, 278.
- Hammad, M., Albaqami, M., Pooam, M., Kernevez, E., Witczak, J., Ritz, T., ... & Ahmad, M. (2020). Cryptochrome mediated magnetic sensitivity in Arabidopsis occurs independently of light-induced electron transfer to the flavin. *Photochemical & Photobiological Sciences*.
- Izaguirre, M. M., Mazza, C. A., Biondini, M., Baldwin, I. T., & Ballaré, C. L. (2006). Remote sensing of future competitors: impacts on plant defenses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(18), 7170-7174.
- Jenkins GI, (2009). Signal transduction in responses to UV-B radiation. *Ann. Rev. Plant Biol.* 60: 407-31.
- Le Gall, H., Philippe, F., Domon, J. M., Gillet, F., Pelloux, J., & Rayon, C. (2015). Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*, 4(1), 112–166.
- Tilbrook, K., Arongaus, A. B., Binkert, M., Heijde, M., Yin, R., & Ulm, R. (2013). The UVR8 UV-B photoreceptor: perception, signaling and response. *The Arabidopsis Book*, e0164.
- Xu H., Fu Y, Li T., Wang R., 2016. Effects of different LED light wavelengths on the resistance of tomato against Botrytis cinerea and the corresponding physiological mechanisms. *Journal of integrative agriculture* 2016, 15(0): 60345-7

1.2 Effets SDP contre les insectes

Le système immunitaire des plantes recouvre des protéines de perception des bioagresseurs (protéines R), des voies de signalisation hormonales (principalement acide salicylique ou SA, acide jasmonique ou JA et éthylène ou ET) et mécanismes avals conduisant à la synthèse de métabolites, protéines, macromolécules impliquées dans l'élaboration de barrières chimiques (antimicrobiennes et insecticides) ou physiques (renforcement pariétal). Comme illustré précédemment, des effets significatifs des différents signaux lumineux perçus par les photorécepteurs sur l'expression des défenses des plantes ont déjà été démontrés. Stratégique pour la plante pour réguler le compromis croissance/défense, les signaux lumineux semblent selon les cas activer directement les défenses ou mettre simplement la plante en état de se défendre, en levant des répressions. Ceci aura des conséquences pour la mise en place des essais destinés à vérifier l'effet des différentes longueurs d'ondes sur

l'expression des défenses de la plante dans ce présent projet : ces analyses devront être menées avec ou sans stress secondaire pour statuer sur le mode d'action des différentes longueurs d'onde testées.

L'IRHS a développé et breveté un outil standard nommée qPFD permettant de quantifier l'état du système immunitaire d'une plante par la mesure simultanée de l'expression de 28 gènes de défense répartis dans les différents processus amont et aval des défenses exceptées les protéines R (protéines PR, voies du métabolisme secondaire, stress oxydant, renforcement pariétal, voies de signalisation SA, JA et ET, Brisset et Dugé de Bernonville, 2011). Cet outil permet de cribler des produits à action SDP (Dugé de Bernonville *et al.*, 2014) et le projet se propose de l'utiliser pour explorer rapidement l'effet des différentes longueurs d'onde candidates sur les défenses des plantes.

2. Matériel et méthode

2.1 Localisation

Les essais ont été conduits à la station d'expérimentation située 1 rue des Magnolias 49130 Les Ponts de Cé.

2.2 Essai en chambre de culture

Les tests sont réalisés sur des étagères de 0,5 m² munies d'éclairage Leds. Chaque étage accueillait un essai. Les étagères ne sont pas fermées et les insectes peuvent librement passer d'une modalité à une autre. La climatisation est réglée entre 20 et 23 °C. La chambre est déshumidifiée et l'hygrométrie relative est comprise entre 60 et 70 %. La photopériode est de 16h / jour.

2.3 Spectres lumineux testés

Le tableau suivant précise les différents spectres testés. Les plages servant aux calculs d'intensité ou de ratio sont les plages d'absorption des photorécepteurs impliquées. L'intensité totale d'un spectre est donnée entre 400 et 700 nm.

Tableau 1 : caractéristique des spectres lumineux (les pourcentages sont calculés en fonction de l'intensité de chaque plage de longueurs d'onde comparé à l'intensité entre 400 et 700 nm)

Nom du spectre	UV-B	UV-A+Bleu	Vert	Rouge	Rouge lointain	Abréviation	R/B	R/RL
Photorécepteurs	UVR8	Cryptochrome, Phototropine ...	Cryptochrome	Phytochromes	Phytochrome			
Plage d'absorption (nm)	290-300	340-490	500-600	610-690	710-770			
Dominante bleue	0	60	8	32	0	0+60/8/32+0	0,53	NA
Equilibré R/B	0	48	6	46	0	0+48/6/46+0	0,96	NA
Dominante rouge n°1 (essais 2019)	0	31	14	55	0	0+31/14/55+0	1,77	NA
Dominante rouge n°2 (essais 2020 et suivants)	0	28	10	62	0	0+28/10/62+0	2,2	NA
Equilibré + UV-B	XX	48	6	46	0	X+48/6/46+0	0,96	NA
R/RL n°1	0	47	5	48	78	0+47/5/48+78	1	0.68
R/RL n°2	0	48	6	46		0+46/9/45+40	1	1,13

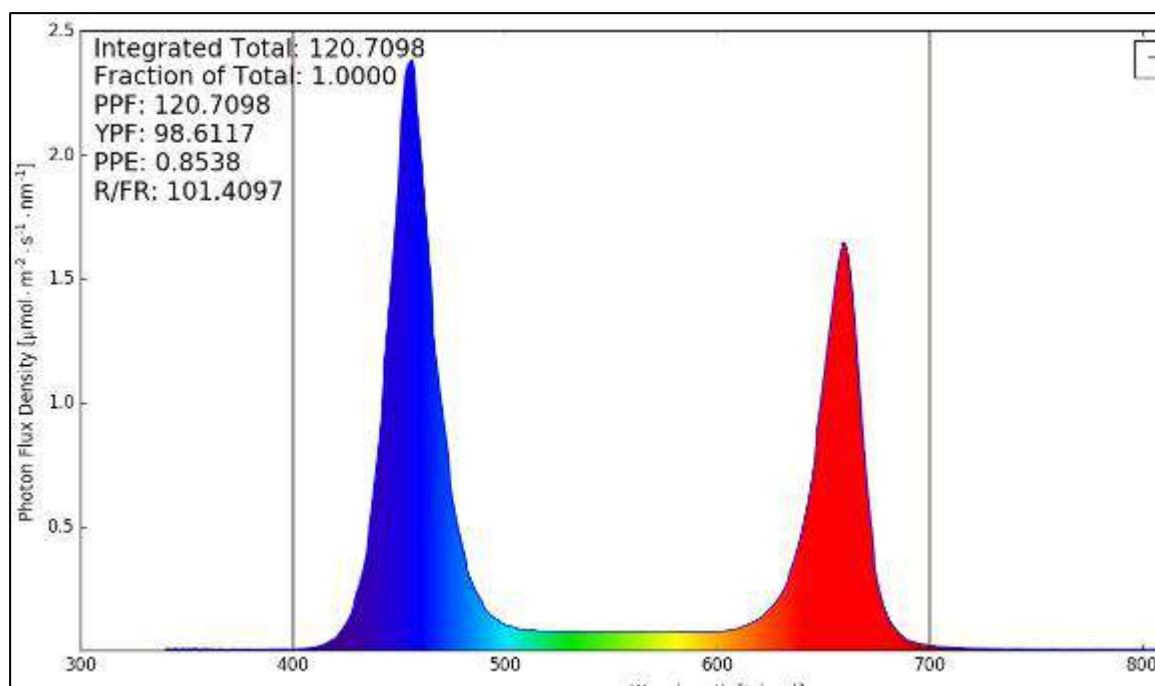


Figure 1 : Spectre à dominante bleue 0+60/8/32+0

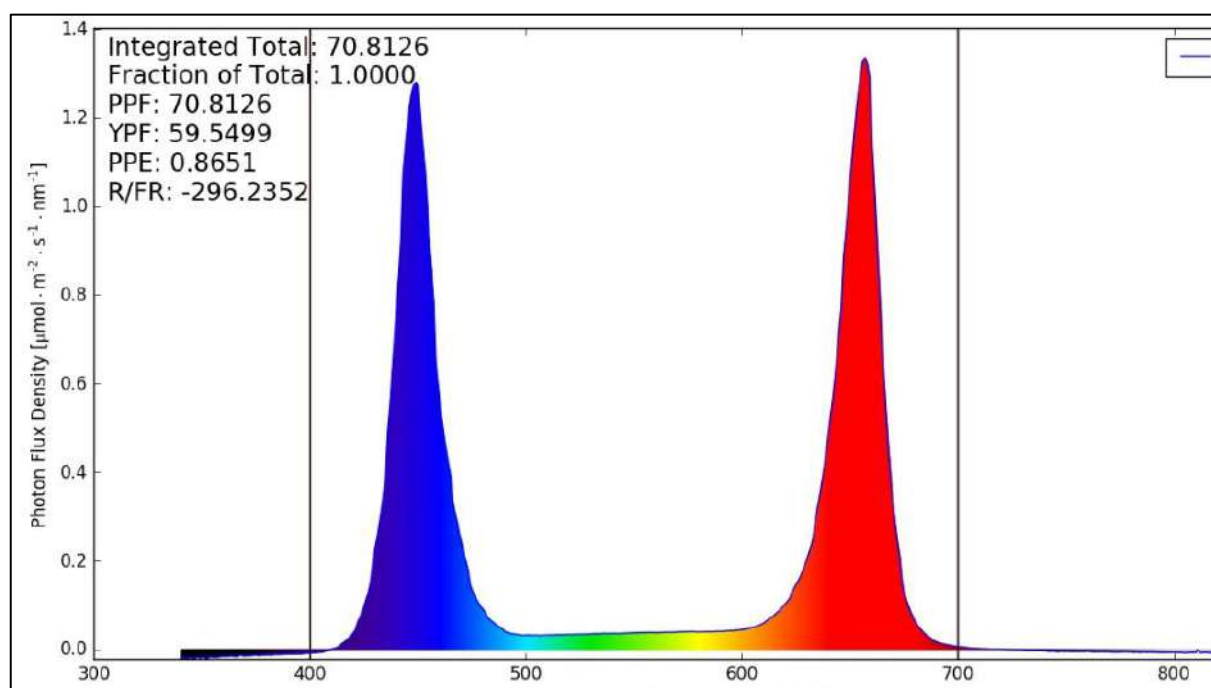


Figure 2 : Spectre équilibré 0+48/6/46+0

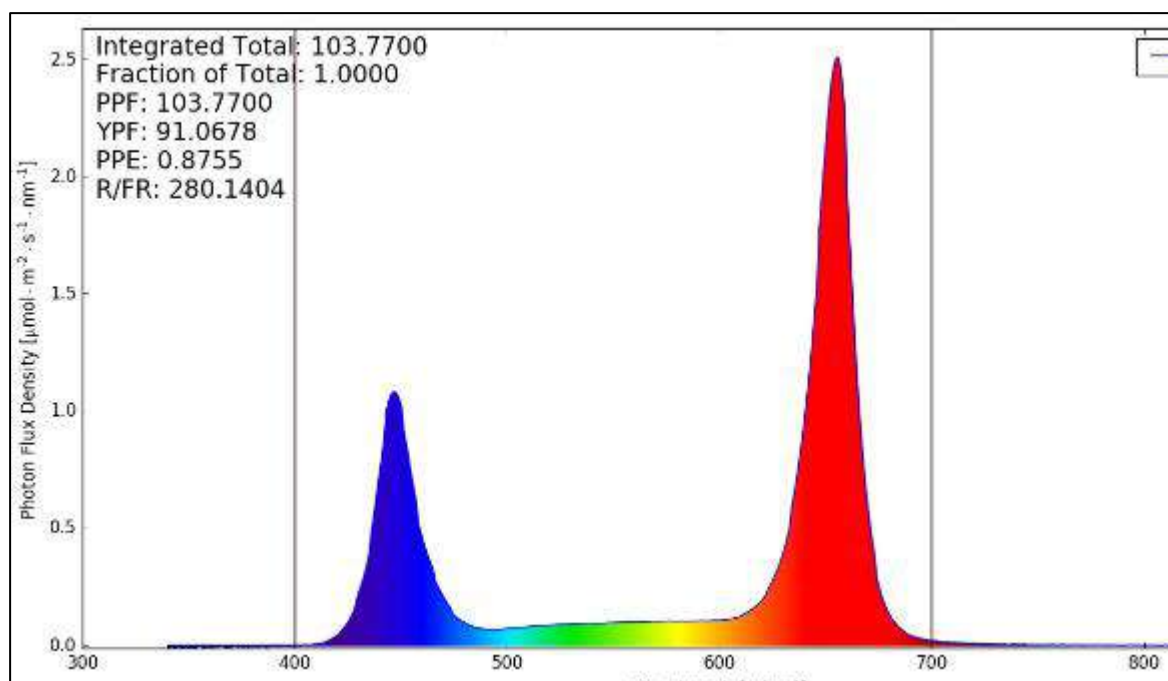


Figure 3 : Spectre à dominante rouge n°2 - 0+28/10/62+0

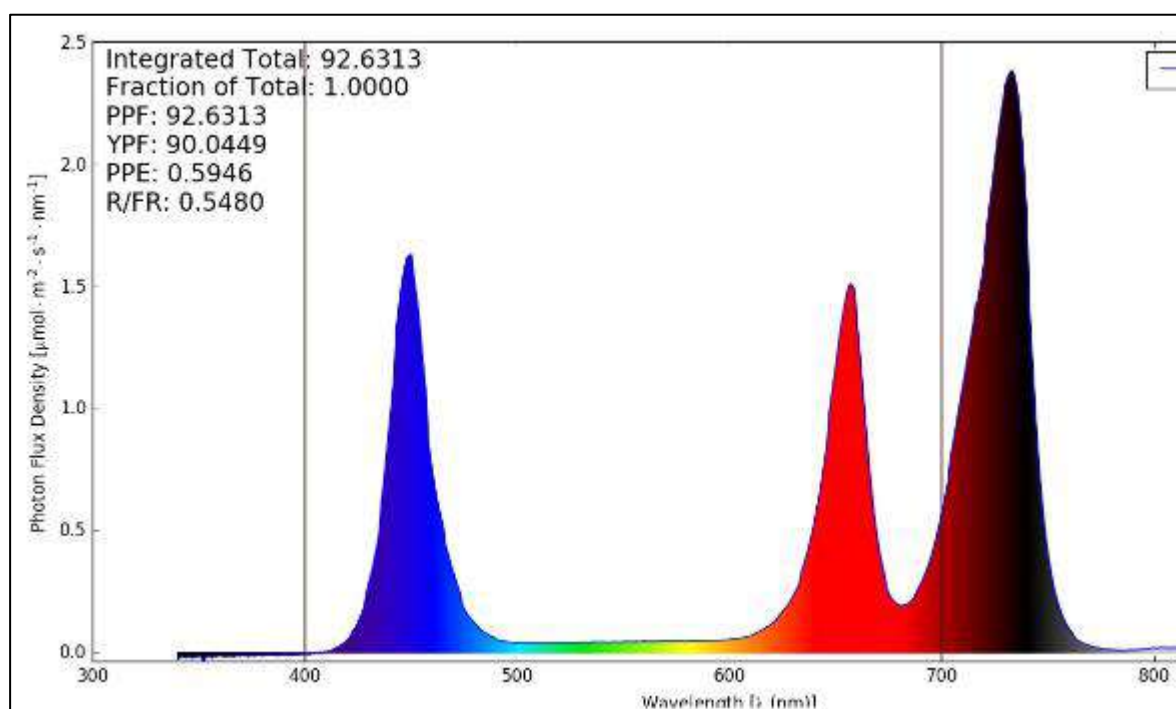


Figure 4 : Spectre R/RL N°1 - 0+46/9/45+40

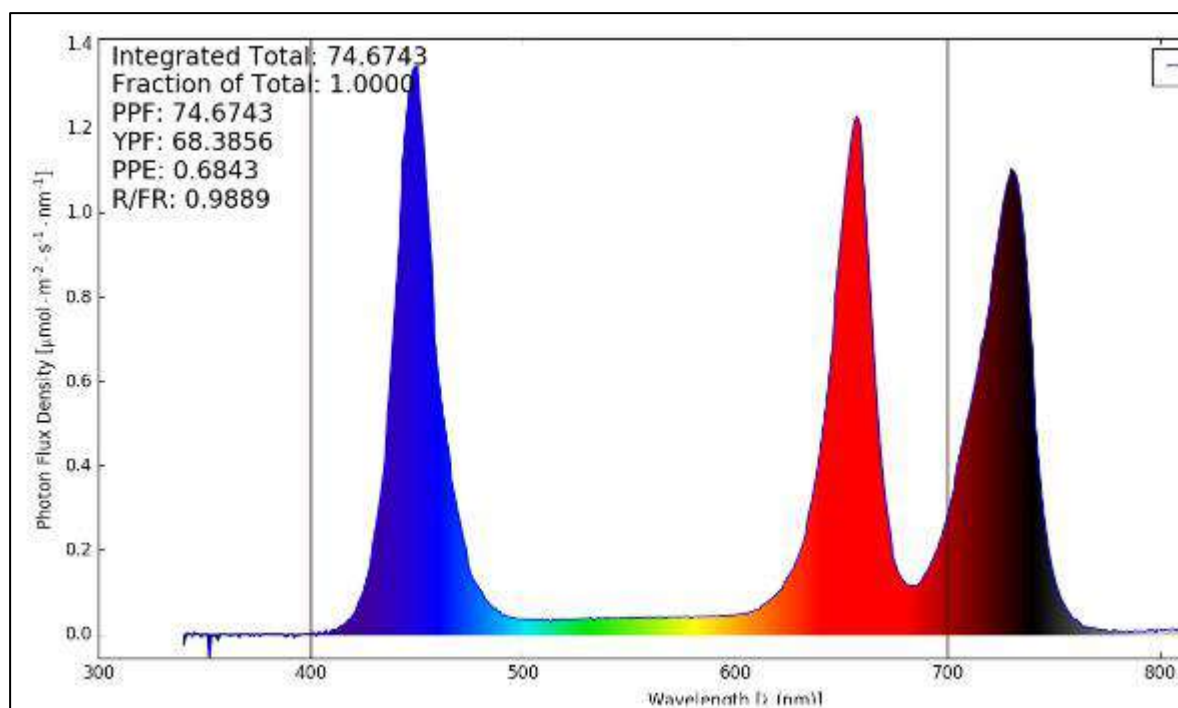


Figure 5 : Spectre à R/RL élevé - 0+48/6/46+20

2.4 Couple plante / ravageurs testés

Le tableau suivant résume les couples travaillés pendant ce projet.

Tableau 2 : couples plante / insecte travaillés

Type de ravageur	Espèce de ravageur	Plante	Année de projet
Thrips	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Chrysanthème	2019
		Menthe	2019
	<i>Heliothrips haemorrhoidalis</i>	<i>Viburnum tinus</i>	2020
Puceron	<i>Aphis gossypii</i>	Chrysanthème	2019
	<i>Myzus persicae</i>	<i>Viburnum tinus</i>	2020
Cochenille farineuse	<i>Planococcus citri</i>	<i>Viburnum tinus</i>	2020

2.5 Témoin

Par convention, nous attribuerons la fonction de témoin au spectre équilibré (0+48/6/46+0) à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

2.6 Calendrier des interventions

Série	Date	Intervention	Mesure
1- Menthe / <i>F. occidentalis</i>	05/06/19	Mise en place des éclairages et des plantes	
	24/06/19	Problème d'éclairage au sein de la modalité rouge. Réparé dans la foulée	
	07/08/19		Notation
2- Chrysanthème / <i>F. occidentalis</i>	02/07/19	Mise en place des plantes	
	05/09/19		Photographies

	02/10/19		Photographie
3- <i>V. tinus</i> / <i>F. occidentalis</i> + <i>M. persicae</i> + <i>P. citri</i>	19/12/19	Mise en place des plantes	
	18/03/20		Notation toutes modalités sauf RL
	23/03/20		Notation modalité RL

2.7 Spectres testés par série

Tableau 3 : Spectres testés par série d'essai. Les chiffres dans les cases correspondent aux intensités des 400 à 700 nm en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

Spectre	Caractéristiques	S1	S2	S3	S4	
Equilibré témoin	0+48/6/46+0		80	107		
Equilibré faible intensité	0+48/6/46+0		40	35		
Equilibré forte intensité	0+48/6/46+0					
Dominante bleue	0+60/8/32+0	80	80	113		
Dominante rouge n°1	0+31/14/55+0	80	80			
Dominante rouge n°2	0+27/9/62			98		
R/RL n°1	0+47/5/48+78			92		
R/RL n°2	0+46/9/45+40					

2.8 Critères de notation

De manière générale, nous avons évalué les populations d'insectes par pourcentage d'organes préférentiels infestés. Ce critère est corrélé au nombre d'individus par une fonction croissance asymptotique avec comme valeur minimale 0 et maximale 100. Cette fonction se rapproche d'une fonction logarithmique. Or, le nombre d'insectes évolue dans le temps suivant une fonction logistique pouvant être apprimée à faible effectif à une fonction exponentielle. Ainsi, le critère ($\ln(e^{a \cdot x}) = a \cdot x$) « pourcentage d'organes infestés » peut être considérée comme une fonction linéaire. Lorsque les valeurs se rapprochent de l'asymptote, la sensibilité de notation est perdue et nous ne pouvons plus distinguer deux populations différentes. Ainsi, à effectif faible, la sensibilité du critère est bonne mais lorsque l'on dépasse 70-80 % d'organes infestés, le critère n'est plus fiable par manque de sensibilité. A ce moment, pour récupérer cette sensibilité, nous pourrions modifier le critère en notant non plus le pourcentage d'organes infestés mais le pourcentage d'organes infestés avec plus de x individus.

Une autre façon encore plus fine de mesurer l'infestation est d'utiliser le même critère mais appliqué à chaque étage foliaire. Les plantes étant en croissance, les insectes vont se répartir différemment suivant les étages. Si certaines zones sont très infestées et donc difficilement exploitables, d'autres le seront moins et nous pourrions alors exploiter leurs données.

Enfin, en notant le pourcentage de feuilles avec dégâts par plantes nous obtenons un indicateur du cumul de l'intensité de l'infestation. Pour les ravageurs s'installant préférentiellement à l'apex, en faisant la même notation par étage foliaire, il est possible de retracer l'historique de l'intensité de l'infestation.

3. Validation des séries

3.1 Série 1 – Menthe / *F. occidentalis*

Les deux modalités se sont développées correctement. L'arrêt des Leds rouges ne semble pas avoir eu de répercussions fortes sur les résultats. La durée d'arrêt a sûrement été courte. L'essai est validé.

3.2 Série 2 – Chrysanthème / *F. occidentalis*

Les chrysanthèmes de la modalité témoin ont crû correctement et les ravageurs se sont développés suffisamment pour évaluer les différences entre modalités.

NB : les symptômes et écarts entre modalités étaient tellement flagrants que nous nous sommes contentés de faire des photos.

3.3 Série 3 – *Viburnum tinus* / *Heliothrips haemorrhoidalis* + *Myzus persicae* + *Planococcus citri*

La modalité RL a été exclue des résultats car elle n'était pas sur la même étagère que les autres modalités et n'avait aucune infestation en thrips. Cela pouvant être dû à la localisation et pas à l'effet du spectre, nous ne pouvons pas être sûrs que les résultats soient causés par le spectre.

Les plantes de la modalité témoin ont crû correctement et les ravageurs se sont développés suffisamment pour évaluer les différences entre modalités (hors RL).

4. Résultats

4.1 Série 1 – Menthe / *Frankliniella occidentalis*

Comme le montre la figure suivante, les menthes ont été beaucoup moins attaquées sous éclairage à dominante bleue par rapport à la dominante rouge comme l'illustre la figure suivante.

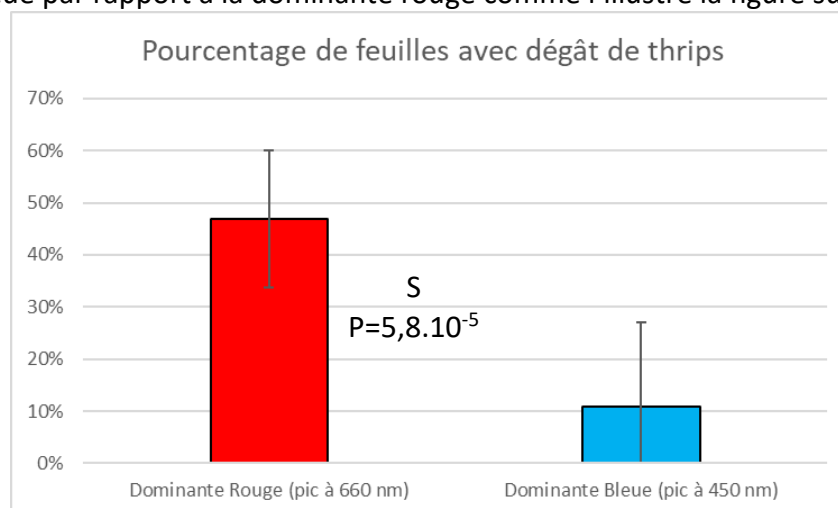


Figure 6 : pourcentage de feuilles de menthe avec dégâts de thrips (voir les caractéristiques des spectres en 2.3 ; test de Student, $\alpha=0,05$)

Les données d'infestation par étage confirment que l'ensemble de l'appareil végétatif est plus résistant sous éclairage à dominante bleue.

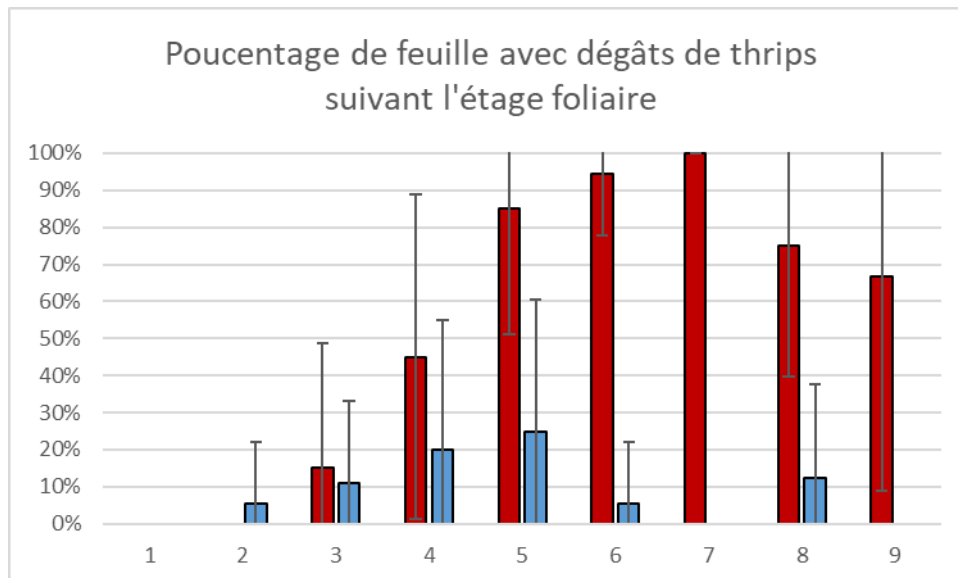


Figure 7 : pourcentage de feuilles de menthe par étage foliaire avec dégâts de thrips (voir les caractéristiques des spectres en 2.3)

Cette première série confirme que la qualité de lumière peut influencer fortement la résistance des plantes face aux ravageurs.

4.2 Série 2 – Chrysanthème / *Frankliniella occidentalis*

Nous avons testé trois modalités pour identifier l'influence de l'intensité : équilibré à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (témoin), dominante bleue à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (témoin positif), équilibré à 40. $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Pour cette série, nous n'avons pas noté les plantes. Nous avons pris des photos rendant compte de l'état d'infestation. Les figures suivantes illustrent les résultats.

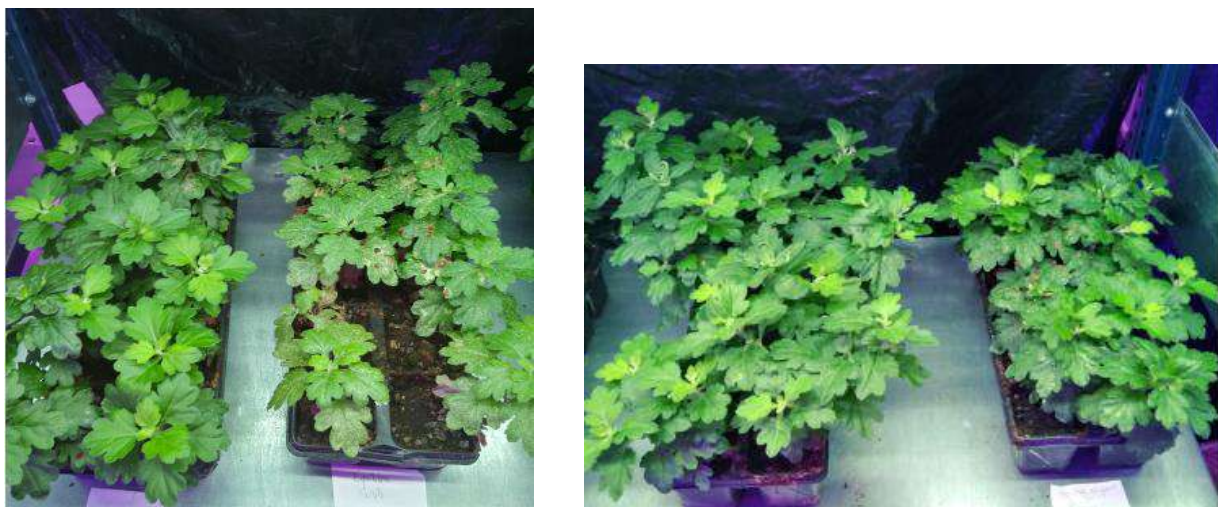


Figure 8 : état des chrysanthèmes le 5 septembre 2019. De gauche à droite : Dominante bleue, Equilibré à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Equilibré à 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Dominante rouge



Figure 9 : détail des chrysanthèmes le 5 septembre 2019. De haut en bas et de gauche à droite : Dominante bleue, Équilibré à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Équilibré à 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Dominante rouge

Deux mois après la mise en place des plantes, les différences d'infestation sont flagrantes. Pour une même intensité, nous confirmons que le spectre à dominante rouge est le moins protecteur et le plus est celui à dominante. Nous montrons également la grande importance de l'intensité lumineuse puisque les chrysanthèmes sous spectre équilibré à 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ sont moribonds alors ceux à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ sont assez peu attaqués.

Un mois plus tard, l'état des chrysanthèmes est largement dégradé comme l'illustrent les photographies ci-dessous.



Figure 10 : état des chrysanthèmes le 2 octobre 2019. De haut en bas et de gauche à droite : Dominante bleue, Equilibré à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Equilibré à 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, Dominante rouge

Les résultats sont comparables à ceux du mois précédent. Les chrysanthèmes sous dominante bleue sont corrects et ne montrent pas de signe de stress contrairement aux autres. Ceux en faible intensité sont tous morts suivis par ceux sous dominante rouge et les plantes sous éclairage équilibrés à 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Cette série confirme les résultats de la série 1 et fait ressortir deux hypothèses explicatives :

- Plus le spectre contient du bleu et plus il est protecteur,
- Plus l'intensité est importante et plus les plantes sont résistantes.

Mais au moins une question persiste :

- Est-ce le ratio R/B faible qui confère une protection ou la quantité importante de bleu indépendamment de la quantité de rouge ?

4.3 *Viburnum tinus* / *Heliothrips haemorrhoidalis*

Les graphiques suivants présentent les résultats de la notation 3 mois après mise en place.

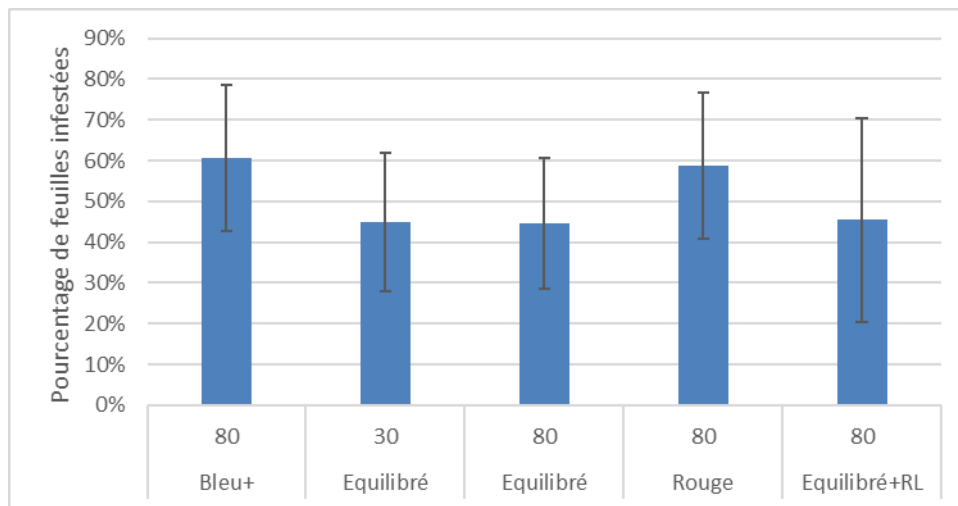


Figure 11 : pourcentage de feuilles infestées par *Heliothrips haemorrhoidalis*. Notation le 18/03/20
3 mois après mise en place

Les résultats sont surprenants par rapport aux précédents. En effet, ici l'intensité ne semble pas avoir influencé l'infestation. De même, les plantes sous éclairage à dominante bleue sont plus infestées que le témoin (équilibré 80) à l'inverse des séries précédentes et les plantes sous RL sont au même niveau que le témoin. Cela peut être dû par plusieurs causes :

- Infestation non homogène au démarrage de l'essai
- Le *Viburnum tinus* ne réagit pas de la même manière à l'éclairage que la menthe et le chrysanthème
- Cette espèce de thrips, présents sur sa plante préférée, est peu sensible aux systèmes de défenses des plantes.

Les tests statistiques (Anova, $\alpha=0,05$, $p=0,25$) ne sont pas significatifs. Nous ne pouvons donc pas conclure quant à ces résultats. Une nouvelle série devra préciser les résultats.

4.4 *Viburnum tinus* / *Myzus persicae*

L'infestation de puceron *Myzus persicae* est mesurée par le critère « nombre de feuilles infestées par apex ». En effet ce puceron se développe préférentiellement au niveau des jeunes feuilles sortant de l'apex. En faible infestation, ils ne sont présents que sur les plus jeunes feuilles. Puis, au fur et à mesure que la population grandit, ils infestent les feuilles suivantes. Le critère choisi permet donc de caractériser l'état d'infestation d'une plante.

Les résultats sont présentés ci-dessous.

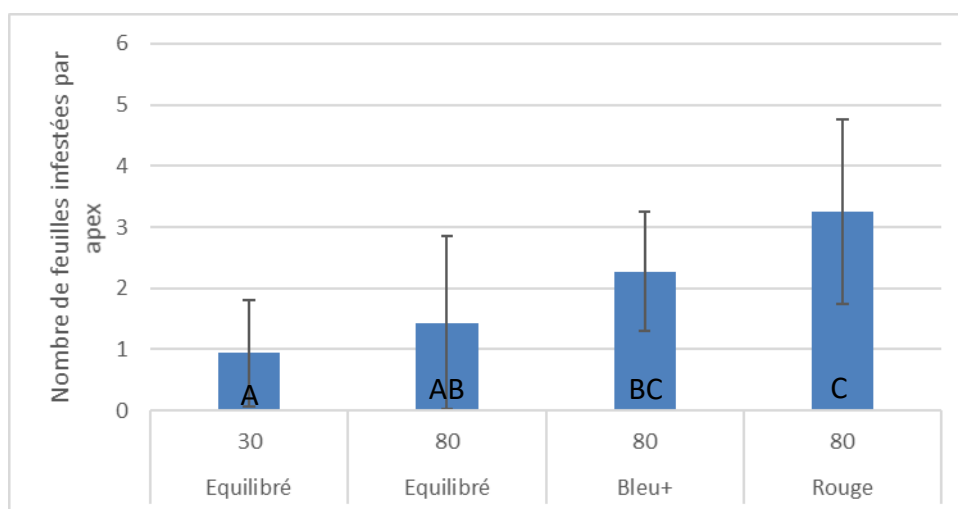


Figure 12 : nombre moyen de feuilles par apex infestées par *Myzus persicae*. Notation le 18/03/20 3 mois après mise en place. Test statistique ; Anova, $\alpha=0.05$, $p=0.0056$, groupes construits par test de Student 2 à 2.

Ici aussi, les données sont étonnantes. Nous nous attendions à avoir plus de ravageurs au niveau de la modalité à dominante rouge, mais nous attendions à en avoir peu en dominante bleue et beaucoup au niveau de la modalité à faible intensité.

Le ravageur étant différent que pour les tests précédents, l'hypothèse reposant sur une réponse différente par plante.

4.5 Viburnum tinus / Planococcus citri

Les résultats sont illustrés au sein du graphique suivant.

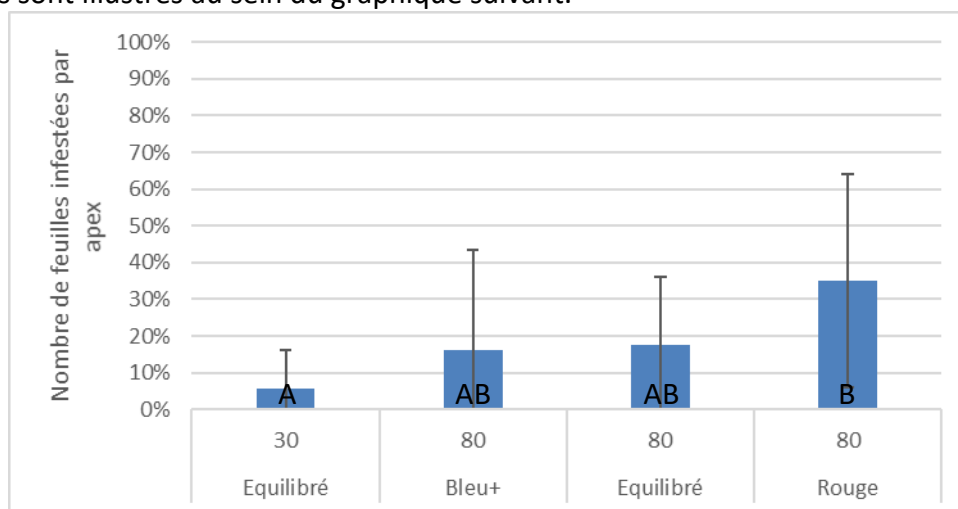


Figure 13 : pourcentage de nœuds infestés par *Myzus persicae*. Notation le 18/03/20 3 mois après mise en place. Test statistique ; Anova, $\alpha=0.05$, $p=0.036$, groupes construits par test de Student 2 à 2.

Ces résultats confirment la plus forte sensibilité d'un éclairage à dominante rouge. En revanche, comme précédemment, les résultats de la modalité équilibrée à faible intensité sont surprenants. Une prochaine série d'essai devra préciser ces données.

5. Discussion

5.1 Relation spectre / résistance

Les résultats obtenus ne corroborent pas entièrement nos hypothèses de départ.

Les données sont concordantes entre les tests avec la menthe et avec le chrysanthème. En revanche, les données obtenues sur *Viburnum tinus* sont différents. La règle voulant que plus un spectre est bleu et plus les plantes sont protégées semble être, au moins en partie, validée. Cependant les mécanismes sous-jacents ne sont pas encore compris. Est-ce la quantité de bleue qui joue ou bien le ratio R/B. De prochaines séries devront préciser cela.

De plus, nous devons éclaircir les différentes réponses possibles suivant l'espèce végétale. Cela aboutira peut-être à la constitution de groupes de plantes à réaction homogène.

Enfin, des publications récentes montrent que le vert agit sur le cryptochrome 2 et pourrait accentuer l'effet du bleue. Cette hypothèse sera testée au sein de nouvelles séries.

5.2 Réponses antagonistes entre puceron et thrips concernant les éclairages à faible intensité

Nous pouvons proposer l'hypothèse explicative suivante. Le puceron ne nourrit de sève élaborée, contrairement au thrips qui se nourrit du contenu cellulaire. Ainsi, en faible intensité lumineuse, les plantes produisent moins de sève ou une sève de moindre qualité ce qui réduit le développement des pucerons. Le thrips ne se nourrissant de sève serait moins sensible à ce paramètre. Cependant, les plantes bien éclairées produiraient plus de molécules de défenses qui s'accumulent dans les cellules ce qui rend les plantes bien éclairées moins nourrissante pour les thrips.

Si cette hypothèse est juste, nous pourrions classer les insectes en deux groupes :

- Groupe 1 = faible développement en intensité faible : insectes piqueur-suceur (pucerons, cochenilles, psylle...)
- Groupe 2 = fort développement en intensité faible : insectes videur de cellule (thrips, acariens, cicadelles...)

6. Conclusion

Ce projet vise à évaluer l'effet de différents spectres lumineux sur la résistance des plantes face aux ravageurs. Le but étant de proposer des éclairages à installer sous abri pour avoir des productions plus résistantes et donc plus qualitatives en réduisant l'usage d'insecticides.

Les premiers tests ont montré, qu'effectivement, la qualité du spectre lumineux influence fortement le développement des ravageurs. En revanche, la réponse ne semble pas être homogène entre les ravageurs et entre les plantes.

Pour les ravageurs nous émettons l'hypothèse de deux groupes, les piqueurs-suceurs qui sont défavoriser par des éclairages diminue la qualité de la sève donc la photosynthèse (faible intensité, rouge lointain, bleu) et les videurs de cellule qui sont défavoriser par les éclairages qui rendent le contenu cellulaire plus toxique (bleu, UV-B, forte intensité).

Pour expliquer les différences observées entre les plantes, nous n'avons pas encore d'hypothèse.

Les séries prochaines apporteront plus de données en diversifiant les spectres, les insectes et les plantes travaillées. L'ensemble de ces données permettra d'étayer les hypothèses ou d'en proposer de nouvelles.

AGROCAMPUS OUEST ☒ CFR Angers ☐ CFR Rennes l'institut Agro agriculture • alimentation • environnement 	  UNIVERSITÉ DE NANTES	 ASTREDHOR Institut technique de l'horticulture
Année universitaire : 2020 - 2021 Mention : Biologie végétale Parcours : Filières de l'horticulture et Innovations (FHI)	Mémoire de Fin d'Études ☐ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage ☒ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)	

Etude de l'impact de la lumière sur les insectes ravageurs

Par : Fanny UBLET



Soutenu à Angers le 09/09/2021

Devant le jury composé de :

Présidente : Béatrice TEULAT

Maître de stage : Alain FERRE

Enseignant référent : Yann TRICAULT

Responsable de parcours FHI : Emmanuel GEOFFRIAU

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

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

Signature :



Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

☒ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible.

Date et signature du maître de stage : 27/08/21
(ou de l'étudiant-entrepreneur)



A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur Nom Prénom : Ublet Fanny

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☒ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☒ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) ☒ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-NC-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable du master ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☐ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

☒ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

Remerciements

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à mon maître de stage, Alain FERRE, pour sa confiance, sa disponibilité, et toutes les connaissances qu'il a su me transmettre.

Je tiens également à remercier tous les membres de l'équipe de la station Arexhor PL pour leur accueil chaleureux.

Je remercie également Yann TRICAULT, maître de conférence à Agrocampus Ouest, pour ses conseils sur la rédaction de mon mémoire.

Enfin, je remercie chaleureusement l'équipe enseignante du parcours I2PH d'Agrocampus Ouest pour leur engagement et le soutien qu'ils ont su apporté à leurs étudiants pendant cette année scolaire dans un contexte sanitaire compliqué.

Liste des abréviations

AA = Acides Aminés

DLI = Daily Light Integral

LEDs = Light Emitting Diodes

ET = Ethylène

JA = Acide Jasmonique

PPFD = Photon Flux Density

R/B = Rouge/Bleu

SA = Acide Salicylique

UV = Ultra Violet

HIPVs = Herbivore-Induced Plant Volatiles

SDP = Stimulateur de Défenses des Plantes

Liste des annexes

Annexe 1 : glossaire technique (essais 2019-2020)

Annexe 2 : plan des essais 2021

Table des figures

Figure 1 : spectres d'absorption des photorécepteurs des plantes (Battle et al., 2020).....	1
Figure 2 : photographie et schéma d'une LED (Light Emitting Diode) [1].....	1
Figure 3 : lumière et photorécepteurs impliqués dans les voies de signalisation de l'acide salicylique et de l'acide jasmonique (Roeber et al., 2021).....	3
Figure 4 : syndrome de l'évitement de l'ombre généré par le rouge lointain chez <i>Arabidopsis thaliana</i> : lumière blanche (B), lumière blanche + rouge lointain (B+RL) (Pantazopoulou et al., 2017).....	3
Figure 5 : nombre de thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>) par feuille sur chrysanthème sous lumière blanche (control) et UV-B (UV) en fonction du temps (Escobar-Bravo et al., 2019).....	5
Figure 6 : Mécanismes de résistance des plantes (War et al., 2012).....	5
Figure 7 : voies de signalisation de la lumière chez la drosophile (Lazopulo et al., 2019).....	6
Figure 8 : taux de mortalité des pupes de drosophiles sous différentes longueurs d'onde (Hori et al., 2015).....	6
Figure 9 : attractivités des HIPVs émis par les insectes ravageurs et leurs prédateurs ou parasitoïdes associés (Gebreziher et al., 2018).....	7
Figure 10 : sensibilité de menthes aux thrips californiens suivant l'éclairage reçu (tests statistiques : test du Chi ² au seuil $\alpha=0,05$). Éclairage "SDP" à dominante bleu (60 B / 8 V / 32 R) ; éclairage "Neutre" équilibré entre le bleu et le rouge : (48 B / 6 V / 46 R); spectre "sensibilisant" à dominante rouge (31 B / 14 V / 55 R) (AREXHOR PL, 2018).....	9
Figure 11 : nombre moyen de feuilles par apex infestées par <i>Myzus persicae</i> . Notation le 18/03/20, 3 mois après la mise en place. Test statistique : Anova, $\alpha=0,05$, $p=0,0056$, groupes construit par test de Student 2 à 2.....	9
Figure 12 : schéma du modèle explicatif : mécanismes impliqués dans la régulation des insectes ravageurs.....	11
Figure 13 : courbe théorique du modèle avec le facteur « qualité sève » prépondérant sous dominante rouge.....	11
Figure 14 : courbe théorique du modèle avec le facteur SDP prépondérant.....	12
Figure 15 : courbe théorique du modèle avec le facteur effarouchement prépondérant.....	12
Figure 16 : schéma du dispositif lumineux en chambre de culture, vu de face.....	13
Figure 17 : photo du dispositif en chambre de culture.....	13
Figure 18 : ratios R/B du dispositif en chambre de culture utilisés pour les couples menthe/puceron et poivron/puceon.....	13
Figure 19 : ratios R/B du dispositif en chambre de culture utilisés pour le couple chrysanthème/thrips.....	13
Figure 20 : schéma du dispositif lumineux en conditions de production sous tunnel, vu de face.....	14
Figure 22 : ratio R/B de l'essai sous tunnel pour le couple nêpéta/aleurode et nêpéta/cicadelle. Les nombres sur l'histogramme correspondent aux intensités en PPFD ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$).....	14
Figure 21 : ratios R/B de l'essai sous tunnel pour le couple menthe/puceron (<i>Ovatus mentarius</i>). Les nombres sur l'histogramme correspondent aux intensités en PPFD ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$).....	14
Figure 23 : photographie du dispositif sous tunnel lors de la mise en place des boutures de menthe.....	15
Figure 24 : photographie des chrysanthèmes sous dispositif en chambre de culture.....	15
Figure 25 : photographie du dispositif à la mise en place des boutures de menthe et du semis de poivron en chambre de culture.....	15
Figure 26 : photographie des menthes lors de la notation nombre de puceron sous rouge (à gauche) et sous bleu (à droite).....	15
Figure 27 : mise en place des nêpétas sous le dispositif en condition de production.....	15
Figure 28 : transformation logarithmique du nombre moyen de puceron (<i>Ovatus mentarius</i>) en fonction du ratio R/B sur feuilles de menthe. Notation réalisée le 27/05/2021. Essai en chambre de culture.....	17
Figure 29 : transformation logarithmique du nombre moyen de puceron (<i>Aulacorthum solani</i>) en fonction du ratio R/B par cotylédon de poivron. Notation le 02/06/2021. Essai en chambre de culture.....	18
Figure 30 : pourcentage de dégâts de thrips (courbe noire) en fonction du ratio R/B et nombre de larve de thrips (battons) en fonction du ratio R/B. Essai en chambre de culture. Notation le 04/08/2021.....	18
Figure 31 : transformation logarithmique du nombre moyen de puceron (<i>Ovatus mentarius</i>) en fonction du ratio R/B par feuilles de menthe. Notation réalisée le 04/06/2021. Essai sous tunnel.....	20
Figure 32 : transformation logarithmique du nombre moyen de larves d'aleurode (<i>Bemisia tabaci</i>) sur nêpétas en fonction du ratio R/B. Notation réalisée le 21/06/2021. Essai sous tunnel.....	21
Figure 33 : % de feuilles avec dégâts (étages 3 à 5) de Cicadelle (<i>Eupteryx decemnotata</i>) sur nêpétas en fonction du ratio R/B. Notation réalisée le 05/07/21. Essai sous tunnel.....	21
Figure 34 : Spectre à dominante bleue 0+60/8/32+0.....	22
Figure 35 : Spectre équilibré 0+48/6/46+0.....	22
Figure 36 : Spectre à dominante rouge 0+28/10/62+0.....	22
Figure 37 : plan de l'essai en chambre de culture pour les couples menthe/puceron (<i>Ovatus mentarius</i>) et poivron/puceron (<i>Aulacorthum solani</i>).....	24
Figure 38 : plan de l'essai en chambre de culture pour le couple chrysanthème/thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>).....	24
Figure 39 : plan de l'essai en conditions de production (tunnel) pour le couple menthe/puceron (<i>Ovatus mentarius</i>).....	25
Figure 40 : plan de l'essai en conditions de production (tunnel) pour le couple nêpéta/aleurode (<i>Bemisia tabaci</i>) et nêpéta/cicadelle (<i>Eupteryx decemnotata</i>).....	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : résultats des essais 2019-2020 sur thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>) et pucerons (<i>Myzus persicae</i>).....	10
Tableau 2 : calendrier des interventions pour l'essai mené en conditions contrôlées (chambre de culture).....	15
Tableau 3 : calendrier des interventions pour l'essai mené en conditions de production (tunnel).....	15
Tableau 4 : résultats des tests statistiques de Pearson pour le couple menthe/puceron en conditions contrôlées (log nombre de puceron/plante +1).....	18
Tableau 5 : résultats des tests statistiques de Pearson pour le couple poivron/puceron (<i>Aulacorthum solani</i>) en conditions contrôlées (log nombre de puceron/cotylédon +1).....	19
Tableau 6 : résultats des tests statistiques de Pearson pour le couple chrysanthème/thrips en conditions contrôlées (nombre de larves de thrips/plante).....	20
Tableau 7 : résultats du test statistique de Pearson pour le couple menthe/puceron (<i>Ovatus mentarius</i>) en condition de production sous tunnel (log nombre de puceron/plante +1).....	19
Tableau 8 : résultats du test statistique de Pearson pour le couple népéta/aleurode en conditions de production sous tunnel (log nombre de larve d'aleurode/plante +1).....	20
Tableau 9 : résultats du test statistique de Pearson pour le couple népéta/cicadelle en conditions de production sous tunnel (% de feuilles avec dégâts de cicadelle).....	23
Tableau 10 : synthèse des résultats obtenus ; significativité de l'impact du spectre sur l'infestation (Test de Pearson, $\alpha = 0,05$) NS = Non significatif ; S = Significatif.....	24
Tableau 11 : modalités pour l'essai sur <i>Arabidopsis thaliana</i>	25

Tables des matières

I.	Introduction	1
II.	Etude bibliographique	2
II.1	Lumière, photorécepteurs, et effet SDP	2
II.2	Synthèse de l'effets SDP de la lumière contre les insectes et méthode d'évaluation	5
II.3	Effets directs de la lumière sur les insectes ravageurs : effarouchement, attraction, fitness	5
II.4	Effets directs de la lumière sur le comportement des auxiliaires	7
II.5	Effets de la lumière sur le comportement des auxiliaires via les plantes	7
II.6	Synthèse des effets directs de la lumière sur les insectes ravageurs et effets sur les auxiliaires.	8
III.	Contexte du stage	9
III.1	Essais précédents (2019-2020)	9
III.1.1	Essai sur thrips	9
III.1.2	Essais sur puceron	9
III.2	Sujets d'études 2021	11
III.3	Modèles explicatifs testés	11
III.3.1	Qualité sève	11
III.3.2	SDP	12
III.3.3	Effarouchement	12
III.3.4	Synergie SDP-effarouchement	12
IV.	Matériels et méthodes	13
IV.1	Couples plantes / ravageurs testés	13
IV.2	Dispositifs et spectres lumineux utilisés	13
IV.2.1	Essai en conditions contrôlées (chambre de culture)	13
IV.2.2	Essai en conditions de production	14
IV.3	I.1 Critères de notations	14
IV.4	Calendrier des interventions	15
IV.5	Analyse statistique des résultats	16
IV.5.1	Transformation logarithmique des données d'infestation	16
IV.5.2	Méthode d'analyse descriptive	16
IV.5.3	Méthode d'analyse statistique	16
V.	Résultats	17
V.1	Essai en conditions contrôlées	17
V.1.1	Menthe / puceron (<i>Ovatus mentarius</i>)	17
V.1.2	Poivron / puceron (<i>Aulacorthum solani</i>)	18
V.1.3	Chrysanthème / thrips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	18
V.2	Essai en conditions de production	20
V.2.1	Menthe / puceron (<i>Ovatus mentarius</i>)	20
V.2.2	Népéta / aleurode (<i>Bemisia tabaci</i>)	21
V.2.3	Népéta / Cicadelle (<i>Eupteryx decemnotata</i>)	21
VI.	Discussion	22
VI.1	Dispositif expérimental utilisé	23
VI.2	Révision du modèle	23
VI.3	Discrimination de l'effet SDP et effarouchement	25
VII.	Conclusion	26
VIII.	Bibliographie	26
IX.	Sitographie	31

I. Introduction

Les plantes utilisent la lumière comme source d'énergie pour la photosynthèse. La lumière est aussi un signal qui induit diverses réponses physiologiques ; la composition du spectre lumineux influence et oriente la croissance et le développement des plantes. Le processus impliqué est appelé photomorphogenèse. Les plantes perçoivent les conditions de leur environnement par de nombreux photorécepteurs. Ils captent la lumière au niveau de quatre plages de longueur d'onde. Les phytochromes captent le rouge clair ($R=660\text{ nm}$) et le rouge lointain ($RL=740\text{ nm}$). Les cryptochromes, phototropines, ZTL etc. absorbent des UVA au bleu (pics d'absorption à 365 et 450nm). Les UVR8 absorbent les UV-B (290-300nm). La figure 1 regroupe les spectres d'absorption des différents photorécepteurs. Suivant l'intensité reçue pour une longueur d'onde donnée ou le rapport d'intensité entre deux longueurs d'onde, les plantes vont réagir spécifiquement. Par exemple, si le ratio Rouge/Rouge lointain est élevé alors les plantes arrêtent leur croissance apicale, se ramifient et les feuilles deviennent plus foncées (Battle *et al.*, 2020).

Aujourd'hui dans les serres de productions horticoles, le spectre et l'intensité de l'éclairage peuvent être en partie contrôlés par l'utilisation de LEDs (Light-Emitting diodes) (figure 2). Ces éclairages LEDs sont une révolution car ils permettent aux producteurs d'utiliser n'importe quel spectre pour éclairer leurs cultures. Ainsi, ils peuvent orienter la croissance et le développement de leurs cultures en fonction de leurs objectifs de production (produire des sujets fleuris, trapus, des boutures etc.) (Lazzarin *et al.*, 2020).

Par des observations antérieures en chambre de culture, les ingénieurs de l'Arexhor PL ont remarqué que, dans certaines conditions d'éclairage LEDs, certains ravageurs étaient fortement limités dans leur développement. Ces observations ont été confirmées par des expérimentations en 2019 et 2020 au travers du projet *Phybi* (résultats page n°9). Ce projet, mené par l'Arexhor PL, explore de nouveaux moyens pour contrôler les ravageurs sans usage de pesticides. Les résultats de ces expérimentations montrent un taux d'infestation du thrips divisé par quatre sous spectre à dominante bleu comparé à un spectre à dominante rouge sur chrysanthème.

Ce levier est très prometteur pour contrôler le développement des bioagresseurs sans produits phytosanitaires. En effet, les réglementations gouvernementales actuelles (directive européenne 2009/128/CE), ainsi que les attentes sociétales, visent à réduire la liste des produits insecticides autorisés pour limiter l'impact négatif de l'agriculture sur l'environnement et sur la santé humaine (plan Ecophyto I, II, et II+). Dans cette optique, les professionnels sont

encouragés à réduire leur consommation de produits phytopharmaceutiques. En parallèle, ils sont incités à utiliser des moyens de lutte alternatifs aux produits phytosanitaires. Or, pour certaines espèces de ravageurs, les méthodes alternatives « classiques », comme les lâchers d'auxiliaires, fonctionnent assez mal. C'est le cas pour les thrips, les cicadelles et certains pucerons, qui sont des ravageurs majoritaires en production horticole sous serre. Ces ravageurs causent des dégâts relativement importants sur les cultures et entraînent des pertes économiques importantes pour les producteurs et les autres acteurs de la filière.

L'utilisation de la lumière comme méthode de lutte pourrait donc être une solution à cette problématique. Le premier mécanisme supposé par les chercheurs de l'Arexhor PL serait un effet indirect d'activation des défenses des plantes par la lumière, appelé effet stimulateur de défense des plantes (SDP). En effet, certains spectres pourraient stimuler la production de molécules de défenses des plantes qui nuisent aux insectes ravageurs.

Le second mécanisme supposé serait un effet d'effarouchement direct des insectes par certaines longueurs d'onde.

Le troisième effet supposé correspondrait à l'amélioration de l'appétence des végétaux pour les insectes sous certains spectres (amélioration de la couleur, de la texture des tissus, du taux de sucre de la sève, etc.) ou *a contrario*, une réduction de l'appétence.

Les mécanismes physiologiques et/ou comportementaux qui sous-tendent les effets observés étant encore mal connus, il est nécessaire de mettre en place de nouveaux essais cette année 2021 à l'AREXHOR PL, pour à terme, proposer cette méthode de gestion innovante aux producteurs.

Ce travail tentera de répondre aux problématiques suivantes : les spectres à dominante bleue permettent-ils vraiment de limiter les infestations par les insectes ravageurs ? Quels sont les mécanismes impliqués ?

II. Etude bibliographique

II.1 Lumière, photorécepteurs, et effet SDP

Dans la bibliographie, l'effet de la lumière sur les insectes porte essentiellement sur le rapport rouge/rouge lointain et sur l'intensité en bleu, violet et UV-B.

Concernant le **Rouge/Rouge Lointain**, les études montrent qu'un rapport faible limite la résistance des plantes via une réduction de la production d'acide jasmonique et de l'expression des défenses liées à l'acide jasmonique (Ballaré *et al.*, 2012 ; De Wit *et al.*, 2013 ; Cargnel *et al.*, 2014 ; Roeber *et al.*, 2021) (figure 3).

Figure 4 : syndrome de l'évitement de l'ombre généré par le rouge lointain chez *Arabidopsis thaliana* : lumière blanche (B), lumière blanche + rouge lointain (B+RL) (Pantazopoulou et al., 2017)

De nombreux autres articles montrent l'effet "sensibilisateur" d'un ratio R/RL faible contre *Botrytis cinerea* pour *Arabidopsis thaliana* (Xiang *et al.*, 2020 ; Cargnel *et al.*, 2014; De Wit *et al.*, 2013), fraise (Meng *et al.*, 2020) et tomate (Courbier *et al.*, 2020 ; Xu *et al.*, 2016). Aucun article montrant un effet du rapport R/RL sur le développement des insectes ravageurs n'a été trouvé pendant ce travail de recherche bibliographique. Cependant, par extension des résultats précédents, il semble possible d'émettre l'hypothèse qu'ils affectent aussi le développement des phytophages.

Un rapport R/RL faible provoque chez les plantes des réactions physiologiques qui correspondent au syndrome de l'évitement de l'ombre (figure 4). En effet, les rayonnements du rouge lointain sont ceux des endroits ombragés par d'autres plantes. Lorsqu'une plante capte ce rapport, la priorité pour la plante est alors d'optimiser son exposition à la lumière, en augmentant sa croissance en hauteur (phénomène d'étiollement). Les autres mécanismes physiologiques, comme la mise en place des mécanismes de défense, sont alors négligés. Il est démontré qu'une plante avec un syndrome de l'évitement de l'ombre est plus sensible aux bio-agresseurs (Izaguirre *et al.*, 2006 ; De Wit *et al.*, 2013 ; Ballaré 2009). Cette régulation passe par la répression du phytochrome-interacting factors (PIFs) qui réduit la sensibilité au jasmonate.

Concernant l'impact d'un **éclairage bleu** sur la résistance des plantes, les mécanismes sont de mieux en mieux connus. Jeong et ses collègues ont montré en 2010 que les récepteurs du bleu cryptochrome 2 et phototropine 2 sont nécessaires à la stabilité des protéines R qui améliore la résistance au virus TCV. L'article de Wu et Yang paru en 2010, montre que le cryptochrome 1 est impliqué dans la régulation des protéines R qui induisent la résistance des *Arabidopsis* au *Pseudomonas syringae*. La réponse à la lumière bleue est également corrélée à l'état des phytochromes donc à la lumière rouge (El-Esawi *et al.*, 2017). Ce dernier article montre que l'activation du cry1 entraîne une surproduction de ROS qui elle-même améliore la résistance des plantes et par une boucle de rétroaction désactive cry1. D'autre part, Lazzarin et ses collègues ont montré en 2020 qu'un éclairage bleu favorise la production de l'acide salicylique et l'expression des défenses liées à cet acide. La figure 3 explique la chaîne physiologique qui relie l'éclairage bleu et les effets SDP.

Concernant le ratio **Rouge/Bleu**, un ratio faible ($\approx 0,5$) stimule la production de métabolites secondaires, comme l'ascorbate et les anthocyanes (Zha *et al.*, 2020 ; Pennisi *et al.*, 2019 ; Spalholz *et al.*, 2020 ; Kim *et al.*, 2021) et augmente l'activité antioxydante des cellules végétales (Kim *et al.*, 2021). Ce ratio augmente également l'assimilation de CO₂ en stimulant l'ouverture des stomates (Piovene *et al.*, 2015). La teneur en matière fraîche quant à elle, décroît sous un ratio R/B faible. Le nombre de feuilles par plante diminue, la surface foliaire

augmente sous ce ratio chez la laitue, la coriandre et la fraise. En effet, le bleu en importante quantité augmente la taille des feuilles (Naznin *et al.*, 2016 ; Spalholz *et al.*, 2020). Un ratio Rouge/Bleu élevé (=3) augmente la teneur en matière fraîche, le nombre de feuille, la teneur en chlorophylle et améliore l'efficacité liée à l'utilisation de l'eau et des nutriments (Pennisi *et al.*, 2019 ; Spalholz). Cependant, la teneur en métabolites secondaires diminue sous un ratio élevé (Zha *et al.*, 2020). Durant ces recherches bibliographiques, aucun article n'a été trouvé concernant l'impact du ratio Rouge/Bleu sur le développement des insectes ravageurs. Cependant, l'hypothèse serait que ce ratio a un effet sur l'infestation par les insectes ravageurs, grâce au bleu, qui lui a un effet avéré sur la production de métabolites secondaires impliquées dans les défenses des plantes (Spalholz *et al.*, 2020).

Pour l'instant, aucun récepteur spécifique à la **lumière verte** n'a été identifié, cependant, il a été démontré que les longueurs d'onde correspondant au vert agissent et peuvent être absorbées par certaines formes de récepteurs du bleu, en particulier les cryptochromes FADH. Une étude de 2015 réalisée par Sato et ses collègues, montre qu'un éclairage de 2h la nuit avec de la lumière verte ou de la lumière bleue entraîne des effets similaires sur la morphologie de l'arabette (réduction de la longueur des racines et de l'hypocotyle). Ces éclairages entraînent également une surproduction d'acide jasmonique et d'acide salicylique. En plus, l'éclairage avec le vert serait plus efficace avec des taux deux fois supérieurs à l'éclairage bleu. Un éclairage vert+bleu réduit entièrement le FADH alors qu'un éclairage uniquement bleu passe le FAD de sa forme oxydée à sa forme neutre (Battle *et al.*, 2020 ; Hammad *et al.*, 2019). La lumière verte interagit également avec les phytochromes en augmentant l'intensité du syndrome d'évitement de l'ombre sous R/RL faible (Battle *et al.*, 2020). Ainsi, par extrapolation, un éclairage riche en vert peut nuire aux défenses des plantes si le ratio R/RL n'est pas élevé. En revanche, s'il l'est, alors la réponse sera optimisée par la forte production de SA et JA.

Les effets actuellement connus d'un éclairage riche en **UV-B** en relation avec la résistance des plantes repose sur l'augmentation de la production de flavonoïdes, pigments protégeant l'intégrité cellulaires contre les UV-B et UV-C (Jenkins, 2009 ; Ballaré *et al.*, 2012 ; Timbrook *et al.*, 2013). L'exposition aux UV-B permet également une amélioration de la résistance aux bioagresseurs (Ballaré *et al.*, 2012 ; Tilbrook *et al.*, 2013 ; Escobar-Bravo *et al.*, 2017 ; Escobar-Bravo *et al.*, 2019) par interaction avec les voies de signalisation SA et JA, provoquant notamment l'accumulation de produits phénoliques, voie du métabolisme secondaire génératrice de composés de défense vis-à-vis de stress biotiques et abiotiques (Ballaré *et al.*, 2014). Escobar-Bravo et ses collègues montrent en 2019 une résistance des chrysanthèmes aux thrips californiens sous éclairage UV-B via une surproduction de JA et de

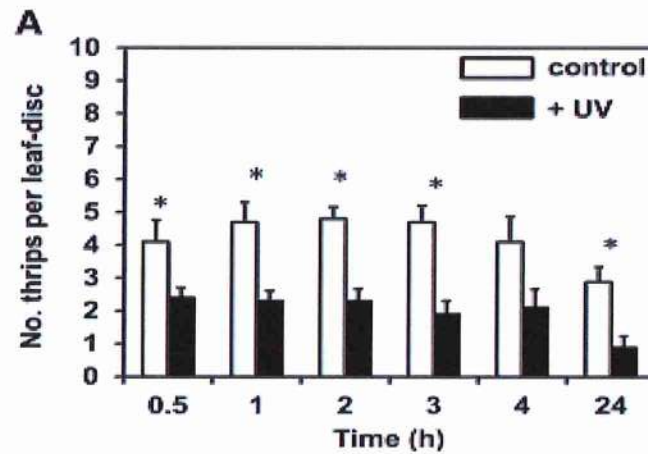


Figure 5 : nombre de thrips (*Frankliniella occidentalis*) par feuille sur chrysanthème sous lumière blanche (control) et UV-B (UV) en fonction du temps (Escobar-Bravo et al., 2019)

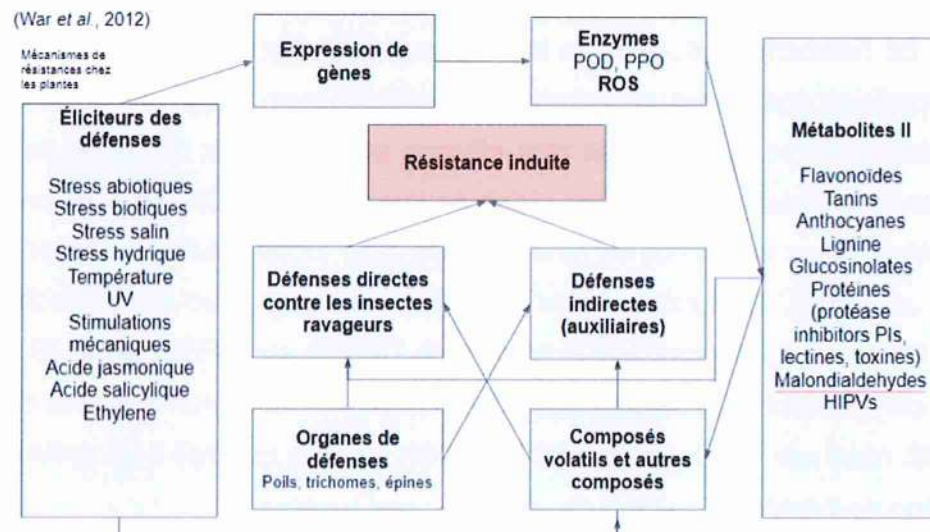


Figure 6 : Mécanismes de résistance des plantes (War et al., 2012)

SA (figure 5). Ils permettent également un renforcement pariétal à différents niveaux (lignine, hémicellulose, cellulose) (Le Gall *et al.*, 2015), une résistance aux stress hydriques (Escobar-Bravo *et al.*, 2017), une résistance aux fortes températures (Escobar-Bravo *et al.*, 2017) ainsi qu'une tolérance accrue aux fortes intensités lumineuses (Roeber *et al.*, 2021)

Ainsi, l'intensité en UV-B, rouge lointain, rouge clair, vert, et bleu, y compris les ratios d'intensité entre ces couleurs jouent des rôles importants dans l'activation des défenses des plantes. Davantage de recherches sont nécessaires pour connaître les intensités qui permettent d'optimiser l'effet SDP supposé (Lazzarin *et al.*, 2020).

II.2 Synthèse de l'effets SDP de la lumière contre les insectes et méthode d'évaluation

Le système immunitaire des plantes recouvre des protéines de perception des bioagresseurs (protéines R ou PR), des voies de signalisation hormonales (principalement acide salicylique ou SA, acide jasmonique ou JA et éthylène ou ET) et mécanismes avals conduisant à la synthèse de métabolites, protéines, macromolécules impliquées dans l'élaboration de barrières chimiques (antimicrobiennes et insecticides) ou physiques (renforcement pariétal). La figure 6 illustre ces différents mécanismes. Comme développé précédemment, des effets significatifs des différents signaux lumineux perçus par les photorécepteurs sur l'expression des défenses des plantes ont déjà été démontrés. Stratégique pour la plante pour réguler le compromis croissance/défense, les signaux lumineux semblent selon les cas activer directement les défenses ou mettre simplement la plante en état de se défendre, en levant des répressions.

II.3 Effets directs de la lumière sur les insectes ravageurs : effarouchement, attraction, fitness

La plupart des insectes, tels que pucerons et thrips, et les hyménoptères parasitoïdes, ont une vision trichromatique avec des récepteurs sensibles au vert, bleu et UV-A et, ainsi, ils sont capables de différencier ces couleurs (Briscoe *et al.*, 2001 ; Yaku *et al.*, 2007). Une étude récente (Lazopulo *et al.*, 2019) a montré que les drosophiles évitent la lumière bleue. Cette étude met en évidence les mécanismes sous-jacents. Le signal est reçu au niveau des neurones multidendritiques de l'abdomen par la rhodopsine 7 qui active la voie "Painless", une voie induite en cas de conditions défavorables à l'insecte, comme la chaleur, la sécheresse, ou des *stimuli* mécaniques ou chimiques. En d'autres termes, la voie *Painless* est une voie de nociception, la lumière bleue est détectée comme nocive et les drosophiles l'évitent. Contrairement à l'évitement de la lumière bleue, une préférence pour la lumière verte pendant certains moments de la journée est observée chez les drosophiles. Une préférence

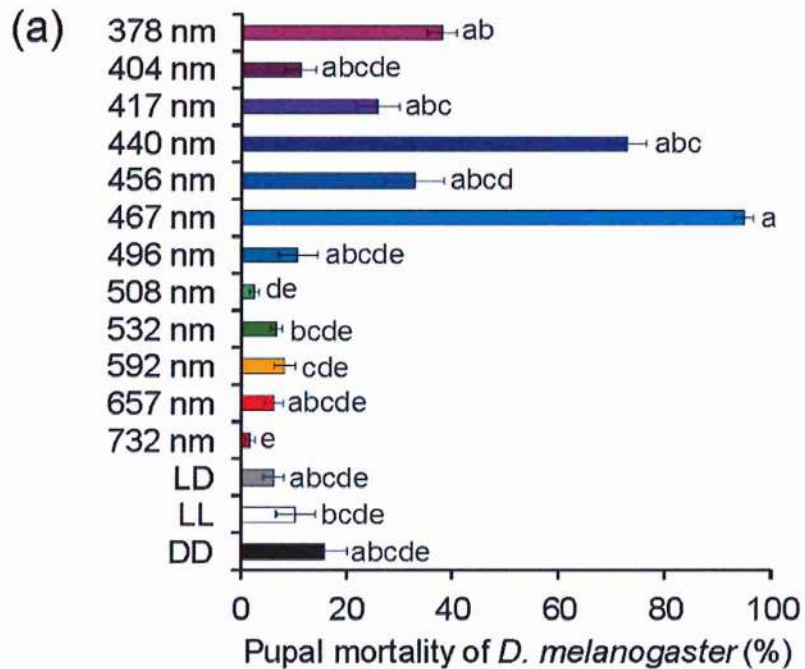


Figure 7 : voies de signalisation de la lumière chez la drosophile (Lazopulo et al., 2019).

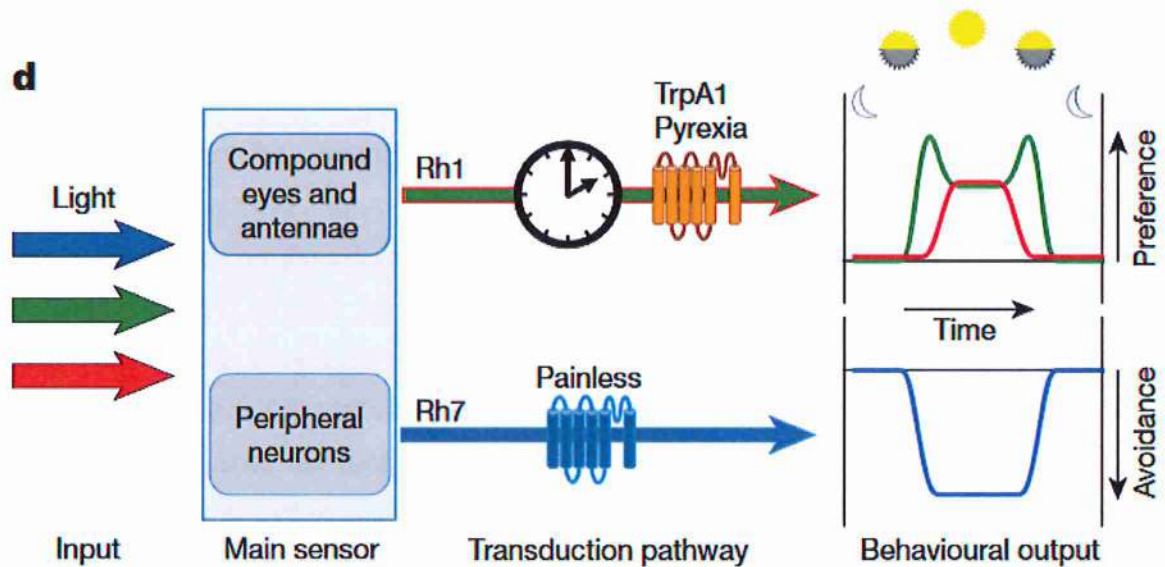


Figure 8 : taux de mortalité des pupes de drosophiles sous différentes longueurs d'onde (Hori et al., 2015)

pour des zones ombragées au milieu de la journée est probablement associée avec une prise de nourriture. Contrairement aux mécanismes de perception de la lumière bleue, la lumière verte est perçue par la rhodopsine 1 au niveau des yeux et des antennes, qui active les voies TrpA1 (Transient receptor potential A1) et Pyrexia, régulées par les gènes du rythme circadien. La figure 7 résume le modèle de réponse comportementale des drosophiles à la lumière.

Hori et ses collègues ont mené en 2015 une étude sur l'impact de la lumière sur la drosophile (*Drosophila melanogaster*), le moustique (*Culex pipiens*) et tribolion de la farine (*Tribolium confusum*). Cette étude montre un taux de mortalité des pupes de drosophiles plus important sous lumière bleue (90% de mortalité à 467 nm) que sous des longueurs d'ondes correspondant au vert (5% de mortalité à 532 nm) ou au rouge (5% de mortalité à 657 nm) (figure 8). Sous les longueurs d'ondes les plus létales, plus l'intensité augmente, plus le taux de mortalité est élevé. Il y aurait donc un impact du spectre et de l'intensité sur la mortalité de ces insectes. A 467 nm (bleu), on observe aussi une diminution du nombre d'œufs pondus par les drosophiles adultes. Le spectre aurait donc aussi une influence sur la fécondité des insectes. Pour le moustique et le tribolion de la farine, les résultats sont comparables à ceux observés chez la drosophile. Cependant, le spectre le plus léthal est décalé de quelques nanomètres en fonction de l'espèce, mais concerne toujours les longueurs d'ondes correspondant au bleu (417 nm pour le moustique, de 404 à 467 pour le tribolion de la farine) (Hori *et al.*, 2015).

La vision des couleurs des insectes phytophages a été proposée comme méthode de lutte dans le passé. Une hypothèse intéressante est qu'un changement de couleur des feuilles de la plante du vert vers une autre couleur indiquerait une baisse de qualité nutritive de la plante due à la production conjointe de pigments et de substances à effets anti-appétants ou même toxiques (Schaefer *et al.*, 2006). L'évitement de certaines couleurs par les herbivores semble donc adaptatif. Pour profiter de ce comportement, un traitement de feuilles avec des couleurs non-vertes ou l'utilisation de variétés naturellement colorées a été proposé pour limiter les attaques de ravageurs (Döring *et al.*, 2014). Concernant l'utilisation de la vision des couleurs des insectes phytophages, elle est notamment exploitée pour les techniques de piégeage. La couleur ayant le plus fort pouvoir attractif pour les aleurodes est la couleur jaune. C'est donc la couleur qui est préférentiellement utilisée pour les pièges englués. Cependant, le jaune attire aussi fortement les insectes parasitoïdes. Les expériences de Johansen *et al.* montrent que l'ajout d'un spectre ayant un pic à 530 nm, aux pièges englués jaunes, permet d'augmenter de manière significative le piégeage de *B. tabaci* mais pas de ses parasitoïdes. La lumière peut aussi avoir un effet sur les comportements liés aux vols des insectes

Table 1. Attractiveness of volatiles emitted from herbivore-infested plants to predators or parasitoids in laboratory experiments

Infested plants (Source of HIPVs)	Herbivores	Attracted natural enemies	References
Lima bean (<i>Phaseolus lunatus</i>)	<i>Tetranychus urticae</i>	<i>Phytoseiulus persimilis</i> ¹	Dicke and Sabelis, 1988; Dicke et al., 1990a, b; Margolies et al., 1997
Corn (<i>Zea mays</i>)	<i>Spodoptera exigua</i>	<i>Cotesia marginiventris</i> ²	Turlings et al., 1990; Turlings et al., 1991; Turlings and Tumlinson, 1992
Brussels sprouts (<i>Brassica oleracea</i>)	<i>Pieris brassicae</i>	<i>Cotesia glomerata</i> ²	Mattiacci et al., 1994
Broad bean (<i>Vicia faba</i>)	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	<i>Aphidius ervi</i> ²	Guerrieri et al., 1999
<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>T. urticae</i>	<i>Amblyseius womersleyi</i> - Kyoto ¹	Maeda et al., 1999
Cucumber	<i>T. urticae</i> or <i>Frankliniella occidentalis</i>	<i>Orius laevigatus</i> ¹	Venzon et al., 1999
Pear	<i>Cacopsylla pyricola</i>	<i>Anthrenus nemoralis</i> ¹	Drukker et al., 2000a, b
<i>Arabidopsis thaliana</i>	<i>Pieris rapae</i>	<i>Cotesia rubecula</i> ²	Van Poecke et al., 2001
Barley plant (<i>Hordeum vulgare</i>)	<i>Rhopalosiphum padi</i>	<i>Coccinella septempunctata</i> ¹	Ninkovic et al., 2001
<i>Vicia faba</i> or <i>Phaseolus vulgaris</i>	Feeding plus oviposition by <i>Nezara viridula</i>	<i>Trissolcus basalidis</i> ²	Colazza et al., 2004
Strawberry	<i>T. urticae</i>	<i>Phytoseiulus macropilis</i> ¹	Fadini et al., 2010
Cucumber	<i>Thrips tabaci</i>	<i>Orius strigicollis</i> ¹ <i>P. persimilis</i> ¹	Tatemoto and Shimoda, 2008
Cotton	<i>Helicoverpa armigera</i>	<i>Microplitis mediator</i> ²	Yu et al., 2010

¹Predators, ²parasitoids

Figure 9 : attractivités des HIPVs émis par les insectes ravageurs et leurs prédateurs ou parasitoïdes associés (Gebreziher et al., 2018)

ravageurs. Chez les pucerons, la lumière verte-jaune provoque l'arrêt des vols et la recherche d'une plante hôte. L'intensité lumineuse a aussi un impact sur la physiologie des insectes et notamment sur leur activité de reproduction. Sous faible intensité, le nombre de larves de puceron diminue. La photopériode est également un facteur agissant sur la physiologie des insectes ravageurs. La lumière continue provoque chez certains lépidoptères (*S. littoralis*) une diminution de la fertilité des mâles et par conséquent une diminution du nombre d'œufs pondus (Johansen *et al.*, 2011).

II.4 Effets directs de la lumière sur le comportement des auxiliaires

Les éclairages utilisés pour étendre la photopériode sous abri provoque une diminution du nombre de parasitoïdes. Aussi, un fort ratio de lumière rouge par rapport au bleu cause une prédominance de mâles baissant potentiellement l'efficacité du contrôle biologique par la diminution du nombre de pontes (Cochard *et al.*, 2019). L'intensité lumineuse affecte également le comportement des insectes auxiliaires. Une forte intensité augmente les pontes de l'acarien *Neoseiulus cucumeris*, prédateur du thrips (Johansen *et al.*, 2011).

II.5 Effets de la lumière sur le comportement des auxiliaires via les plantes

Il existe également des interactions directes entre les plantes et les auxiliaires des cultures. Les composés émis suite à une attaque sont appelés HIPVs (Herbivore-induced plant volatiles). Il s'agit principalement de composés dérivés d'acides gras, de terpénoïdes et de phenylpropanoïdes benzonoïdes. Ces composés attirent les insectes prédateurs et les parasitoïdes. Par exemple, les composés volatils émis par les feuilles de pommiers infestées par l'acarien ravageur *Tetranychus urticae* attirent le prédateur *Phytoseiulus persimilis*. Davantage d'exemples d'attraction de prédateurs et de parasitoïdes par les HIPVs sont listés en figure 9 (Gebreziher *et al.*, 2018).

La revue de Lazzarin *et al.* montre qu'une lumière à dominante rouge et bleue augmente les émissions de HIPVs. Le rouge lointain a deux effets. Il réduit les émissions totales de HIPVs et change la composition du cocktail de molécules émises en diminuant la proportion d'homoterpènes qui sont des molécules impliquées dans l'attraction des auxiliaires. Cette revue indique également que sous éclairage bleu, les trichomes des feuilles sont plus développés, ce qui améliore la diffusion des molécules (Lazzarin *et al.*, 2020).

II.6 Synthèse des effets directs de la lumière sur les insectes ravageurs et effets sur les auxiliaires.

La plupart des insectes ravageurs d'intérêts perçoivent la couleur jaune, verte, et bleue grâce à des récepteurs. La couleur rouge est quant à elle imperceptible par ces insectes. La couleur verte est perçue comme appétente. *A contrario*, il a été découvert récemment que la couleur bleue est perçue comme nocive par certains insectes. L'exposition à la lumière bleue (entre 410 et 470 nm) provoque même des taux mortalités supérieurs à l'exposition d'autres longueurs d'ondes chez la drosophile et le moustique. Ce phénomène d'augmentation de la mortalité sous spectre bleu n'a pas encore été démontré sur les insectes ravageurs. Certaines techniques liées aux effets indirects de la lumière sur les insectes ravageurs sont aujourd'hui exploitées pour limiter leur développement, tel que le piégeage. Néanmoins des recherches récentes montrent un effet de la lumière sur le vol et la fécondité, idem pour les insectes auxiliaires.

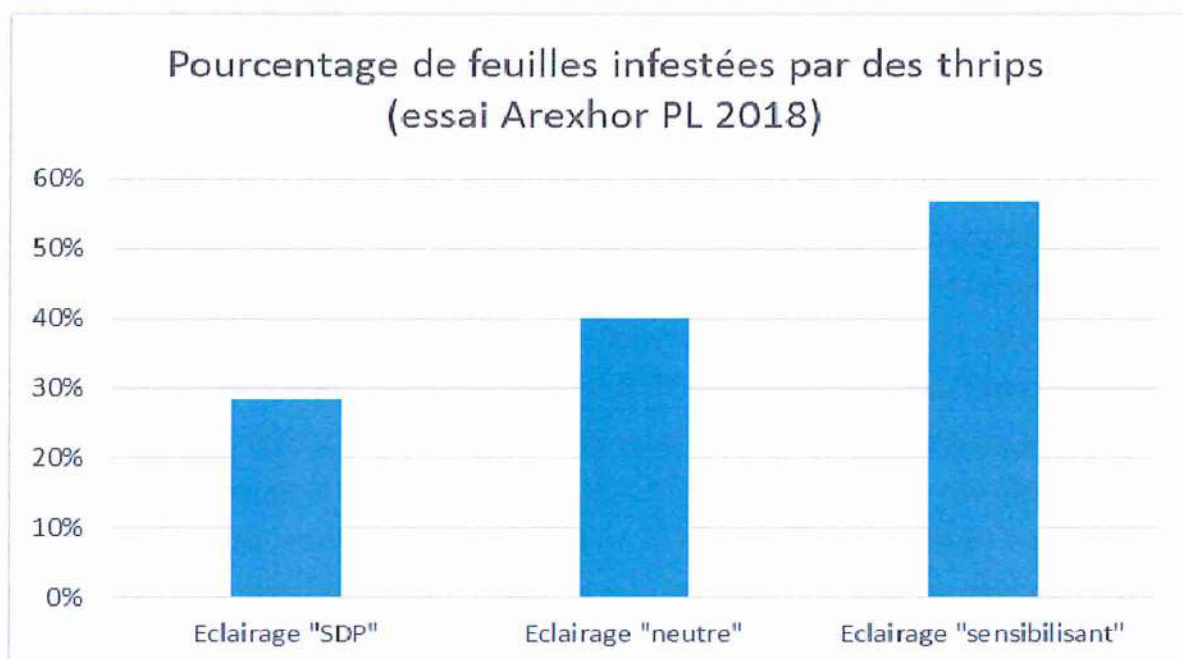


Figure 10 : sensibilité de menthes aux thrips californiens suivant l'éclairage reçu (tests statistiques : test du χ^2 au seuil $\alpha=0,05$). Éclairage "SDP" à dominante bleu (60 B / 8 V / 32 R) ; éclairage "Neutre" équilibré entre le bleu et le rouge : (48 B / 6 V / 46 R); spectre "sensibilisant" à dominante rouge (31 B / 14 V / 55 R) (AREXHOR PL, 2018)

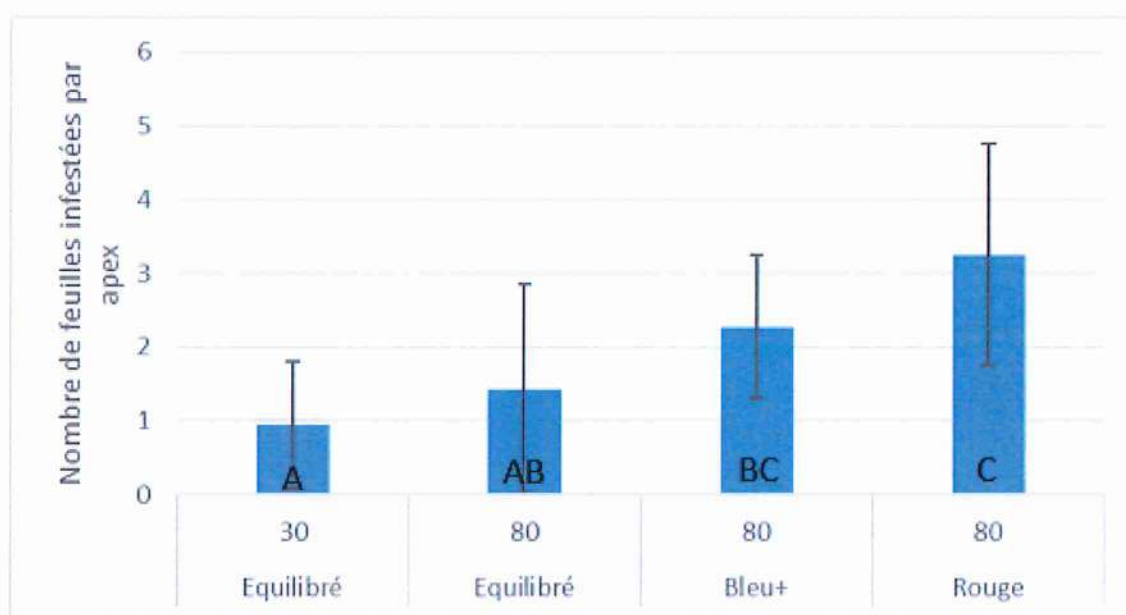


Figure 11 : nombre moyen de feuilles par apex infestées par *Myzus persicae*. Notation le 18/03/20, 3 mois après la mise en place. Test statistique : Anova, $\alpha=0.05$, $p=0.0056$, groupes construits par test de Student 2 à 2

III. Contexte du stage

III.1 Essais précédents (2019-2020)

NB : Pour cette partie, se référer au glossaire technique présent en Annexe n°1.

Pour les premiers essais lumière-ravageurs menés à l'Arexhor PL dans le cadre du projet *Phybi*, quatre éclairages distincts ont été testés : un éclairage à dominante bleu, un éclairage à dominante rouge, et un éclairage avec autant de bleu que de rouge appelé « spectre équilibré ». Pour ce spectre équilibré, deux intensités différentes étaient testées, soit forte = 80 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, soit faible = 30 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$. L'objectif était d'étudier les taux d'infestation des plantes par les insectes ravageurs sous ces différents types d'éclairage.

III.1.1 Essai sur thrips

Les résultats obtenus en conditions contrôlées confirment que l'exposition à la lumière bleue nuit au thrips californien *Frankliniella occidentalis* avec par ordre de développement : Bleu < Équilibré < Rouge (figure 10) sur menthe et chrysanthème. Ils ont également montré que plus l'intensité lumineuse est élevée, plus les plantes sont attaquées par les insectes ravageurs.

III.1.2 Essais sur puceron

L'expérimentation menée sur le puceron *Myzus persicae*, montre un ordre de sensibilité des plantes différent. Pour le puceron, l'ordre de développement est le suivant : Équilibré 30 < Équilibré 80 < Bleu 80 < Rouge 80 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (figure 11). En effet ici, l'état de résistance des plantes face au puceron correspond au spectre équilibré faible intensité, et non au bleu. Ces résultats sont étonnants car ils ne sont en partie inversés avec ceux qui ont été trouvés pour le thrips californien (Bleu < Équilibré < Rouge).

Ces résultats pourraient être expliqués par l'impact de facteurs, tels que :

- Le mode alimentaire qui diffère entre ces ravageurs : videurs de cellule (thrips) vs piqueurs suceurs (pucerons). L'hypothèse serait qu'ils ne sont pas exposés de la même manière aux molécules de défenses (nature et concentration).
- La qualité de leur alimentation (sève élaborée vs cytoplasme) peut différer pour un même éclairage. Le puceron pourrait être défavorisé par des éclairages qui diminuent la qualité de la sève (taux de sucre, concentration en AA) donc qui diminue la photosynthèse (faible intensité, rouge lointain, bleu) (Nowak *et al.*, 2010). Quant à lui, le thrips est un videur de cellule qui pourrait être défavorisé par les éclairages qui rendent le contenu cellulaire plus toxique (bleu, UV-B, forte intensité).

- L'existence de résistances de ces ravageurs aux molécules de défenses des plantes.
- Des biais pendant la réalisation des essais qui aurait pu amener à ces résultats comme par exemple des différences de températures entre les modalités (provoquant des différences d'infestation), des infestations non contrôlées et non remarquées par les observateurs (lots infestés avant la mise en place de l'essai) ou encore l'absence de prise en compte du rôle des prédateurs.

Il est donc nécessaire cette année de réaliser une nouvelle série d'essais en chambre de culture pour connaître l'effet de la lumière sur les insectes piqueurs-suceurs avant de débiter des essais en conditions de production. Pour le thrips, les résultats obtenus sont satisfaisants et permettent de réaliser des séries d'essais en conditions de production sous tunnel pour savoir si ce levier peut être appliqué chez les producteurs.

Les résultats d'essais 2019-2020 sont résumés dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : résultats des essais 2019-2020 sur thrips (Frankliniella occidentalis) et pucerons (Myzus persicae)

Type de ravageur	Espèce de ravageur	Plante	Résultats 2019/2020 (du + infesté au – infesté)	Résultats pertinents	Perspectives pour 2021
Thrips	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Chrysanthème et menthe	R > E > B	OUI <i>Significatifs et cohérents avec la bibliographie, pas d'erreurs de protocole</i>	Essai en conditions de production
Puceron	<i>Myzus persicae</i>	<i>Viburnum tinus</i>	R > B > E	NON <i>Résultats incohérents avec la bibliographie et les observations sur thrips</i>	Refaire sous conditions contrôlées (CDC)

Au sein de ces ordres d'infestation, il existe également un impact de l'intensité lumineuse totale, avec davantage d'infestation sur les intensités les plus hautes (=80 $\mu\text{mol/m/s}$) contrairement aux intensités les plus basses (=30 $\mu\text{mol/m/s}$) (figure 11).

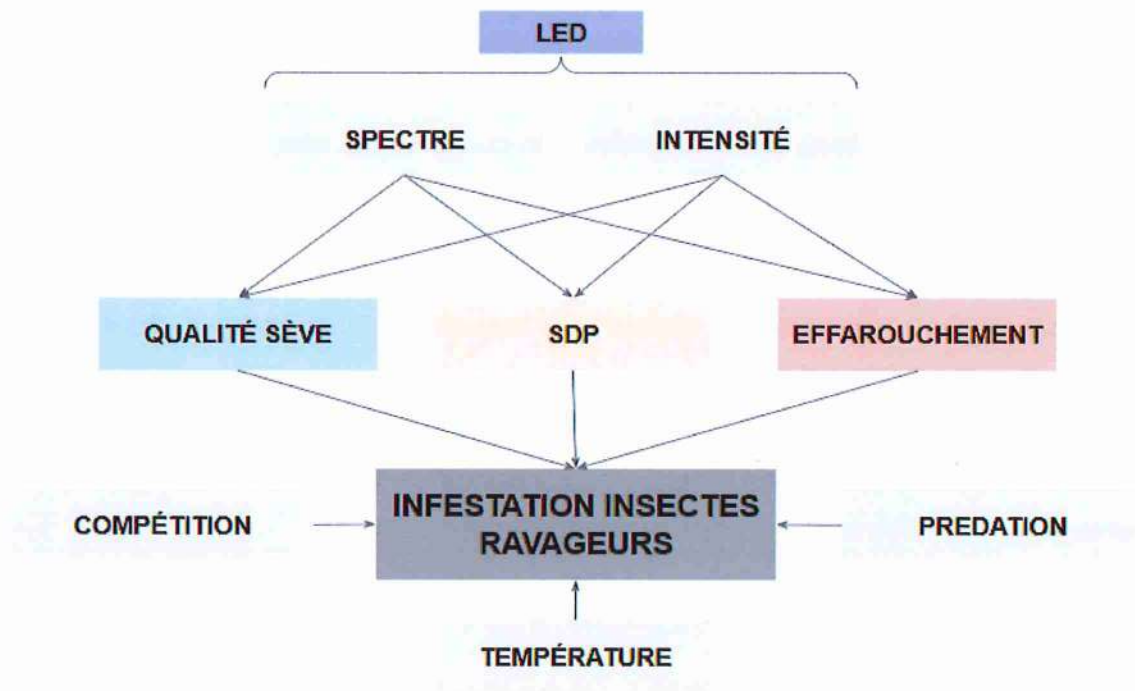


Figure 12 : schéma du modèle explicatif : mécanismes impliqués dans la régulation des insectes ravageurs

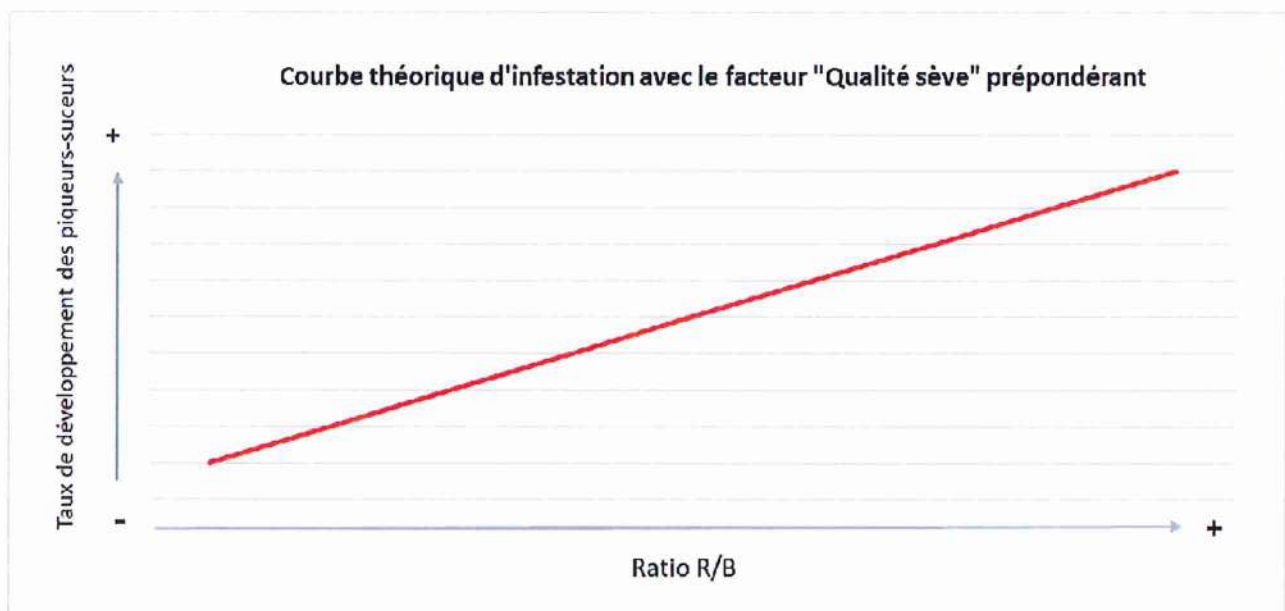


Figure 13 : courbe théorique du modèle avec le facteur « qualité sève » prépondérant sous dominante rouge

III.2 Sujets d'études 2021

Dans la continuité des essais réalisés en 2019 et 2020, l'étude conduite pendant ce stage avait pour but de répondre aux objectifs suivants :

- Confirmer que le bleu permet de limiter l'infestation du thrips et autres videurs de cellule, en condition de production.
- Préciser l'effet réel de l'éclairage bleu sur les insectes piqueurs suceurs et notamment le puceron.
- Préciser l'effet réel de l'éclairage rouge sur les insectes piqueurs suceurs et apporter des réponses quant à l'effet « qualité sève ».
- Connaître les ratio R/B permettant de limiter au maximum les infestations.

Pour répondre à ces objectifs, deux essais, ont été mis en place cette année 2021 :

1. Un essai en conditions de production sur thrips
2. Un essai en chambre de culture sur insectes piqueurs-suceurs (sur puceron et incluant une modalité avec thrips comme témoin positif)

III.3 Modèles explicatifs testés

Grâce à l'étude bibliographique et aux résultats des essais précédents (2019-2020), il est possible d'établir un modèle détaillant les mécanismes impliqués dans la régulation des insectes ravageurs (figure 12). L'équation du modèle qui rassemble l'ensemble des facteurs liés au spectre et pouvant jouer sur l'infestation est présentée ci-dessous :

Infestation par les insectes ravageurs = ratio R/B (effet SDP via les interactions phytochromes/cryptochromes + intensité en rouge (effet qualité sève) + intensité en bleu (effet SDP via cryptochrome et effet effarouchement)

III.3.1 Qualité sève

Les longueurs d'ondes reçues par les photorécepteurs jouent un rôle dans les mécanismes physiologiques chez les plantes et peuvent induire à terme des qualités de sève élaborée variables (concentrations en acides aminés, taux de sucre...). Ce phénomène pourrait expliquer par exemple que les piqueurs-suceurs se développent davantage sous spectre rouge car celui-ci augmente la photosynthèse et donc les sucres produits dans la sève. Ainsi, si cette hypothèse est vraie, le nombre de pucerons sous dominante rouge doit augmenter avec

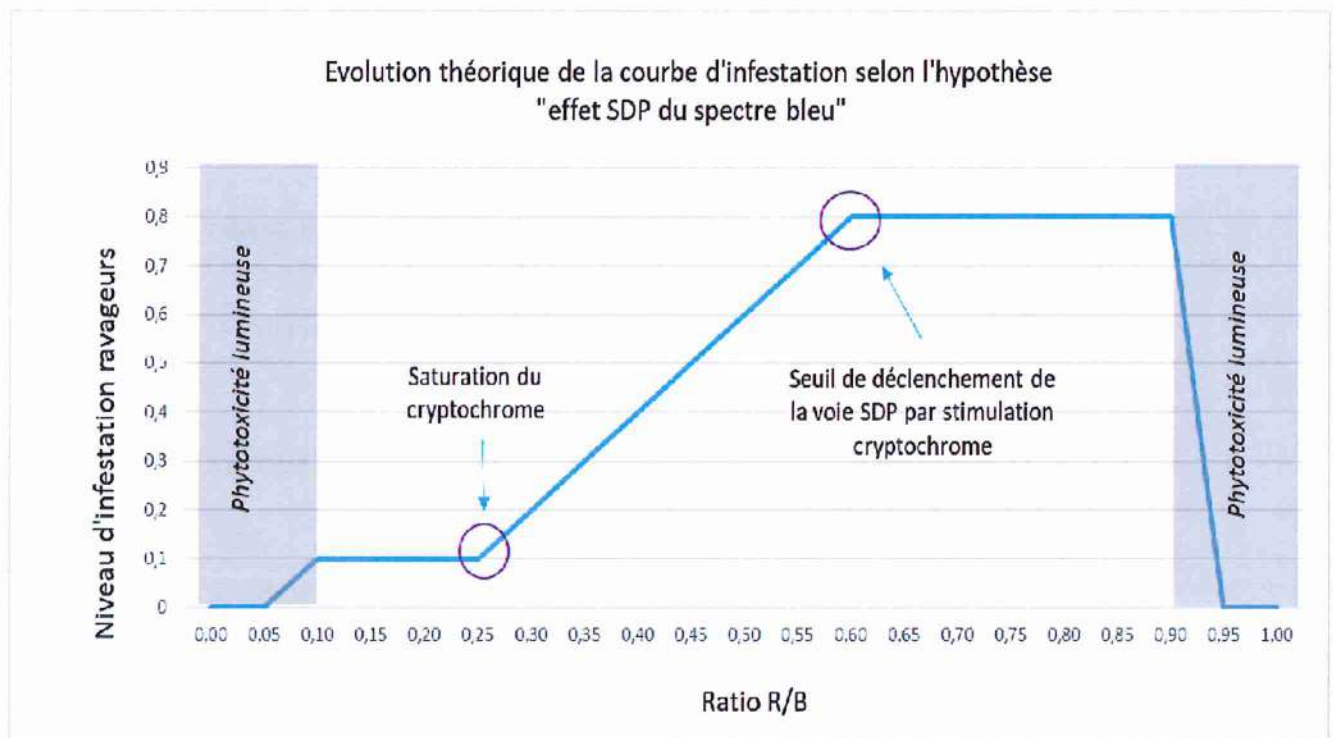


Figure 14 : courbe théorique du modèle avec le facteur SDP prépondérant

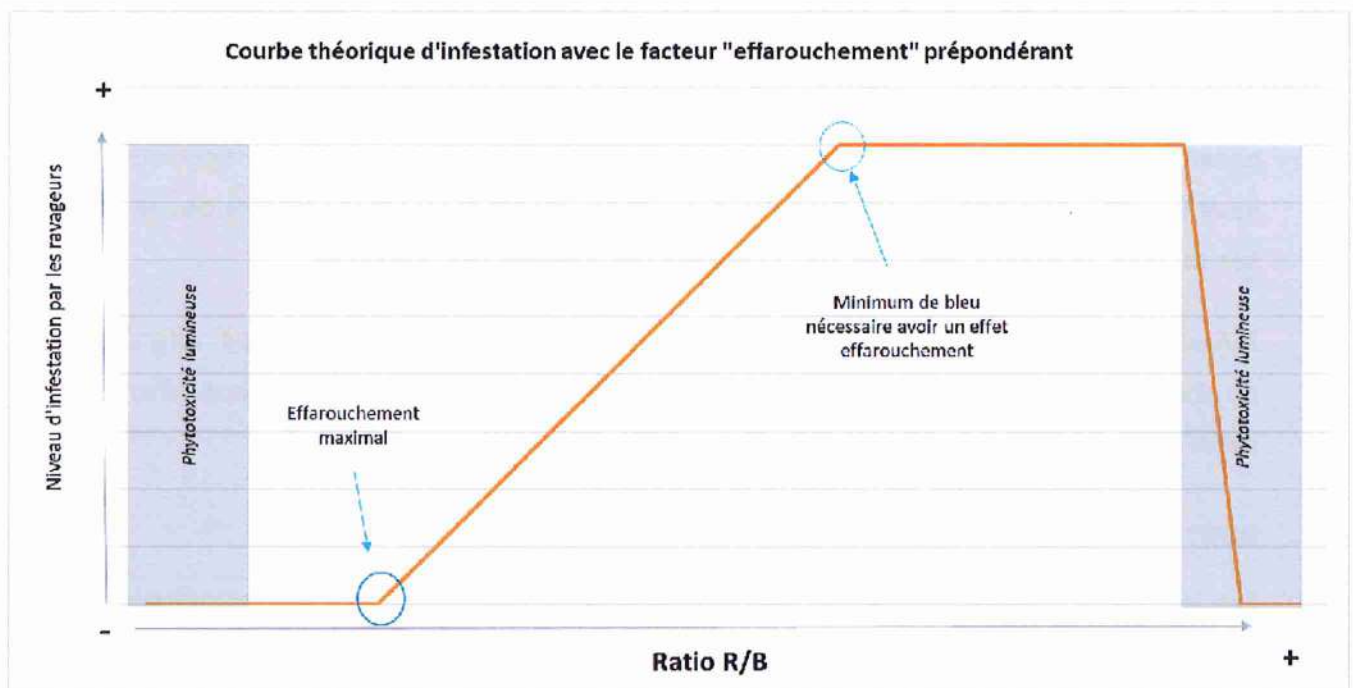


Figure 15 : courbe théorique du modèle avec le facteur effarouchement prépondérant

la quantité et l'intensité en rouge dans le spectre (figure 13). Si l'infestation stagne avec l'augmentation de l'intensité en rouge, alors cette hypothèse pourra être invalidée.

III.3.2 SDP

D'après la bibliographie et les travaux précédents (essais 2019-2020), une seconde hypothèse est que le bleu permet de limiter les infestations par les insectes ravageurs grâce à l'induction des défenses des plantes (effet SDP). Si les récepteurs du bleu (notamment cryptochromes) sont suffisamment excités, alors une chaîne de réactions physiologiques se met en place et permet de synthétiser des molécules de défenses qui limitent les infestations. Si cette hypothèse est vraie, alors la courbe d'infestation (figure 14) devrait diminuer quand la quantité de bleu augmente. Cependant sous dominante rouge, il est probable d'observer une plage de stagnation de l'infestation (phase plateau) à partir du ratio (R/B 2) où il n'y a plus assez de bleu pour stimuler le cryptochrome et induire les réactions de défenses sous-jacentes. A l'inverse, il est probable d'observer une seconde plage de stagnation quand la quantité de bleu (R/B 1) va au-delà de la quantité absorbable par le cryptochrome, auquel cas il a atteint son niveau maximal d'excitation (la quantité de molécules de défenses synthétisée est donc également au maximum).

III.3.3 Effarouchement

La troisième hypothèse repose sur l'effarouchement des insectes ravageurs par le changement de couleur du feuillage dû à l'éclairage. Les insectes ne voyant généralement pas le rouge, c'est l'intensité en bleu qui peut avoir un effet effarouchement. A des ratios R/B supérieurs au ratio naturel, l'insecte ne verra pas la différence, la courbe d'infestation sur cette plage de ratio devrait être plate (figure 15). A des ratios inférieurs au ratio naturel, la quantité de bleu réfléchi par les feuilles est plus importante et à partir d'un certain niveau les insectes se détourneront progressivement des plantes jusqu'à un effarouchement total où l'infestation est à 0.

III.3.4 Synergie SDP-effarouchement

Les deux courbes hypothétiques sont superposables (figure 14 ; figure 15). Si les courbes d'infestations obtenues par les essais ont cette forme en S alors il est impossible de savoir si le résultat est provoqué par l'effet SDP ou effarouchement. Les deux facteurs SDP et effarouchement ne devront donc pas être dissociés. Ils formeront le facteur SDP-effarouchement dans le modèle.

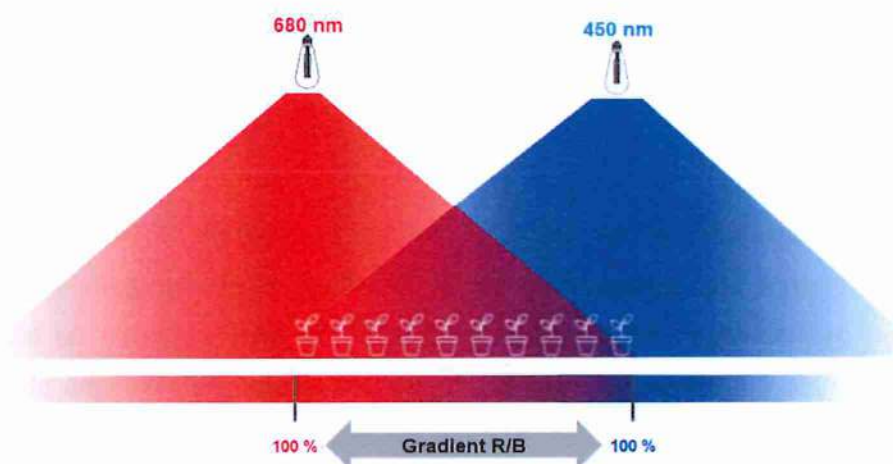


Figure 16: schéma du dispositif lumineux en chambre de culture, vu de face



Figure 17: photo du dispositif en chambre de culture

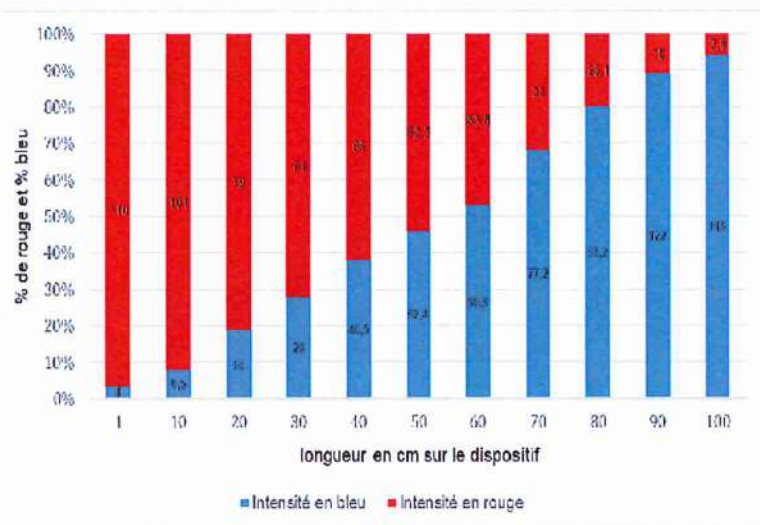


Figure 18 : ratios R/B du dispositif en chambre de culture utilisés pour les couples menthe/puceron et poivron/puceron. Les nombres sur l'histogramme correspondent aux intensités en PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

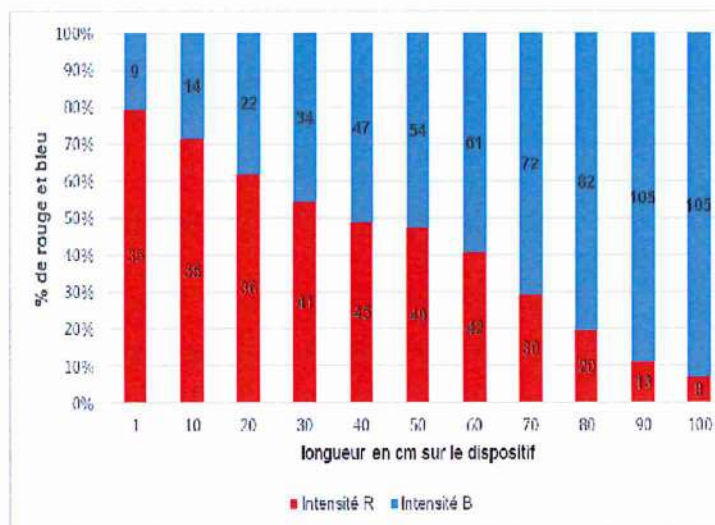


Figure 19 : ratios R/B du dispositif en chambre de culture utilisés pour couple chrysanthème/thrips. Un tube leds blanc chaud a été ajouté et une réglette rouge retirée. Les nombres sur l'histogramme correspondent aux intensités en PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

IV. Matériels et méthodes

IV.1 Couples plantes / ravageurs testés

Les plantes modèles ont été choisies pour remplir plusieurs critères qui sécurisent l'obtention de résultats exploitables. Leur physiologie étaient bien connus par les expérimentateurs. Aussi, elles correspondent à des plantes hébergeant au moins 2 des ravageurs étudiés. Ces plantes étaient économiquement importantes et attaquées par des ravageurs ne pouvant pas être contrôlés, ou difficilement, sans produits phytosanitaires de synthèse. Elles présentent un développement rapide et leur morphologie permet de retracer l'historique des infestations.

Les insectes travaillés (thrips et pucerons) correspondent à des ravageurs causant des dégâts économiques forts et pour lesquels les solutions de contrôle alternatives ne sont pas suffisantes. Les plantes utilisées pour ces essais étaient les suivantes :

- Menthe (*Mentha aquatica*)
- Népéta (*Nepeta cataria*)
- Poivron (*Capsicum annuum*)
- Chrysanthème (*Chrysanthemum hortorum*)

D'autres ravageurs ont pu être étudiés au vu des infestations qui ont été présentes durant ces essais, notamment l'aleurode et la cicadelle.

IV.2 Dispositifs et spectres lumineux utilisés

IV.2.1 Essai en conditions contrôlées (chambre de culture)

Le dispositif en chambre de culture (figure 16 ; figure 17) a été pensé de sorte que les plantes soient exposées à un gradient continu d'un spectre à forte dominante rouge vers un spectre à forte dominante bleu. Ces gradients (figure 18) ont été obtenus en disposant à chaque extrémité du dispositif un éclairage 100% bleu et un éclairage 100% rouge. Le croisement des deux zones éclairées permet l'obtention de ce gradient avec différents ratios d'intensité rouge/bleu. Le ratio R/B était mesuré tous les 10 cm au spectrophotomètre. La courbe obtenue permettait d'identifier le ratio R/B auquel était exposé chaque rang de plante. Chaque rang comportait 6 à 8 plantes (annexe 2).

Les résultats obtenus pour le couple menthe/puceron et poivron/puceron en conditions contrôlées ont montré que les plantes présentes sous 100% bleu et sous 100% rouge ont un taux de mortalité élevé. Cela a pu influencer les premiers résultats et provoqué l'absence de significativité de la première série menthe/puceron. Pour la série suivante sur chrysanthème, des LEDs supplémentaires avec un spectre blanc chaud (BL) ont été ajoutées, donnant de

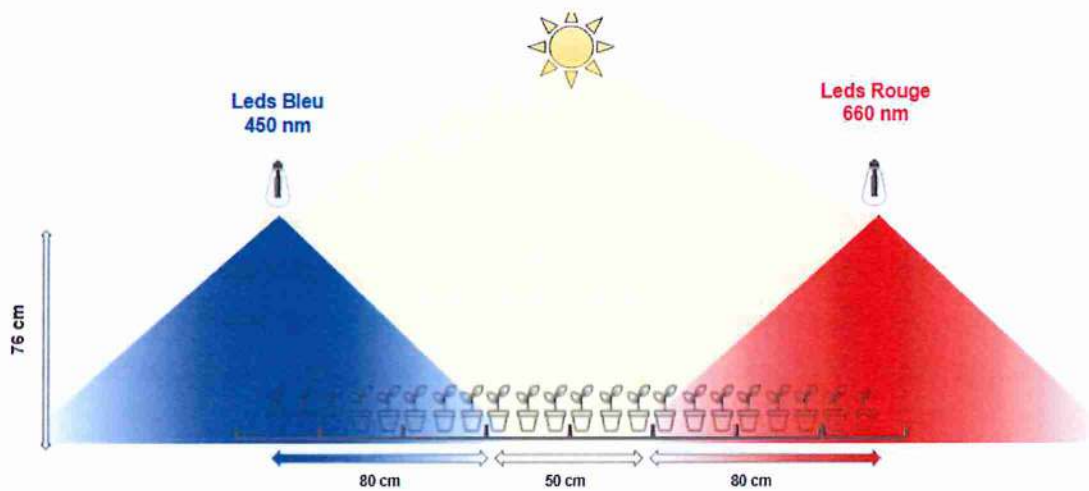


Figure 20 : schéma du dispositif lumineux en conditions de production sous tunnel, vu de face

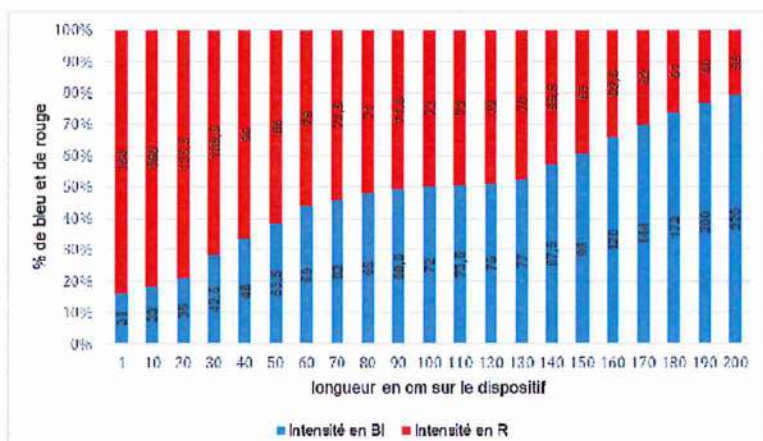


Figure 21 : ratios R/B de l'essai sous tunnel pour le couple menthe/puceron (*Ovatus mentarius*). Les nombres sur l'histogramme correspondent aux intensités en PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

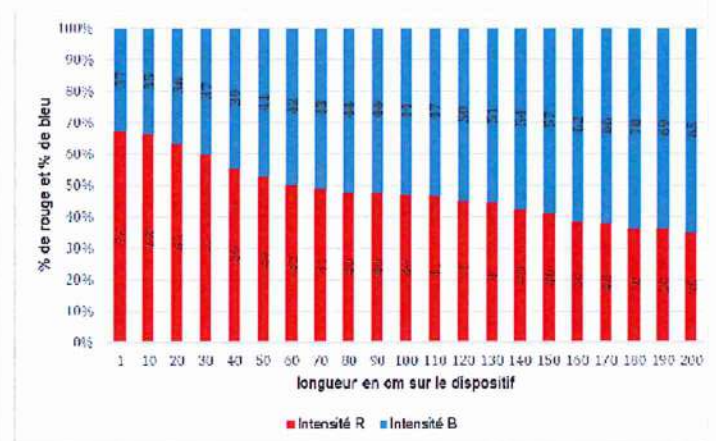


Figure 22 : ratio R/B de l'essai sous tunnel pour le couple népéta/aleurode et népéta/cicadelle. Les nombres sur l'histogramme correspondent aux intensités en PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

nouveaux ratios R/B (figure 19). Cet éclairage a permis d'ajouter un peu de rouge dans le bleu et inversement, pour permettre aux plantes de réaliser correctement les différents mécanismes physiologiques nécessaires à leur survie. L'ajout de blanc chaud a eu un deuxième avantage, celui de permettre aux insectes de percevoir la vraie couleur des feuilles. En effet, lors des observations en chambre de culture, des différences de couleurs des feuilles ont été perçues à l'œil nu. Sous le spectre rouge, les feuilles étaient perçues de couleurs noires par les observateurs. Sous le spectre bleu, les feuilles étaient perçues bleu. Or, pour cette étude, toutes les plantes doivent être perçues le plus possible vertes par les ravageurs afin de minimiser l'effet d'effarouchement (ou d'attraction) et d'isoler au maximum l'effet "SDP".

IV.2.2 Essai en conditions de production

Le dispositif sous tunnel (figure 20) reposait sur le même principe. L'unique différence était que les éclairages étaient plus éloignés l'un de l'autre de sorte qu'il y avait un témoin « lumière naturelle » au milieu. Ce dispositif permet en une seule manipulation de connaître le ratio R/B suffisant pour apporter une protection maximale des plantes face aux ravageurs. Comme dans le précédent dispositif, un ratio R/B a été attribué à chaque rang de plante pour chaque dispositif (figure 21 ; figure 22). Chaque rang comportait également 6 à 8 plantes (Annexe 2).

IV.3 I.1 Critères de notations

De manière générale, les populations d'insectes ont été évaluées par comptage sur les organes préférentiellement infestés. Le comptage prenait soit en compte la plante entière, lorsque l'infestation n'était pas trop importante, soit quelques organes. Par exemple pour le puceron, le comptage reposait sur deux feuilles du même âge par plante. Pour le thrips qui était moins présent, le comptage reposait sur l'ensemble de la plante.

Une autre façon pour mesurer l'infestation a été de compter le nombre de feuilles avec présence de dégâts. Ce critère présentait un fort intérêt lorsque le ravageur en question est très mobil et donc effarouché pendant la notation, comme la cicadelle ou l'aleurode.

D'autres paramètres, pouvant jouer sur l'infestation ont été notés, tels que la température sous les différentes modalités et la présence ou non d'auxiliaires.



Figure 23 : photographie du dispositif à la mise en place des boutures de menthe et du semis de poivron en chambre de culture



Figure 24 : photographie des chrysanthèmes sous dispositif en chambre de culture



Figure 25 : photographie du dispositif sous tunnel lors de la mise en place des boutures de menthe



Figure 26 : photographie des menthes lors de la notation nombre de puceron sous rouge (à gauche) et sous bleu (à droite)



Figure 27 : mise en place des népétas sous le dispositif en condition de production

IV.4 Calendrier des interventions

Tableau 2 : calendrier des interventions pour l'essai mené en conditions contrôlées (chambre de culture)

Date	Interventions
Menthe / Puceron	
29/04/2021	Mise en place des boutures de menthe sous le dispositif (figure 23)
05/06/2021	Lâcher thrips <i>Frankliniella occidentalis</i> : (x2 larves/ ligne + x 20 adultes au milieu du dispositif)
10/05/2021	Lâcher œufs de chrysopes pour lutter contre pucerons (20 œufs/m²)
19/05/2021	Traitement savon noir pour lutter contre le puceron
21/05/2021	Lâcher thrips <i>Frankliniella occidentalis</i> : (50 adultes au milieu du dispositif)
26/05/2021	Lâcher œufs de chrysopes pour lutter contre pucerons (20 œufs/m²)
27/05/2021	Notation puceron/feuille de menthes
Poivron / Puceron	
29/04/2021	Mise en place semis poivron (figure 23)
02/06/2021	Notation pucerons/cotylédon sur poivrons
Chrysanthème / Thrips	
13/07/2021	Arrêt poivron et mise en place chrysanthème (figure 24)
04/08/2021	Notation nombre de larve de thrips chrysanthème et dégâts thrips

Tableau 3 : calendrier des interventions pour l'essai mené en conditions de production (tunnel)

Date	Interventions
Menthe / Puceron	
29/04/2021	Mise en place des boutures de menthe sous le dispositif (figure 25)
10/05/2021	Lâcher œufs de chrysope pour limiter le développement du puceron (20 œufs/m²)
12/05/2021	Lâcher x100 thrips sur le témoin éclairage naturel
19/05/2021	Traitement savon noir pour limiter le développement du puceron
26/05/2021	Lâcher œufs de chrysopes pour limiter le développement du puceron (20 œufs/m²)
04/06/2021	Notation nombre de puceron/feuilles sur menthe (figure 26)
Népéta / Aleurode	
10/06/2021	Mise en place dispositif népéta (figure 27)
21/06/2021	Notation nombre de larve d'aleurode/feuille de népéta
23/06/2021	Taille Népéta et fertilisation avec un engrais osmocote (Floramnid à 1,5g/pot).
25/06/2021	Lâcher x100 thrips sur le témoin éclairage naturel
01/07/2021	Lâcher x100 thrips sur le témoin éclairage naturel
Népéta / Cicadelle	
05/07/2021	Notation dégâts cicadelle sur feuilles de Népéta

IV.5 Analyse statistique des résultats

IV.5.1 Transformation logarithmique des données d'infestation

Les insectes ravageurs étudiés ont un mode de multiplication se rapprochant d'un modèle exponentiel. N'étant pas linéaire, il est difficile d'interpréter l'évolution du nombre d'individus au cours du temps car une petite différence non significative à T0 devient significative à T+n. Afin d'interpréter correctement la dynamique d'infestation sur les plantes, les données brutes issus des comptages doivent donc subir des transformations logarithmiques. Cela permettra des analyses descriptives et statistiques aisées.

IV.5.2 Méthode d'analyse descriptive

Pour l'interprétation des résultats, la méthode suivie consiste à étudier les données d'infestation en fonction du ratio R/B. Après avoir subi une transformation logarithmique, les données d'infestation sont représentées sous forme d'histogramme, avec en ordonné le taux d'infestation, et abscisse le ratio rouge/bleu associé. Si l'histogramme obtenu suit la courbe de l'un des facteurs présentés en partie III.3, alors les statistiques seront appliquées sur les portions d'histogramme qui ont été définies par la courbe « modèle ». Une fois ces portions identifiées, les statistiques permettent de savoir si la tendance observée (stagnation, augmentation, diminution) est significative et si elle correspond au facteur étudié.

IV.5.3 Méthode d'analyse statistique

Le test statistique utilisé pour cet essai est un test de Pearson. Le coefficient de Pearson ρ est un indice reflétant une relation linéaire entre deux variables continues. Pour cet essai, les deux variables étudiées étaient le ratio R/B et le niveau d'infestation. Les deux hypothèses testées sont :

H0 : « Absence de corrélation entre l'évolution du spectre (ratio R/B) et le niveau d'infestation ».

H1 : « Présence d'une corrélation entre l'évolution du spectre (ratio R/B) et le niveau d'infestation ».

Avec $\alpha=0.05$ le risque de rejeter l'hypothèse nulle (H0) alors que celle-ci est vraie. Ainsi on admettra que :

- Si $p > \alpha$, on accepte H0 et on rejette H1 : « Absence de corrélation entre l'évolution du (ratio R/B) et le niveau d'infestation ».

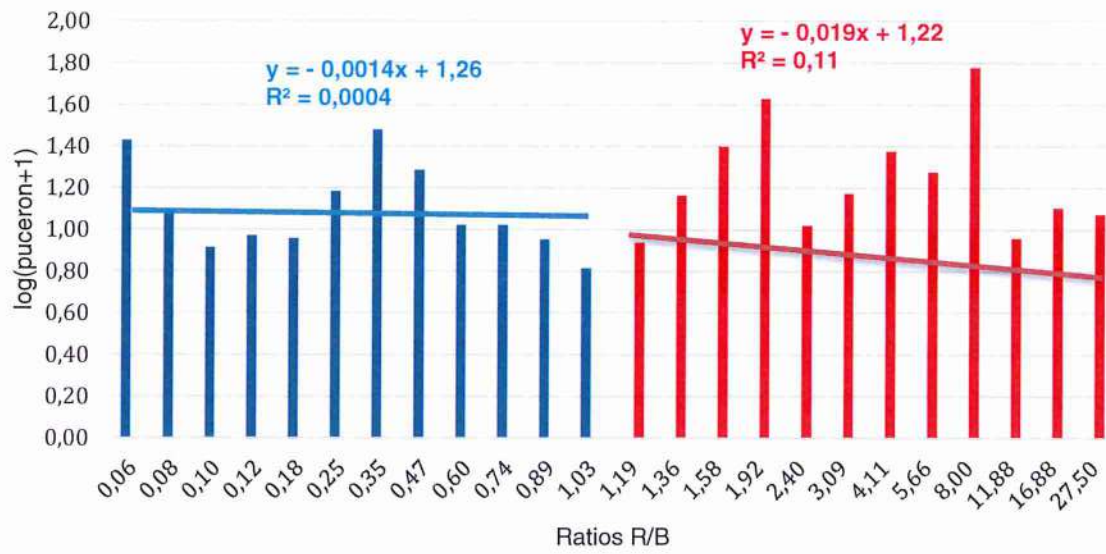


Figure 28 : transformation logarithmique du nombre moyen de puceron (*Ovatus mentarius*) en fonction du ratio R/B sur feuilles de menthe. Notation réalisée le 27/05/2021. Essai en chambre de culture

- Si $p < \alpha$, on rejette H_0 et on accepte H_1 : « Présence de corrélation entre l'évolution du spectre (ratio R/B) et le niveau d'infestation ».

Le coefficient ρ varie entre -1 et +1. La valeur 0 reflète une relation nulle entre les deux variables. Une valeur négative (corrélation négative) signifie que lorsqu'une des variables augmente, l'autre diminue. Tandis qu'une valeur positive (corrélation positive) indique que les deux variables varient ensemble dans le même sens. Ainsi :

- $-1 > \rho > 0$: Corrélation négative, plus le ratio R/B augmente, plus l'infestation diminue. C'est-à-dire que plus la part du bleu diminue, plus l'infestation diminue.
- $\rho = 0$: Absence de corrélation
- $0 > \rho > 1$: Corrélation positive, plus le ratio R/B augmente, plus l'infestation augmente. C'est-à-dire que plus la part du bleu diminue, plus l'infestation augmente.

V. Résultats

V.1 Essai en conditions contrôlées

V.1.1 Menthe / puceron (*Ovatus mentarius*)

Comme évoqué précédemment, le témoin positif menthe/thrips n'a pas pu être validé puisque le thrips ne s'est pas correctement installé. Les résultats d'infestation du 27 mai des menthes par le puceron *Ovatus mentarius* sont présentés figure 28.

Tableau 4 : résultats des tests statistiques de Pearson pour le couple menthe/puceron en conditions contrôlées (log nombre de puceron/plante +1)

Modalités	p-value	Coefficient de Pearson ρ
Dominante Bleue (R/B $\leq$ 1)	0,229	NA*
Dominante Rouge (R/B $>$ 1)	0,466	NA*

*Non attribué

Ici, les données sont étonnantes. Cette série ne montre aucun effet de l'évolution du spectre sur l'infestation (p-value bleu =0,229 et p-value rouge =0,0466). Ce résultat peut être expliqué par le fait que le puceron *Ovatus mentarius* s'est très vite développé avant la notation. S'il s'est développé préférentiellement sur une zone (par exemple sous dominante rouge), il s'est peut-être répandu sous l'autre zone pour pouvoir s'alimenter suffisamment, ne trouvant plus de nourriture ou d'espace sur la première zone infestée. Les pucerons ont pu se déplacer vers les plantes sous dominante bleu pour s'alimenter. De fait, l'infestation sera homogène pour

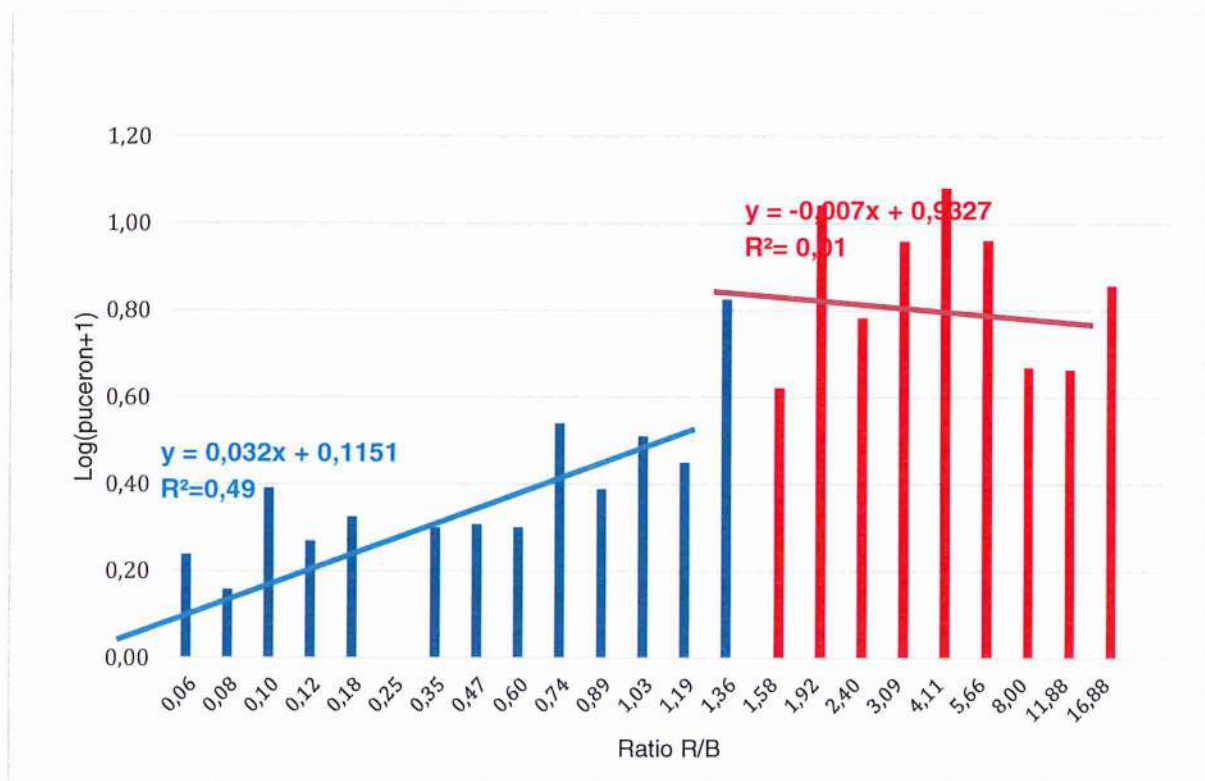


Figure 29 : transformation logarithmique du nombre moyen de puceron (*Aulacorthum solani*) en fonction du ratio R/B par cotylédon de poivron. Notation le 02/06/2021. Essai en chambre de culture

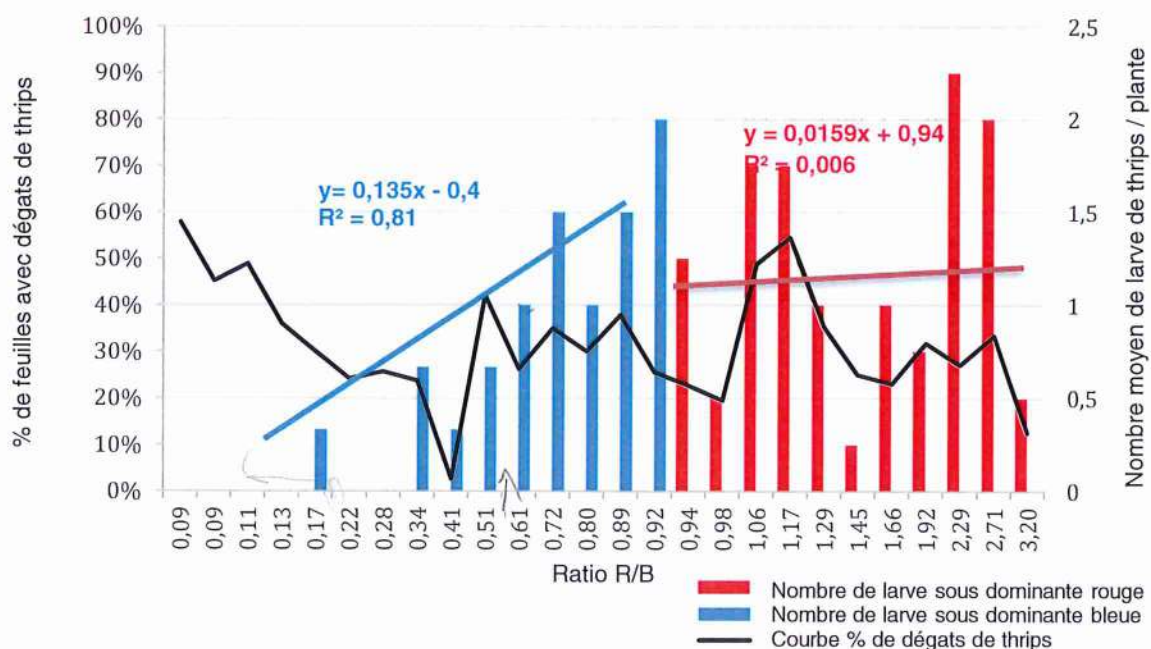


Figure 30 : pourcentage de dégâts de thrips (courbe noire) en fonction du ratio R/B et nombre de larve de thrips (battons) en fonction du ratio R/B. Essai en chambre de culture. Notation le 04/08/2021

l'ensemble des spectres. Cette observation met en lumière le fait que sous bleu, les pucerons se développent quand même.

V.1.2 Poivron / puceron (*Aulacorthum solani*)

Les résultats du 02 juin pour le couple poivron/puceron (*Aulacorthum solani*) sont présentés en figure 29. Les données d'infestation des rangs n°1 et 15 ont été invalidés puisque le taux de germination était faible (moins de 4 poivrons germés sur 7).

Sur l'histogramme obtenu, une tendance a été observé sous les ratios à dominante bleu jusqu'à un point d'inflexion (ou points « pivot ») situé aux alentours de $R/B=1,58$, après lequel il est probable d'observer une phase de stagnation. Les statistiques ont donc été réalisées avant ce point (spectres à dominante bleu) et après ce point (spectres à dominante rouge).

Tableau 5 : résultats des tests statistiques de Pearson pour le couple poivron/puceron (*Aulacorthum solani*) en conditions contrôlées (log nombre de puceron/cotylédon +1)

Modalités	p-value	Coefficient de Pearson ρ
Dominante Bleue ($R/B < 1,58$)	0,001	0,77
Dominante Rouge ($R/B \geq 1,58$)	0,55	NA*

*Non attribué

Sous spectres à dominante bleue, il y a impact significatif du spectre sur l'infestation des poivrons par le puceron ($p\text{-value}=0,001$). Le coefficient de Pearson est positif ($=0,77$) et indique donc que plus le ratio R/B augmente plus l'infestation par le puceron augmente.

Sous dominante rouge, à partir de $R/B \geq 1,58$ il n'y a plus d'impact du spectre sur l'infestation ($p\text{-value}=0,55$).

L'infestation présente une phase d'augmentation significative lorsque le ratio R/B augmente pour atteindre un plateau à partir d'environ $R/B=1,58$ et correspondrait donc au facteur « SDP-effarouchement ». La phase plateau sous dominante rouge permet de rejeter l'hypothèse qui suit le facteur « qualité sève ». En effet, l'augmentation de la qualité de la sève par l'augmentation du ratio R/B n'a pas d'impact significatif sur l'infestation par le puceron.

V.1.3 Chrysanthème / thrips (*Frankliniella occidentalis*)

La notation réalisée le 04 août (figure 30) sur les chrysanthèmes comportait deux critères : le pourcentage de feuilles avec dégâts de thrips et le nombre de larves de thrips (*Frankliniella occidentalis*) par plante.

Comme sur le précédent histogramme obtenu, une tendance a été observé sous les ratios à dominante bleu jusqu'à un point d'inflexion, cette fois si situé aux alentours de $R/B=0,94$. Après ce point, il est probable d'observer une phase de stagnation. Les statistiques ont donc été réalisés avant ce point (spectres à dominante bleu) et après ce point (spectres à dominante rouge).

Tableau 6 : résultats des tests statistiques de Pearson pour le couple chrysanthème/thrips en conditions contrôlées (nombre de larves de thrips/plante)

Modalités	p-value	Coefficient de Pearson p
Dominante Bleue ($R/B < 0,94$)	$1,6 \cdot 10^{-7}$	0,94
Dominante Rouge ($R/B \geq 0,94$)	0,73	NA*

*NA = Non attribué

Les dégâts de thrips sont homogènes sur l'ensemble de l'essai, alors que les larves sont significativement plus présentes sous spectres à dominante rouge ($R/B > 0,94$). Cette apparente contradiction peut facilement s'expliquer par le fait que les dégâts observés auraient été provoqués par une première génération larvaire présente dès la mise en place de l'essai. Une fois leur cycle larvaire achevé, les adultes se sont déplacés vers leur environnement préféré et y ont généré un gradient dans la répartition actuelle des larves.

Jusqu'aux alentours de $R/B=0,94$, les résultats statistiques montrent la même tendance que pour couple poivron/puceron : plus la ratio R/B augmente, plus l'infestation par les larves diminue, avec un coefficient de Pearson encore plus élevé ($=0,94$). Ensuite, les résultats montrent, comme précédemment, une phase significative de stagnation de l'infestation sous spectres à dominante rouge (pas d'impact des spectres rouges sur l'infestation $p\text{-value}=0,73$). Ici aussi, les résultats obtenus correspondraient au facteur « SDP-effarouchement ».

A la prochaine notation, il est fortement probable que la répartition des dégâts corresponde à la répartition des larves.

Pour les couples poivrons/pucerons et chrysanthème/thrips, les résultats statistiques obtenus en chambre de culture révèlent des tendances d'infestation identiques en fonction du ratio R/B . Lorsque le ratio R/B augmente sous les spectres à dominante bleu, l'infestation augmente significativement, pour atteindre une phase plateau sous spectres à dominante rouge. Cela correspond au facteur « SDP-effarouchement ». Néanmoins, le ratio « pivot » à partir duquel le taux d'infestation stagne à un niveau élevé (sous spectres à dominante rouge) n'est pas exactement le même en fonction du couple plante/ravageur. La phase plateau

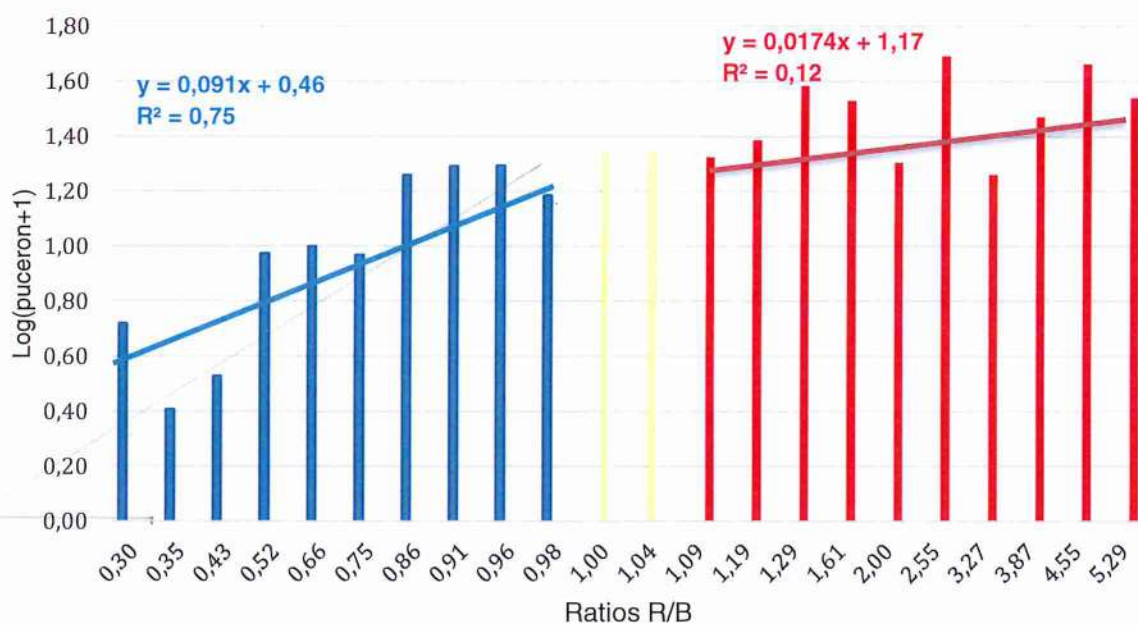


Figure 31: transformation logarithmique du nombre moyen de puceron (*Ovatus mentarius*) en fonction du ratio R/B par feuilles de menthe. Notation réalisée le 04/06/2021. Essai sous tunnel

d'infestation présente sous dominante rouge pour le couple poivron/puceron permet de rejeter l'hypothèse qui suit le facteur « qualité sève ».

Les résultats des séries en conditions de production permettront de savoir si la lumière naturelle impacte la dynamique d'infestation ou s'il est possible d'observer des similitudes en comparant avec les résultats obtenus sous conditions contrôlées (tendances, ratio « pivot » ...).

V.2 Essai en conditions de production

V.2.1 *Menthe / puceron (Ovatus mentarius)*

Malgré plusieurs lâchers sur le témoin éclairage naturel, le thrips ne s'est pas installé sur les menthes.

Le puceron, *Ovatus mentarius*, s'y est installé. Une notation a été réalisée le 04 juin. Les résultats (figure 31) montrent une infestation plus élevée sous spectre à dominante rouge que sous spectre à dominance bleu (figure 26).

Encore une fois, une tendance a été observée sous les ratios à dominante bleu jusqu'à un point d'inflexion $R/B=0,98$.

Après $R/B=1,09$, il est probable d'observer une phase de stagnation. Les statistiques ont donc été réalisées avant ce point (spectres à dominante bleu) et après ce point (spectres à dominante rouge).

Tableau 7 : résultats du test statistique de Pearson pour le couple menthe/puceron (*Ovatus mentarius*) en condition de production sous tunnel (log nombre de puceron/plante +1)

Modalités	p-value	Coefficient de Pearson ρ
Dominante Bleue ($R/B \leq 0,98$)	0,002	0,894
Dominante Rouge ($R/B \geq 1,09$)	0,792	NA*

*Non attribué

Comme précédemment, lorsque le R/B augmente sous dominante bleu ($\leq 0,98$) l'infestation augmente de manière significative ($p\text{-value}=0,002$; $\rho = 0,89$) jusqu'à une phase plateau sous dominante rouge ($R/B \geq 1,09$), qui intègre les spectres correspondants à la lumière naturelle. Ainsi, les résultats de cette première série sous tunnel montrent bien une phase de diminution de l'infestation avec la diminution du R/B sous spectres à dominante bleu et une phase plateau sous dominante rouge et suit donc le facteur « SDP-effarouchement ». La phase plateau sous dominante rouge permet de rejeter l'hypothèse « qualité sève ».

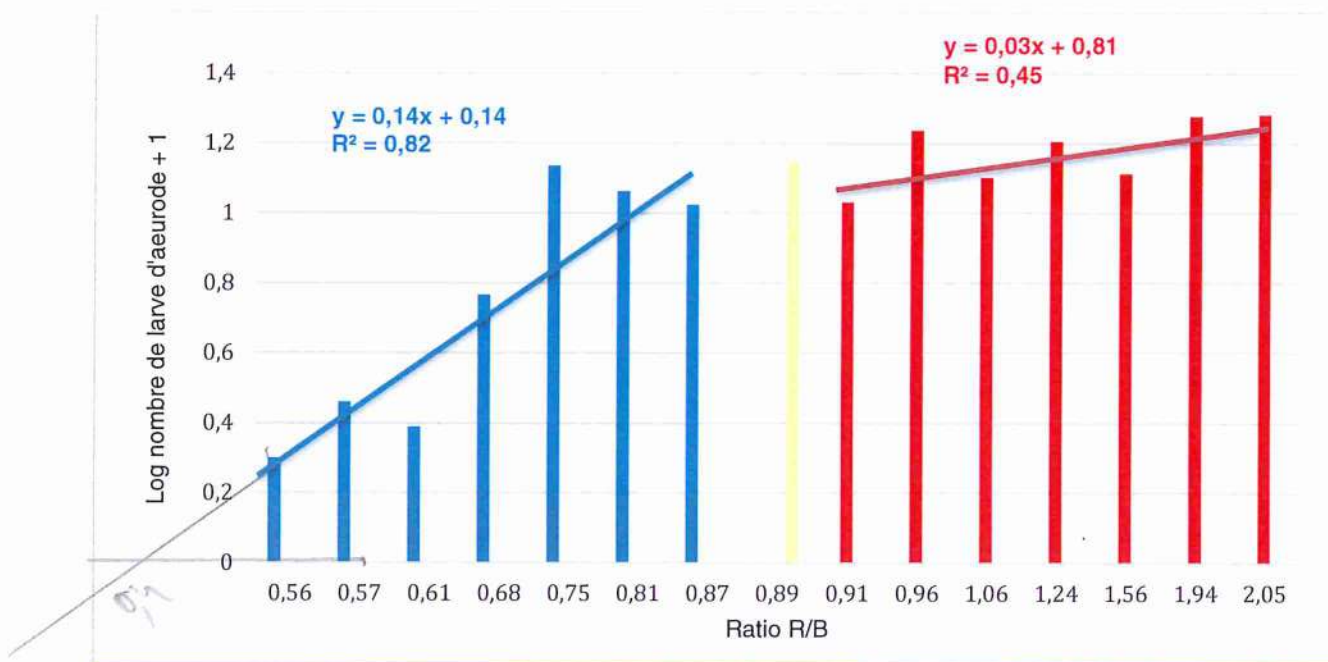


Figure 32 : transformation logarithmique du nombre moyen de larves d'aleurode (*Bemisia tabaci*) sur népétas en fonction du ratio R/B. Notation réalisée le 21/06/2021. Essai sous tunnel

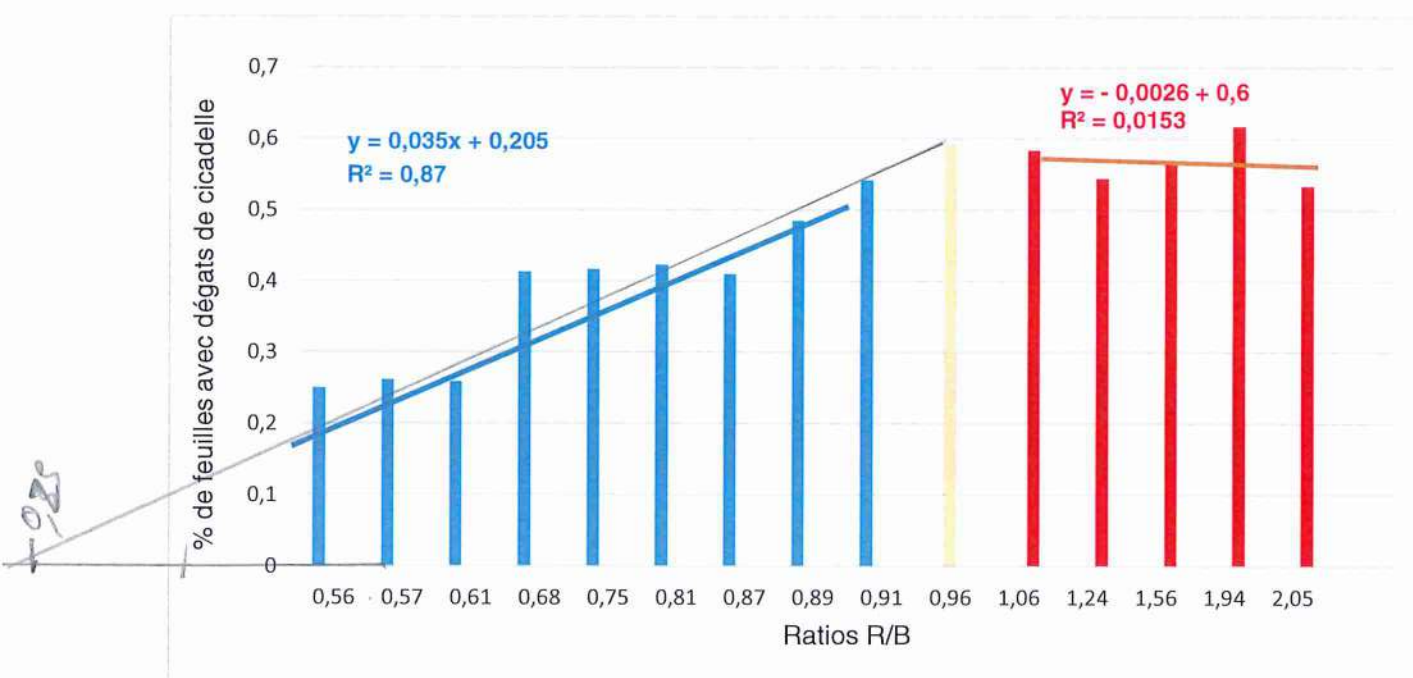


Figure 33 : % de feuilles avec dégâts (étages 3 à 5) de Cicadelle (*Eupteryx decemnotata*) sur népétas en fonction du ratio R/B. Notation réalisée le 05/07/21. Essai sous tunnel

V.2.2 *Népéta / aleurode (Bemisia tabaci)*

Les Népétas ont tout d'abord été infestées par l'aleurode *Bemisia tabaci*. Les résultats (figure 32) montrent des infestations deux fois plus importantes sous spectres à dominante rouge que sous spectres à dominante bleue.

Pour ce couple plante/ravageur, une tendance a été observé sous les ratios à dominante bleu jusqu'à un point d'inflexion $R/B=0,87$.

Après $R/B = 0,91$, il est probable d'observer une phase de stagnation. Comme précédemment, les statistiques ont donc été réalisés avant ce point (spectres à dominante bleu) et après ce point (spectres à dominante rouge).

Tableau 8 : résultats du test statistique de Pearson pour le couple népéta/aleurode en conditions de production sous tunnel (log nombre de larve d'aleurode/plante +1)

Modalité	p-value	Coefficient de Pearson ρ
Dominante Bleue ($R/B \leq 0,87$)	0,003	0,94
Dominante Rouge ($R/B \geq 0,91$)	0,27	NA*

*Non attribué

Encore une fois, il un impact significatif du spectre sur l'infestation ($p\text{-value}=0,003$) pour les ratios à dominante bleu ($\leq 0,87$). Le coefficient de Pearson est très proche de 1 ($=0,94$), ce qui indique une corrélation forte entre l'augmentation du ratio R/B et l'augmentation du nombre de larve d'aleurode. Au-delà de $R/B=0,91$, il n'y a pas d'impact significatif des ratios à dominante rouge sur l'infestation ($p\text{-value}=0,27$), l'infestation stagne. Il est ici possible de rejeter le facteur « Qualité sève » car l'aleurode est un piqueurs-suceurs comme le puceron. Elle n'est pas favorisée par des spectres (rouge) qui augmente la qualité de la sève.

Comme pour les autres tests en chambre de culture, ces résultats suivent le facteur « SDP-effarouchement ».

V.2.3 *Népéta / Cicadelle (Eupteryx decemnotata)*

L'infestation par les aleurodes a été suivi par une attaque de cicadelles *Eupteryx decemnotata*, les résultats (figure 33) montrent qu'il y a moins de dégâts sous les spectres à dominante bleue jusqu'à un R/B aux alentours de 0,91.

Tableau 9 : résultats du test statistique de Pearson pour le couple népéta/cicadelle en conditions de production sous tunnel (% de feuilles avec dégâts de cicadelle)

Modalité	p-value	Coefficient de Pearson ρ
Dominante Bleue (R/B $\leq$ 0,91)	3.10^{-4}	0,93
Dominante Rouge (R/B $\geq$ 1,06)	0,95	NA*

*Non attribué

Comme pour les séries précédentes, les spectres à dominante bleue ont un impact significatif sur l'infestation par les cicadelles ($p\text{-value}=3.10^{-4}$), en la faisant diminuer lorsque R/B diminue ($\rho=0,93$). Les résultats correspondent encore ici au facteur « SDP-effarouchement ».

Sous spectres à dominante rouge, il n'y a pas d'impact significatif ($p\text{-value}=0,95$) du spectre sur l'infestation.

Les résultats obtenus en conditions contrôlées sont transposables à ceux obtenus en conditions de production. Ce constat est encourageant car cette méthode pourrait ainsi permettre de réduire les infestations sous serres et sous tunnel chez les producteurs.

VI. Discussion

L'objectif de ces essais était de vérifier la validité des trois facteurs constitutifs du modèle. Ces facteurs découlent des hypothèses qui ont été déduites de la bibliographie et des résultats obtenus les années passées. Le premier facteur « qualité de la sève » permettait d'expliquer pourquoi les piqueurs-suceurs étaient plus présents sous le spectre à dominante rouge que sous le spectre à dominante bleu lors des essais précédents. L'hypothèse sous-jacente reposait sur l'amélioration de la qualité de la sève par les spectres à dominante rouge. Cependant, ce facteur ne permettait pas d'expliquer pourquoi les volveurs de cellule (thrips) étaient plus présents sous rouge que sous bleu. Le deuxième et troisième facteur « SDP » et « effarouchement » permettaient d'expliquer ces deux observations par l'effet protecteur du bleu qui permettrait soit de stimuler la production de molécules de défenses soit d'effaroucher les insectes ravageurs. La méthode d'expérimentation utilisée ne permet pas de discriminer l'effet SDP de l'effet effarouchement car les dynamiques d'infestation attendues sont les mêmes (moins de ravageurs sous spectres à dominante bleu jusqu'à un palier sous rouge).

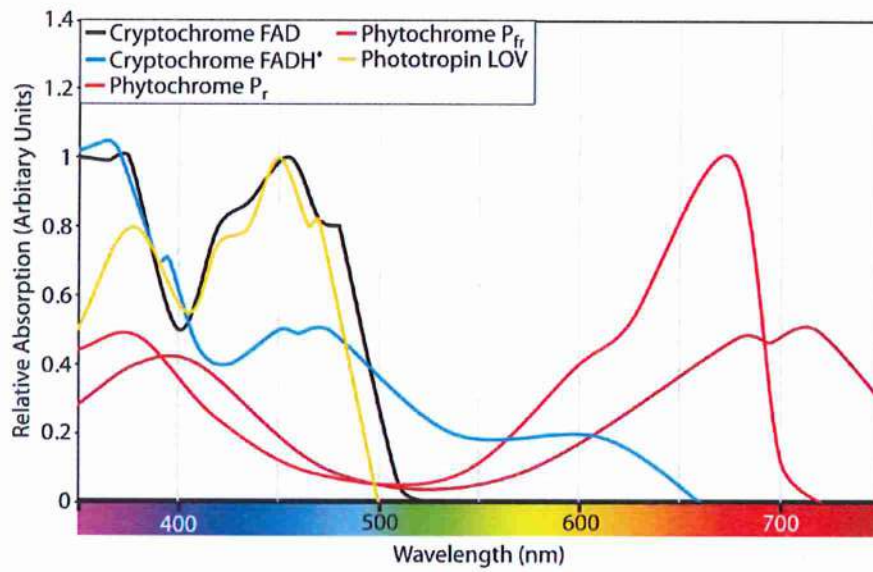


Figure 1 : spectres d'absorption des photorécepteurs des plantes (Battle et al., 2020)

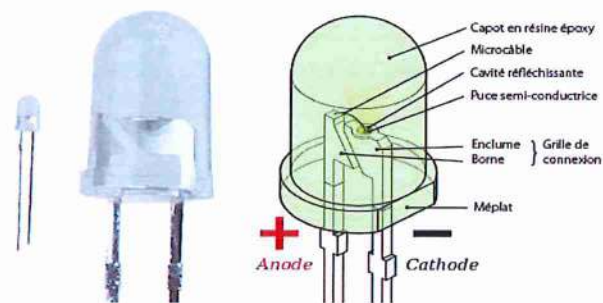


Figure 2 : photographie et schéma d'une LED (Light Emitting Diode) [1]

VI.1 Dispositif expérimental utilisé

Contrairement au dispositif utilisé lors des essais 2019-2020 où les ratios R/B étaient séparés entre eux, pouvant occasionner de petites différences climatiques entre les modalités, le dispositif de cette année a permis de comparer une infinité de ratio R/B avec des conditions climatiques strictement identiques et ainsi d'obtenir des courbes d'infestation uniquement liées aux ratio R/B, sans biais. Il a ainsi permis de préciser les effets du ratio sur l'infestation et de déterminer les ratios remarquables qui permettent de caractériser le modèle.

VI.2 Révision du modèle

Il est possible de vérifier la cohérence de tous les résultats en les comparant pour identifier des similitudes ou des divergences pour ensuite identifier les facteurs prépondérants.

Tableau 10 : synthèse des résultats obtenus ; significativité de l'impact du spectre sur l'infestation (Test de Pearson, $\alpha = 0,05$) NS = Non significatif ; S = Significatif

Conditions	Couple plante/ravageur	Spectres dominante bleue	Point R/B A	Spectres dominante rouge	Facteur suivi	Facteur rejeté
Contrôlées (chambre de culture)	Menthe / Puceron	NS	-	NS	Aucun	Aucun
	Poivron / Puceron	S	1,03 - 1,58	NS	SDP-effarouchement	Qualité sève
	Chrysanthème / Thrips	S	0,80 - 0,94	NS	SDP-effarouchement	Aucun
Production (Tunnel)	Menthe / Puceron	S	0,98- 1,09	NS	SDP-effarouchement	Qualité sève
	Népéta / Aleurode	S	0,87- 0,91	NS	SDP-effarouchement	Qualité sève
	Népéta / Cicadelle	S	0,91- 1,06	NS	SDP-effarouchement	Aucun

*Plage R/B à partir de laquelle l'effet protecteur du bleu n'est plus significatif

Les résultats de cette année montrent majoritairement (5 cas sur 6) que les spectres à dominante bleue diminuent de manière significative les infestations par le puceron, le thrips, l'aleurode et la cicadelle en suivant le modèle à « SDP-effarouchement » prépondérant. Cependant, le ratio R/B à partir duquel le bleu a un effet protecteur n'est pas le même selon le type de ravageur ou l'espèce végétale. Pour cette série d'essais, ce ratio varie entre 0,8 et 1,58 et se trouve donc de manière générale aux alentours de 1. Il semblerait tout de même judicieux de tester d'autres couples plantes/ravageurs pour savoir si ce ratio s'éloigne de 1 ou si celui-ci peut servir de « référence » applicable en production pour l'ensemble des couples plantes/ravageurs. Le ratio R/B adapté aux cultures sera celui qui se trouve suffisamment en dessous de 1 pour atteindre un bon niveau de protection face aux insectes ravageurs et qui permet d'atteindre une croissance compatible avec les objectifs de production (la quantité de bleu impactant l'architecture et la vitesse de croissance).

Pour le puceron par exemple, la plage de ratio à partir de laquelle l'intensité en bleu n'a plus d'effet protecteur semblerait plus élevée que pour les autres ravageurs. Ainsi, les hypothèses sous-jacente seraient soit que le puceron est plus sensible aux molécules défenses si l'effet SDP est vrai, soit qu'il est effarouché avec une plus petite intensité en bleu que les autres ravageurs.

Pour la série poivron/puceron et chrysanthème/thrips en chambre de culture, il semblerait très probable que le facteur prépondérant jouant sur l'infestation soit l'effet SDP-effarouchement. Les résultats d'infestation pour les premiers ratios (0,10 à 0,47 pour les poivrons ; 0,17 à 0,34 pour les chrysanthèmes, ressemblent à une phase plateau. Cette phase plateau pourrait correspondre à la saturation du cryptochrome (entraînant la production maximale de molécules de défenses donc la protection maximale). Cette phase est la seule qui permettrait de discriminer les deux facteurs.

Contrairement aux résultats des essais 2019-2020, les résultats de cette année montrent que les spectres à dominante rouge ($R/B > 0,98$) n'ont pas d'impacts significatifs sur le niveau d'infestation. En effet, le test de Pearson permet de mettre en évidence une phase de stagnation de l'infestation sous spectre à dominante rouge. La quantité de rouge ne semble donc pas augmenter la sensibilité des plantes face aux ravageurs et notamment des piqueurs-suceurs (pucerons et aleurodes). Ces résultats permettent ainsi de rejeter l'hypothèse issue des résultats des essais 2019-2020 qui reposait sur l'effet sensibilisateur du rouge par l'augmentation de la qualité de la sève.

L'intensité totale n'a pas eu d'impact sur l'infestation. En effet, en conditions de production, les plantes les plus proches des éclairages leds ont reçus des intensités lumineuses plus fortes que les plantes sans éclairage leds. Or, sous spectres à dominante rouge, les infestations ne sont pas plus importantes lorsque l'intensité est plus forte. Pour pouvoir vraiment conclure, il faudrait tester différentes intensités avec le même spectre à $R/B > 1$.

Les résultats d'infestation ne correspondent ni au modèle « intensité » ni au modèle « qualité sève ». Ce sont les facteurs SDP et effarouchement (figure 14) qui sont prépondérants et qui à eux seuls constituent le modèle puisque les autres potentiels facteurs sont négligeables devant eux.

VI.3 Discrimination de l'effet SDP et effarouchement

Afin de pouvoir quantifier l'importance relative de chacune des voies (SDP et effarouchement) pour les deux ravageurs modèles (thrips et pucerons), un essai pourra être mené en utilisant un mutant d'*Arabidopsis thaliana* ayant sa voie SDP altérée. Le modèle servant à l'interprétation est le suivant :

$$\text{Taux d'infestation (\%age d'infestation)} = \text{développement sans contrainte - effet voie « SDP » - effet voie « Effarouchement »}$$

En combinant judicieusement les facteurs et les mutants, il sera possible de quantifier l'effet de chaque voie. Le tableau suivant présente les modalités et le raisonnement aboutissant à la quantification de chaque voie.

Tableau 11 ; modalités utilisant *Arabidopsis thaliana* mutant permettant la discrimination de l'effet SDP et Effarouchement

Plante	Eclairage	Effet voie "SDP"	Effet voie "effarouchement"	Codage
Sauvage	Bleu	Présent	Présent	(1)
Mutant SDP	Bleu	Absent	Présent	(2)
Mutant SDP	Rouge	Absent	Absent	(3)
Sauvage	Rouge	Absent	Absent	(4)

Ainsi (3) correspond au développement sans contrainte (lumière neutre sur la plante et l'insecte).

En réalisant (3) - (2) on obtient la réduction d'infestation due à la voie « effarouchement ».

En soustrayant (2) - (1) on obtient la réduction due à la voie « SDP ». On peut ainsi calculer le pourcentage « d'efficacité » de chaque voie et son importance relative.

La modalité 4 sert à vérifier que le mutant n'altère pas la capacité des ravageurs à s'y développer par d'autres moyens que la voie SDP. Si une différence est constatée entre (3) et (4) alors, les données de (2) pourront être corrigées pour permettre sa comparaison avec (1).

Le dispositif à utiliser sera celui utilisé cette année en mettant côte à côte deux rangées de plantes, l'une mutante l'autre sauvage, éclairées à une extrémité par du bleu et à l'autre par du rouge.

VII. Conclusion

Ce projet visait à évaluer l'effet de différents spectres lumineux sur le développement des ravageurs. Le but est de proposer des éclairages à installer sous abri pour avoir des productions plus résistantes et donc plus qualitatives en réduisant l'usage d'insecticides. Les essais menés cette année ont montré que la qualité du spectre lumineux influence fortement le développement des ravageurs et que le bleu a un effet protecteur, et ceci, pour l'ensemble des couples plantes/ravageurs testés. *A contrario*, les piqueurs-suceurs ne sont pas favorisés par des éclairages à dominante rouge qui augmente la photosynthèse donc la qualité de la sève. Les résultats de cette année montrent également que l'intensité lumineuse totale, aux niveaux testés, a un effet négligeable sur l'infestation. La réduction des infestations est permise par l'intensité en bleu et le ratio R/B. En effet, quand ce ratio est inférieur à 1, l'infestation diminue de manière significative. Le processus impliqué serait soit l'effet effarouchement soit l'effet SDP du bleu, même si les résultats obtenus laissent penser que c'est à la voie SDP qui est majoritairement impliquée. Les prochains essais permettront de discriminer l'importance de chacune de ces voies par l'utilisation d'un mutant d'*Arabidopsis thaliana* ayant la voie SDP altérée.

VIII. Bibliographie

Ballaré, C. L. (2009). Illuminated behaviour: phytochrome as a key regulator of light foraging and plant anti-herbivore defence. *Plant, Cell & Environment*, 32(6), 713-725.

Ballaré, C. L., Mazza, C. A., Austin, A. T., & Pierik, R., (2012). Canopy light and plant health. *Plant Physiology*, 160(1), 145-155.

Ballaré, C. L. (2014). Light Regulation of Plant Defense. *Annual Review of Plant Biology*, 65(1), 335–363.

Battle, M. W., & Jones, M. A. (2020). Cryptochromes integrate green light signals into the circadian system. *Plant, cell & environment*, 43(1), 16-27.

Briscoe, A. D., & Chittka, L. (2001). The evolution of color vision in insects. *Annual review of entomology*, 46(1), 471-510.

Cargnel M. D., Demkura P. V., Ballaré C. L., 2014. Linking phytochrome to plant immunity: low red : far-red ratios increase Arabidopsis susceptibility to Botrytis cinerea by reducing the biosynthesis of indolic glucosinolates and camalexin. *New phytologist* (2014) 204: 342-354

Chen, M. S. (2008). Inducible direct plant defense against insect herbivores: a review. *Insect science*, 15(2), 101-114.

Courbier, S., Grevink, S., Sluijs, E., Bonhomme, P. O., Kajala, K., Van Wees, S. C., & Pierik, R. (2020). Far-red light promotes Botrytis cinerea disease development in tomato leaves via jasmonate-dependent modulation of soluble sugars. *Plant, cell & environment*, 43(11), 2769-2781.

De Wit M., Spoel S.H., Sanchez-Perez G. F., Gommers C. M. M., Pieterse C. M., Voosenek L. A. C. J. and PIERIK R., 2013. Perception of low red:far-red ratio compromises both salicylic acid- and jasmonic acid-dependent pathogen defences in Arabidopsis. *The Plant Journal* (2013) 75, 90-103.02

Döring, T. F. (2014). How aphids find their host plants, and how they don't. *Annals of Applied Biology*, 165(1), 3-26.

El-Esawi, M., Arthaut, L. D., Jourdan, N., d'Harlingue, A., Link, J., Martino, C. F., & Ahmad, M. (2017). Blue-light induced biosynthesis of ROS contributes to the signaling mechanism of Arabidopsis cryptochrome. *Scientific reports*, 7(1), 1-9.

Escobar-Bravo, R., Klinkhamer, P. G., & Leiss, K. A. (2017). Interactive effects of UV-B light with abiotic factors on plant growth and chemistry, and their consequences for defense against arthropod herbivores. *Frontiers in Plant Science*, 8, 278.

Escobar-Bravo, R., Nederpel, C., Naranjo, S., Kim, H. K., Rodríguez-López, M. J., Chen, G., ... & Klinkhamer, P. G. (2019). Ultraviolet radiation modulates both constitutive and inducible plant defenses against thrips but is dose and plant genotype dependent. *Journal of Pest Science*, 1-13.

Gebrezihher, H. G. (2018). The role of herbivore-induced plant volatiles (HIPVs) as indirect plant defense mechanism in a diverse plant and herbivore species; a review. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(4), 139-147.

Hori, M., Shibuya, K., Sato, M., & Saito, Y. (2014). Lethal effects of short-wavelength visible light on insects. *Scientific reports*, 4(1), 1-6.

Izaguirre, M. M., Mazza, C. A., Biondini, M., Baldwin, I. T., & Ballaré, C. L. (2006). Remote sensing of future competitors: impacts on plant defenses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(18), 7170-7174.

Jenkins GI, (2009). Signal transduction in responses to UV-B radiation. *Ann. Rev. Plant Biol.* 60: 407-31.

Johansen, N. S., Vänninen, I., Pinto, D. M., Nissinen, A. I., & Shipp, L. (2011). In the light of new greenhouse technologies: 2. Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops. *Annals of Applied Biology*, 159(1), 1-27.

Kim, Y. J., Kim, H. M., Kim, H. M., Lee, H. R., Jeong, B. R., Lee, H. J., ... & Hwang, S. J. (2021). Growth and phytochemicals of Ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) as affected by various combined ratios of red and blue LEDs in a closed-type plant production system. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 20, 100267.

Lazzarin, M., Meisenburg, M., Meijer, D., van Ieperen, W., Marcelis, L. F. M., Kappers, I. F., Dicke, M. (2020). LEDs Make It Resilient: Effects on Plant Growth and Defense. *Trends in Plant Science*.

Le Gall, H., Philippe, F., Domon, J. M., Gillet, F., Pelloux, J., & Rayon, C. (2015). Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*, 4(1), 112-166.

Meng, L., Van Labeke, M. C., & Höfte, M. (2020). Timing of light quality affects susceptibility to *Botrytis cinerea* in strawberry leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 211, 111988.

Mithöfer, A., & Boland, W. (2012). Plant defense against herbivores: chemical aspects. *Annual review of plant biology*, 63, 431-450.

Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Hao, X. (2016). Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. In *VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134* (pp. 223-230).

Naznin, M. T., Lefsrud, M., Gravel, V., & Hao, X. (2016). Using different ratios of red and blue LEDs to improve the growth of strawberry plants. In *VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134* (pp. 125-130).

Nowak, H., & Komor, E. (2010). How aphids decide what is good for them: experiments to test aphid feeding behaviour on *Tanacetum vulgare* (L.) using different nitrogen regimes. *Oecologia*, 163(4), 973-984.

Ogino, T., Uehara, T., Muraji, M., Yamaguchi, T., Ichihashi, T., Suzuki, T., ... & Shimoda, M. (2016). Violet LED light enhances the recruitment of a thrip predator in open fields. *Scientific reports*, 6(1), 1-10.

Pantazopoulou, C. K., Bongers, F. J., Küpers, J. J., Reinen, E., Das, D., Evers, J. B., ... & Pierik, R. (2017). Neighbor detection at the leaf tip adaptively regulates upward leaf movement through spatial auxin dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(28), 7450-7455.

Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., ... & Gianquinto, G. (2019). Unraveling the role of red: blue LED lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil. *Frontiers in plant science*, 10, 305.

Pennisi, G., Orsini, F., Blasioli, S., Cellini, A., Crepaldi, A., Braschi, I., ... & Marcelis, L. F. (2019). Resource use efficiency of indoor lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation as affected by red: blue ratio provided by LED lighting. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.

Piovene, C., Orsini, F., Bosi, S., Sanoubar, R., Bregola, V., Dinelli, G., & Gianquinto, G. (2015). Optimal red: blue ratio in led lighting for nutraceutical indoor horticulture. *Scientia Horticulturae*, 193, 202-208.

Roeber, V. M., Bajaj, I., Rohde, M., Schmülling, T., & Cortleven, A. (2021). Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. *Plant, Cell & Environment*, 44(3), 645-664.

Schaefer, H. M., & Rolshausen, G. (2006). Plants on red alert: do insects pay attention?. *BioEssays*, 28(1), 65-71.

Spalholz, H., Perkins-Veazie, P., & Hernández, R. (2020). Impact of sun-simulated white light and varied blue: red spectrums on the growth, morphology, development, and phytochemical content of green-and red-leaf lettuce at different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 264, 109195.

Vandenbussche, F., Yu, N., Li, W., Vanhaelewyn, L., Hamshou, M., Van Der Straeten, D., & Smagghe, G. (2018). An ultraviolet B condition that affects growth and defense in Arabidopsis. *Plant science*, 268, 54-63.

War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, 7(10), 1306-1320.

War, A. R., Taggar, G. K., Hussain, B., Taggar, M. S., Nair, R. M., & Sharma, H. C. (2018). Plant defence against herbivory and insect adaptations. *AoB Plants*, 10(4), ply037.

Wu, L., & Yang, H. Q. (2010). CRYPTOCHROME 1 is implicated in promoting R protein-mediated plant resistance to *Pseudomonas syringae* in Arabidopsis. *Molecular plant*, 3(3), 539-548.

Xiang, S., Wu, S., Zhang, H., Mou, M., Chen, Y., Li, D., ... & Yu, D. (2020). The PIFs redundantly control plant defense response against *Botrytis cinerea* in Arabidopsis. *Plants*, 9(9), 1246

Yaku, A., Walter, G. H., & Najar-Rodriguez, A. J. (2007). Thrips see red—flower colour and the host relationships of a polyphagous anthophilic thrips. *Ecological Entomology*, 32(5), 527-535.

Zha, L., Liu, W., Yang, Q., Zhang, Y., Zhou, C., & Shao, M. (2020). Regulation of ascorbate accumulation and metabolism in lettuce by the red: blue ratio of continuous light using LEDs. *Frontiers in plant science*, 11, 704.

Zhang, Y., Kaiser, E., Zhang, Y., Yang, Q., & Li, T. (2019). Red/blue light ratio strongly affects steady-state photosynthesis, but hardly affects photosynthetic induction in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Physiologia plantarum*, 167(2), 144-158.

IX. Sitographie

[1] : <https://universal-led.com/infos-led/principe>

ANNEXE 1

GLOSSAIRE TECHNIQUE

Essais 2019/2020

Les spectres utilisés :

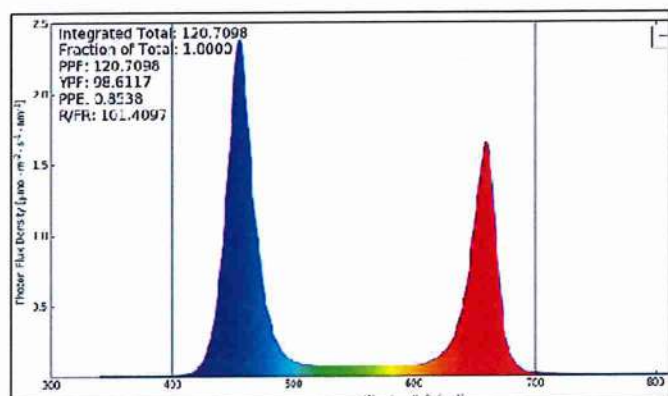


Figure 34 : Spectre à dominante bleue 0+60/8/32+0

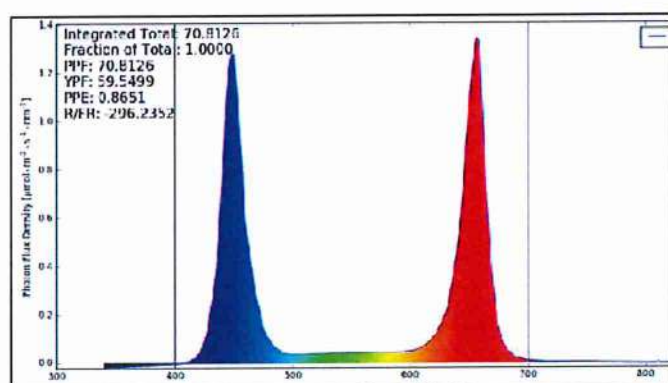


Figure 35 : Spectre équilibré 0+48/6/46+0

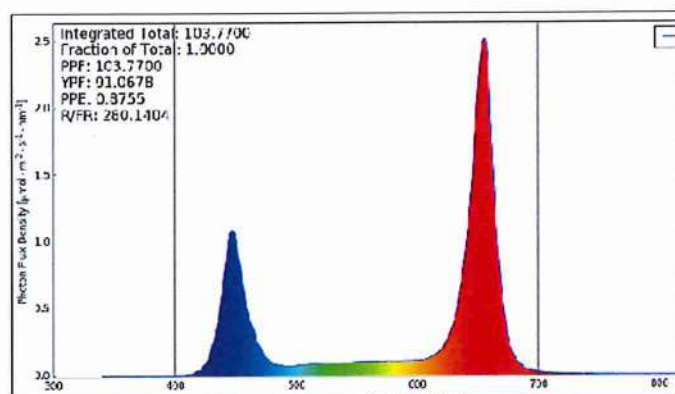


Figure 36 : Spectre à dominante rouge 0+28/10/62+0

Les intensités utilisées :

- PPFD = 30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (=faible intensité)
- PPFD = 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (=forte intensité).

Par exemple E80 = spectre équilibré 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

NB : Les spectres sont décrits en pourcentage de l'intensité comprise entre 400 et 700 nm (PAR) des longueurs d'onde « bleues » (de 340 à 500 nm), « vertes et jaunes » (de 500 à 610) et « rouges » (de 610 à 690). Les plages pour caractériser le « bleu » et le « rouge » sont issus des spectres d'absorption du cryptochrome pour le bleu et de la chlorophylle a et du phytochrome pour le rouge. Si le spectre contient des UV-B (280 à 310 nm) ou du rouge lointain (710 à 770 nm), ils seront précisés en plus en pourcentage de l'intensité comprise entre 400 et 700 nm.

Abréviation décrivant le spectre en Figure 1 : 0 % UVB + 60 % B / 8 % V / 32 % R + 0 % RL

ANNEXE 2 PLAN DES ESSAIS 2021

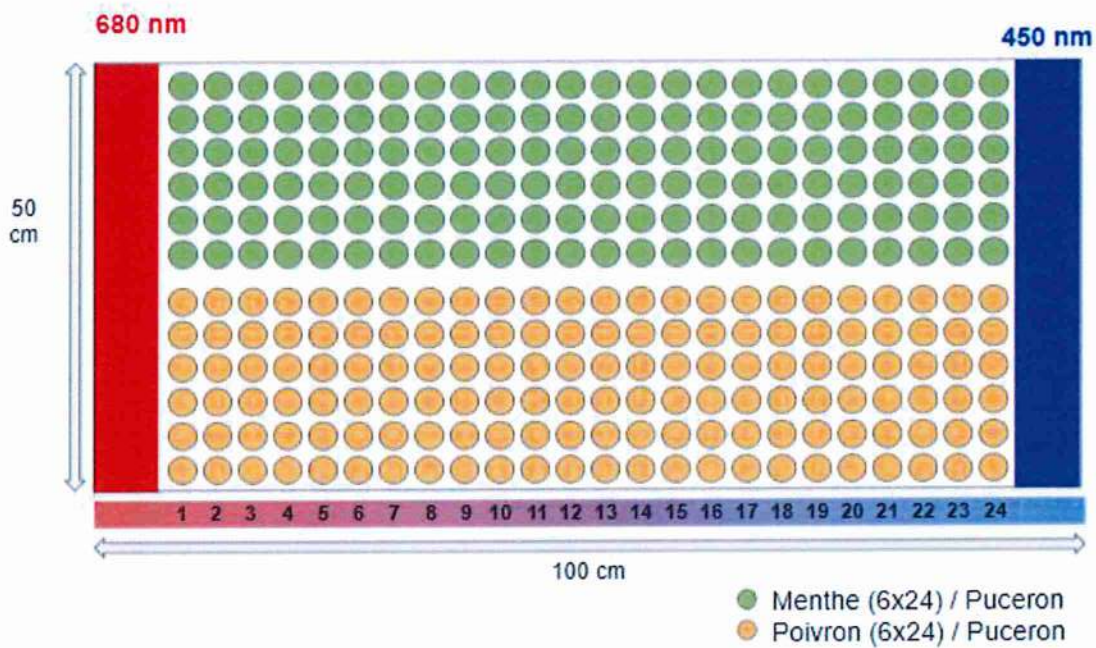


Figure 3718 : plan de l'essai en chambre de culture pour les couples menthe/puceron (*Ovatus mentarius*) et poivron/puceron (*Aulacorthum solani*)

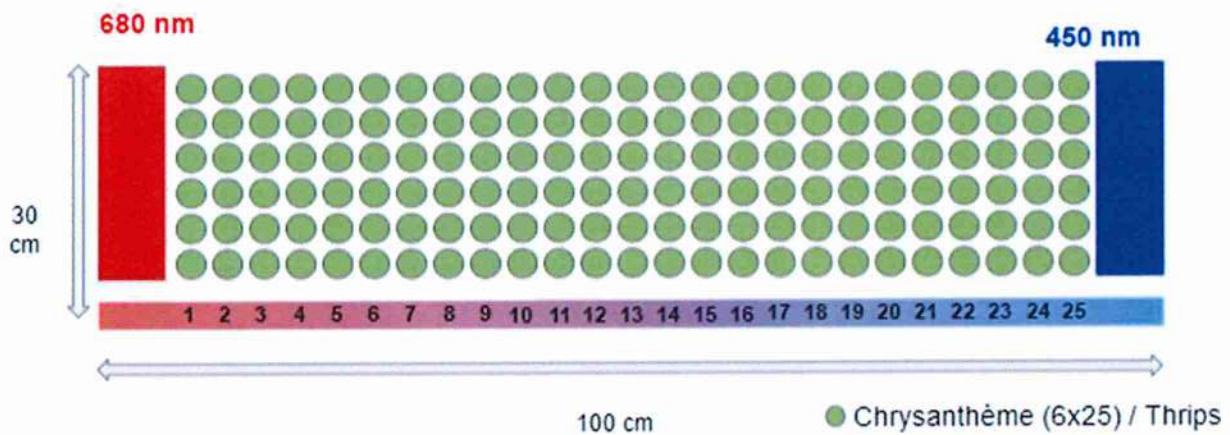


Figure 38 : plan de l'essai en chambre de culture pour le couple chrysanthème/thrips (*Frankliniella occidentalis*)

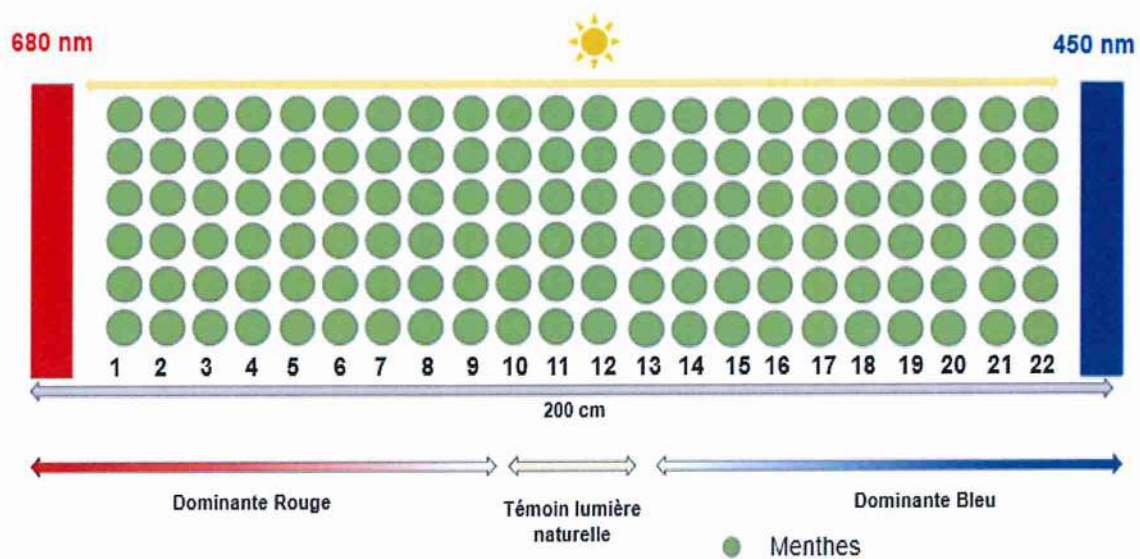


Figure 39 : plan de l'essai en conditions de production (tunnel) pour le couple menthe/puceron (*Ovatus mentarius*)

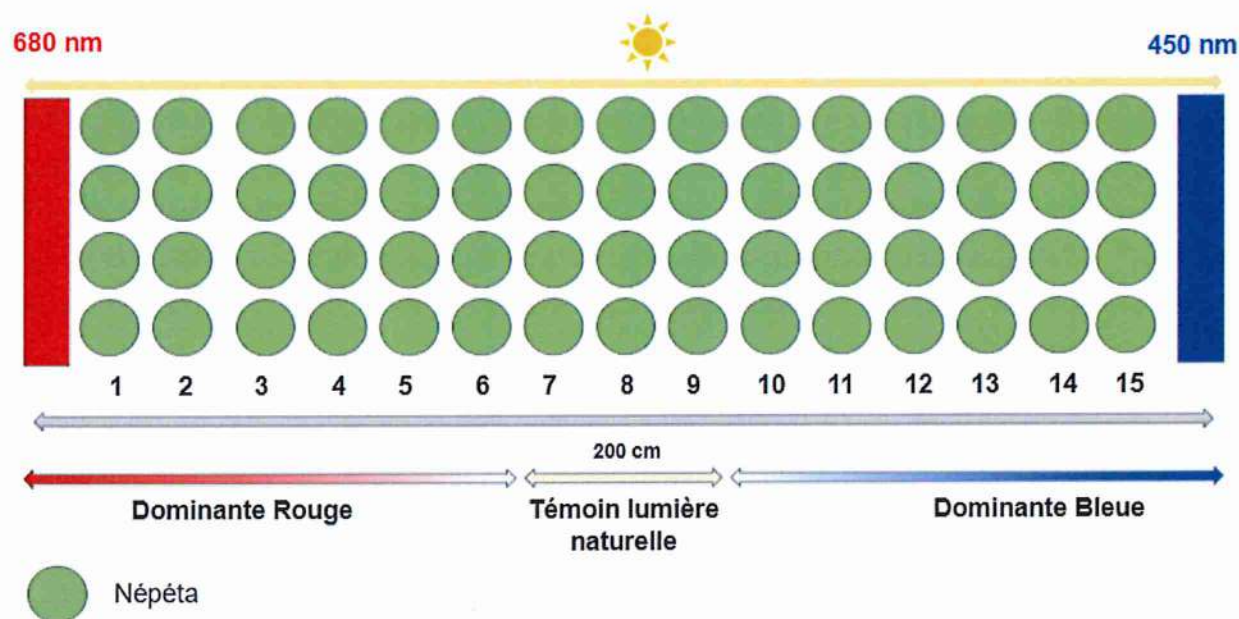


Figure 19 : plan de l'essai en conditions de production (tunnel) pour le couple népéta/aleurode (*Bemisia tabaci*) et népéta/cicadelle (*Eupteryx decemnotata*)

    université angers UNIVERSITÉ DE NANTES		Diplôme: Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : Filières de l'horticulture et Innovations (FHI)	
Auteur(s) : Fanny UBLET Date de naissance* : 04/10/1997		Organisme d'accueil : AREXHOR PL Adresse : 2 rue des Magnolias 49130 Les-Ponts-De-Cé	
Nb pages : 30 Annexe(s) : 2		Maître de stage : Alain FERRE	
Année de soutenance : 2021			
Etude de l'impact de la lumière sur les insectes ravageurs Study of the impact of light on insect pests			
Résumé : Par des observations antérieures en chambre de culture, les ingénieurs de l'Arexhor PL ont remarqué que, dans certaines conditions d'éclairage LEDs, certains ravageurs étaient fortement limités dans leur développement. Ces observations ont été confirmées par des expérimentations en 2019 et 2020. Les résultats de ces expérimentations montrent un taux d'infestation du thrips divisé par quatre sous spectre à dominante bleu comparé à un spectre à dominante rouge sur chrysanthème. Grâce à de nouveaux essais, l'étude 2021 a permis d'apporter des réponses sur les différents mécanismes impliqués permettant de limiter les infestations grâce au bleu et cela, dans le but de pouvoir proposer cette méthode en production. Le premier mécanisme impliqué serait un effet indirect d'activation des défenses des plantes par la lumière, appelé effet stimulateur de défense des plantes (SDP). En effet, certains spectres pourraient stimuler la production de molécules de défenses des plantes qui nuisent aux insectes ravageurs. Le second mécanisme impliqué serait un effet d'effarouchement direct des insectes par certaines longueurs d'onde.			
Abstract : From previous observations growing rooms, the engineers of Arexhor PL noticed that under certain LED lighting conditions, some pests were severely restricted in their development. These observations were confirmed by experiments in 2019 and 2020. The results of these experiments show a thrips infestation rate divided by four sub-spectrum predominantly blue compared to a spectrum predominantly red on chrysanthemum. Thanks to new trials, the 2021 study made it possible to provide answers on the various mechanisms involved in limiting infestations thanks to blue, with the aim of being able to offer this method in production. The first mechanism involved is an indirect effect of activation of plant defenses by light, called the plant defense stimulator effect (SDP). Indeed, certain spectra could stimulate the production of plant defense molecules that harm insect pests. The second mechanism involved would be a direct scaring effect of insects at certain wavelengths.			
Mots-clés : stimulateur de défenses, insectes ravageurs, horticulture, LEDs, Key Words: defense stimulator, insect pests, horticulture, LEDs,			