

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Amélioration du piégeage de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, en région Pays de la Loire

Charles SAGNIER

Concevoir et accompagner l'innov'action en agronomie

2018

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Amélioration du piégeage de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, en région Pays de la Loire

Charles SAGNIER

Option CALICE : Concevoir et accompagner
l'innov'action en agronomie

2018

Maître de stage : Mme Adeline CHASTRUSSE

Enseignant référent : Mr Benjamin NOWAK

« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas seul ou avec es tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

Abstract:

European Corn Borer (ECB) is a Lepidoptera, whose the larva feeds itself of corn feet which can cause significant damages. In the scope of the Health Bulletin of the Vegetal (HBV), this pest is followed by pheromone traps. The trapping improvement leads to a will of refine the reliability and the precision of the results presented to farmers in order to optimize treatments (chemical or biological).

A comparison of different traps was organized, while trying to observe the potential impact of the landscape on the trapping. After the comparison of the three pheromone traps, the wire mesh cone trap seems more efficient than delta traps (with one or three adhesives plates). Simultaneously, a blue-light trap and an emergence cage have been tested. A competition phenomenon between females and pheromone traps is confirmed thanks to the identification of ECB gender, trapped in the blue-light trap. A peak in the females share translates a decrease of catch in the pheromone traps. The link with the landscape was hard to set up, and few conclusions could be drawn, even if many parameters would deserve to continue researches. This year, after the detection of an additional flight, a completing analyse allowed to bring to light that uni- and bivoltine races seem to live together on a part of the region Pays de la Loire.

Keywords: European Corn Borer – *Ostrinia nubilalis* – Pheromone traps – Blue light trap – Landscape - Voltinism

Table des matières :

Liste des figures.....	i
Liste des tableaux	ii
Liste des annexes.....	ii
Liste des abréviations	ii
Remerciements	iii
Introduction	1
I. <i>Ostrinia nubilalis</i> , un des principaux ravageurs du maïs	2
A. Les caractéristiques de la pyrale du maïs	2
1. Les caractéristiques biologiques :.....	2
2. Diapause :.....	3
3. Voltinisme :.....	3
4. Race :.....	4
5. La lutte contre <i>Ostrinia nubilalis</i>	4
B. La pyrale, à la recherche d'un lieu de vie favorable.....	5
1. La pyrale, un papillon relativement mobile.....	5
2. La prospection d'un lieu de vie tamponné.....	6
3. Le vent, un facteur de dispersion.....	7
4. L'humidité, un paramètre pour la conservation des adultes et la reproduction.....	7
C. Le piégeage, un outil de suivi de la population	8
1. Présentation des pièges.....	8
2. Le choix du positionnement des pièges.....	9
D. L'impact du paysage, significatif pour le piégeage ?.....	9
1. L'influence du paysage dans les dynamiques de populations	9
2. La zone herbacée, une zone privilégiée des pyrales ?	10
3. L'antécédent cultural, un lieu d'émergence	11
II. Mise en place de l'essai :.....	11
A. Hypothèses :	11
B. Matériel et méthodes	12
1. Protocole expérimental :.....	12
2. Vers des alternatives aux pièges deltas ?.....	13
C. Activités autour de l'essai	14
1. Comment déterminer la période de vol de la pyrale ?.....	14
2. Le BSV : Un outil d'information pour les agriculteurs	14

3.	La cage à émergence : un outil complémentaire au piégeage de la pyrale.....	15
4.	Mise en place d'un questionnaire pour l'étude du paysage.....	15
III.	Résultats :	16
A.	Observations du piégeage.....	16
B.	Observations du paysage.....	17
C.	Le modèle simplifié.....	19
D.	La cage à émergence	20
IV.	Analyse et discussion	20
A.	Des conditions de piégeage optimales ?.....	20
B.	Un lien avec le paysage difficile à établir.....	22
C.	Une seconde génération en Pays de la Loire ?	25
D.	Comment améliorer le piégeage de la pyrale au niveau du réseau SBT ?.....	27
1.	Un piégeage à mettre en place avec un réseau performant.....	27
2.	Un piégeage dépendant du type de piège utilisé.....	28
3.	Mieux prévoir le début du piégeage... ..	30
4.	Le fonctionnement « idéal »	31
	Conclusion.....	33

Liste des figures

Figure 1. Cycle biologique de la pyrale du maïs	2
Figure 2. Proportion de diapausants en fonction de la photopériode (2a) et de la température (2b) (Derron et al, 2009).	3
Figure 3. Mesures préventives contre la pyrale du maïs (Auximore, 2014; Arvalis institut, 2012; Guide de culture, 2017).....	4
Figure 4. Schéma synthétique de la mobilité de la pyrale	4
Figure 5. Emergence et antécédent cultural (Stockel et al, 1986)	4
Figure 6. Différents pièges à phéromones (Pélozuelo et al, 2007).	7
Figure 7. Interaction entre la pyrale et son environnement	11
Figure 8. Photos du piège delta (à gauche) et du piège nasse (à droite).....	12
Figure 9. Placement des pièges et rotation	12
Figure 10. Photo du piège lumineux de l'essai 2018	12
Figure 11. Description du piège connecté	12
Figure 12. Zones climatiques en Pays de la Loire.....	12
Figure 13. Cage à émergence de l'IUT (Source: IUT La Roche-sur-Yon).....	12
Figure 14. Captures de pyrales dans les différents pièges de l'essai 2018	15
Figure 15. Résultats statistiques sur les données générales de l'essai.....	15
Figure 16. Proportion de mâles et de femelles dans le piège lumineux en comparaison des captures de pyrales dans les pièges à phéromone de la zone climatique 3.....	15
Figure 17. Comparaison des captures de pyrales en zone 3 et dans l'essai.....	15
Figure 18. Courbes de vol de la pyrale dans l'essai (zone 3)	15
Figure 19. Effet du maïs en tant que précédent cultural sur les captures de pyrales de l'essai	15
Figure 20. Période de vol de la pyrale estimée et observée.....	15
Figure 21. Dates d'apparition des stades physiologiques de la pyrale en fonction des zones climatiques	15
Figure 22. Comparaison entre la cage à émergence et le piégeage en zone 1	19
Figure 23. Présentation des années climatiques (Arvalis info, 2018).....	19
Figure 24. Bilan climatique 2018 en Pays de la Loire.....	20
Figure 25. Décalage entre piège à phéromones et piège lumineux en fonction de la proportion de mâles et de femelles.....	21
Figure 26. Adéquation entre vol prédit et vol observé	25
Figure 27. Capture des pyrales du réseau SBT 2018.....	21
Figure 28. Modélisation de l'allure de la courbe de vol en fonction de la proportion d'uni- et de bivoltine (Derron et al, 2009).	21
Figure 29. Adéquation entre vols observés et vols prédits en 2016	21
Figure 30. Adéquation entre vols observés et vols prédits en 2017	21
Figure 31. Les différents climats en Pays de la Loire (Météo France).....	27
Figure 32. Dates de franchissement des seuils de sommes de températures en base 10	25

Liste des tableaux

Tableau 1. Symptômes observables imputables à la pyrale (Arvalis Institut, 2012; Guide culture, 2017).....	4
Tableau 2. Comparaison de trois types de pièges (Pélozuelo et al, 2007; CR réunion Brigitte Frérot, 2015).....	7
Tableau 3. Types de pièges et localisation	12
Tableau 4. Date de semis et nombre de pyrales capturées en 2018.....	15
Tableau 5. Nombre de pyrales capturées en fonction de l'année.....	19
Tableau 6. Cumul des précipitations par semaine et par zone.....	20
Tableau 7. Résultats du comptage larvaire.....	25
Tableau 8. Nombre de pièges à phéromones (delta) par zone.....	21
Tableau 9. Nombre et pourcentage de relevés par zones	23

Liste des annexes

Annexe 1. Caractéristiques biologiques des différents stades biologiques de la pyrale.....	I
Annexe 2. Nouvelles perspectives contre la pyrale du maïs	II
Annexe 3. Localisation des parcelles de l'essai	III
Annexe 4. Partie pyrale du BSV du 24 juillet 2018	IV
Annexe 5. Questionnaire envoyé aux membres du réseau SBT.....	VII
Annexe 6. Résultats des trois pièges à phéromone de l'essai	IX
Annexe 7. Résultats statistiques (anova 1 facteur) sur l'efficacité des pièges au sein d'une même parcelle, et pour chacune d'entre elles	IX
Annexe 8. Résultats statistiques (anova 1 facteur) sur la comparaison entre les pièges des différentes parcelles.....	X
Annexe 9. Carte de localisation des pièges du réseau SBT Pays de la Loire	X
Annexe 11. Capture de pyrales selon différents pièges en zone 1 et 3.....	XI
Annexe 10. Courbes de capture de la pyrale par les pièges à phéromone sur les quatre zones du réseau	XI
Annexe 12. Présentation des données récoltées par le questionnaire sur le paysage	XII
Annexe 13. Décalage entre dates normales et dates observées	XIII
Annexe 14. Résultats statistiques (anova à un facteur) sur la position des pièges dans chaque parcelle	XIV
Annexe 15. Courbes de vol de la pyrale en fonction du type de piège et de la zone en 2016.....	XIV
Annexe 16. Courbes de vol de la pyrale en fonction du type de piège et de la zone en 2017.....	XV

Liste des abréviations

BSV : Bulletin de Santé du Végétal
OAD : Outil d'Aide à la Décision
SBT : Surveillance Biologique du Territoire

Remerciements

Je souhaite remercier ma maîtresse de stage, Adeline Chastrusse, qui m'a permis de réaliser ce stage, et d'en connaître davantage sur la pyrale. Je la remercie également pour sa disponibilité, son aide, le partage de ses connaissances et sa gentillesse.

De même, je remercie tous les employés de l'antenne d'Ancenis, pour leur gentillesse, leur aide et leur bonne humeur toujours au rendez-vous !

Pour finir, je remercie également les salariés de la chambre d'agriculture des Pays de la Loire que j'ai côtoyé pendant ces six mois, les membres du réseau SBT ainsi que d'autres partenaires qui m'ont partagé leurs connaissances et compétences avec bienveillance.

Introduction

Les Pays de la Loire sont une région française située dans l'Ouest de la France. Elle présente un climat océanique doux, ce qui signifie des hivers doux et des étés chauds. Cette dernière est traversée par la Loire et ses affluents, ce qui explique la présence de nombreuses zones humides, et justifie la prédominance de prairies et d'élevage. En revanche, la maïsiculture est bien présente dans cette région, soit pour la production de grains (8% de la production française en 2016 (Agreste 2017)), soit pour la production fourragère (20% de la production fourragère française en 2016 (Agreste 2017)). C'est pourquoi la pyrale du maïs est un sujet de questionnements parmi le monde paysan ligérien. En France, les effets du changement climatique se traduisent par une extension géographique et une accélération des cycles de reproduction du ravageur (Lorgeou et al, 2009). La conclusion générale affirme qu'avec le réchauffement climatique, la pyrale va pouvoir s'installer et se développer dans des endroits où elle ne pouvait le faire avant, ce qui augmenterait la pression qu'elle exerce partout où elle se trouve.

Dans un souci d'amélioration continue, d'adaptation au ravageur, cette étude s'inscrit dans le cadre du Bulletin de Santé du Végétal (BSV) en lien avec Écophyto. Le BSV est un outil gratuit qui fournit une analyse de risque objective sur l'état sanitaire des parcelles. Le piégeage se doit d'être précis et fiable, afin de garantir les informations qu'utiliseront les agriculteurs pour lancer ou non les traitements (efficaces sur une courte période ciblée) sur leur maïs.

Comment améliorer le piégeage de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, au sein des Pays de la Loire, tout en intégrant l'impact du positionnement des pièges et du paysage sur ces derniers ?

L'amélioration du piégeage comprend plusieurs volets concernant essentiellement la mise en place du protocole expérimental sur la comparaison des différents types de pièges, mais aussi son positionnement en lien avec l'environnement qui l'entoure. Les données obtenues seront présentées, suivi d'une discussion sur la pertinence des observations émises.

- (1) Légaré et al, 2013
- (2) DRAAF Bourgogne Franche-Comté
- (3) Ephytia
- (4) Bodilis, 2014
- (5) Auximore
- (6) Capinera et al, 2014

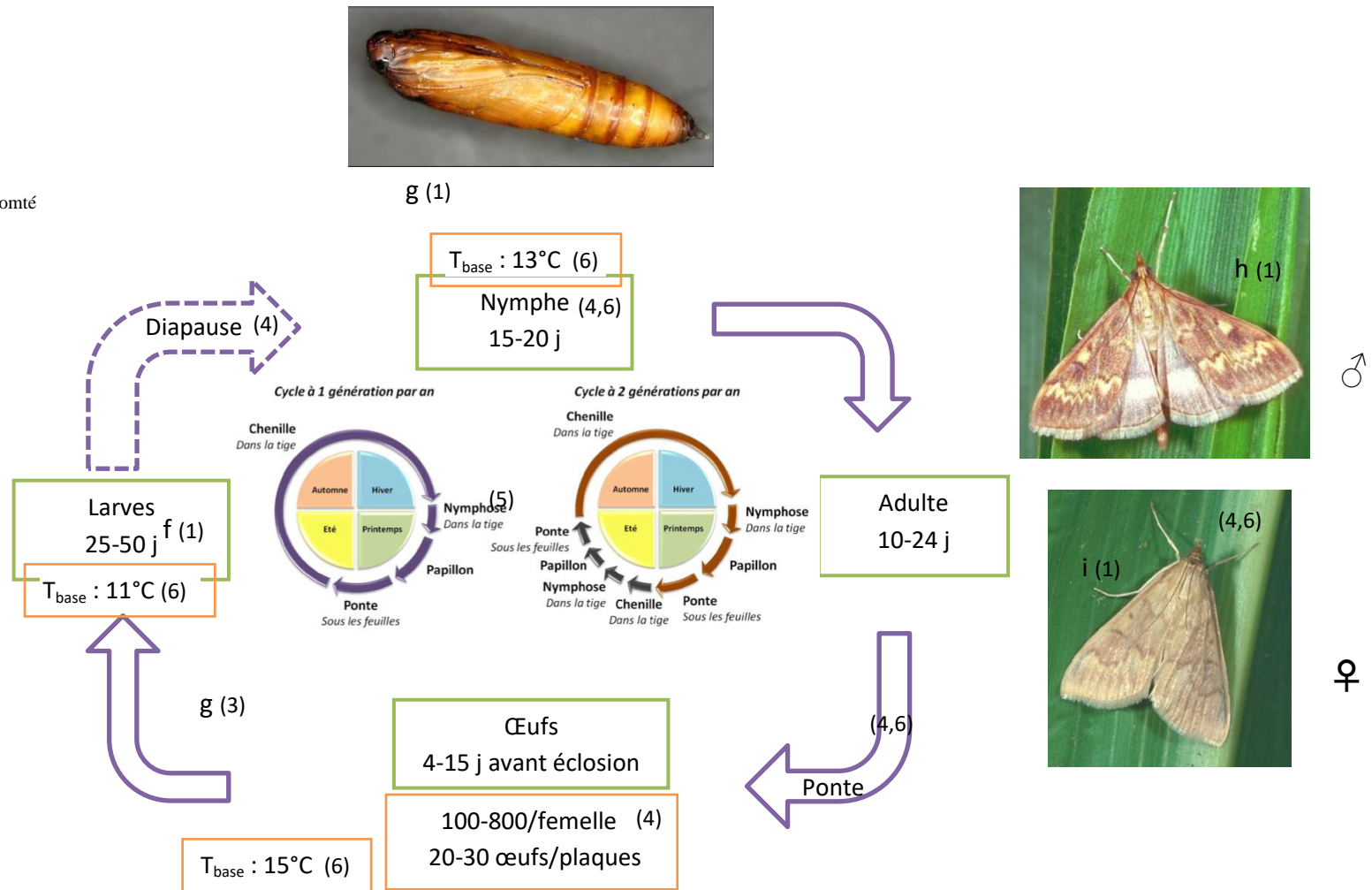
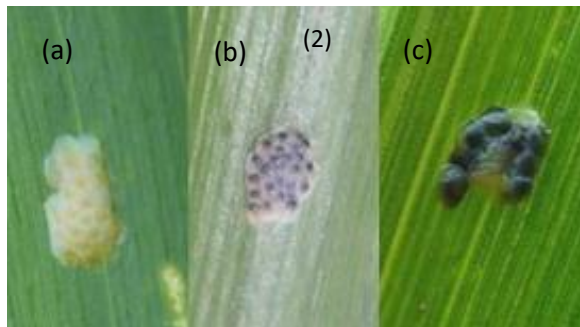


Figure 1. Cycle biologique de la pyrale du maïs



- (a) Œufs pondus depuis quelques jours
- (b) Œufs prêt à éclore (pointes noires représentant les têtes des larves)
- (c) Œufs parasités par Trichogramma

I. *Ostrinia nubilalis*, un des principaux ravageurs du maïs

A. Les caractéristiques de la pyrale du maïs

Dans le cadre de la lutte contre la pyrale du maïs, connaître le ravageur, son cycle biologique et ses principales caractéristiques permet de mieux appréhender son comportement dans le but d'améliorer le piégeage de ce dernier.

1. Les caractéristiques biologiques :

Les principales caractéristiques des œufs sont présentées dans l'annexe 1. La ponte des œufs, favorisée par une hygrométrie élevée (Capinera, 2014 ; Ephytia 2018 ; Bodilis, 2014 ; Auximore, 2014), s'effectue généralement sur les faces inférieures des feuilles (Capinera, 2014 ; Auximore, 2014). On peut retrouver des ooplaques (amas irrégulier d'œufs) à l'aisselle des feuilles, parfois sur les tiges (Auximore, 2014), et même sur les épis (Arvalis institut, 2012).

Après éclosion des œufs, les larves, dont une description est fournie dans l'annexe 1, apparaissent. Environ la moitié des larves vont quitter le pied natal pour un pied du même rang dans un rayon de 0.5 mètre (Oyediran et al, 2016). Les larves pénètrent à l'intérieur du cornet, et s'installent à la base pour s'alimenter des feuilles enroulées, qui présenteront des perforations caractéristiques (Ephytia 2018). Le dernier stade larvaire se réfugiera dans le collet pour passer l'hiver (Arvalis institut, 2012). Seulement entre deux et cinq pour cent de la population des larves survivent et deviennent adulte (McLeod, 1981).

La larve du dernier stade entre en dormance (la diapause), et va passer l'automne et l'hiver dans un tunnel creusé dans la tige. La durée des différents stades (cinq au total) peut aller jusqu'à 50 jours mais évolue en fonction des températures, et des conditions variables d'année en année (Capinera, 2014).

C'est seulement au printemps suivant (Avril-Mai) que la larve se transforme en chrysalide (caractéristiques biologiques dans l'annexe 1). L'extrémité de l'abdomen porte des épines recourbées utilisées pour accrocher la nymphe à sa chrysalide (Capinera, 2014). La sortie des adultes s'échelonne sur un mois avec un maximum vers le 10 juillet (Ephytia 2018).

Sous sa forme adulte, la pyrale ressemble à un papillon, dont la description est détaillée dans l'annexe 1. La période de préoviposition est d'environ 3.5 jours, la femelle pondra sur une période de 14 jours avec en moyenne 20 à 50 œufs par jour. Pour fertiliser l'ensemble de ses œufs, la femelle va s'accoupler avec plusieurs mâles, on parle de polyandrie. C'est à dire que plus les accouplements sont nombreux, plus la fécondité et la fertilité des œufs augmentent. En revanche, l'espérance de vie des mâles et des femelles diminue après chaque nouvel accouplement (Fadarimo et al, 1999). Le pic des vols, en fonction des régions, est entre juin et fin juillet pour la monovoltine, et à la mi-juin et mi-août pour la bivoltine (Ephytia 2018).

Le schéma (Figure 1) reprend certaines informations vues auparavant, en ajoute d'autres afin de dresser une vision synthétique du cycle biologique de la pyrale.

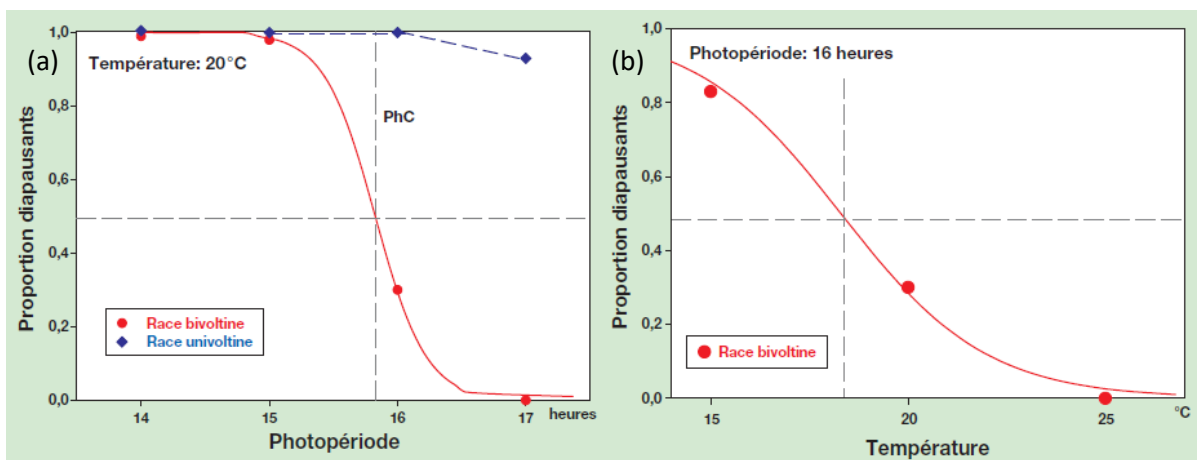


Figure 2. Proportion de diapausants en fonction de la photopériode (2a) et de la température (2b) (Derron et al, 2009).

2. Diapause :

La diapause est l'arrêt ou le ralentissement temporaire du métabolisme qui intervient à un stade génétiquement défini. Il s'agit d'une adaptation vitale permettant à des espèces de survivre dans des conditions hostiles et de rester en synchronisation avec le développement de leur plante hôte. C'est une anticipation en réponse à des stimuli environnementaux. La diapause est divisée en trois phases : l'induction, la diapause (arrêt du métabolisme), la postdiapause qui est l'intervalle entre la sortie du froid des larves du cinquième stade (150 jours à 4°C) et 50% de pupaison (Derron et al, 2009).

La diapause est induite par une exposition aux jours longs au dernier stade larvaire, mais il y a aussi une composante génétique (Capinera, 2014). En effet, suite à des tests d'hybridation et de rétrocroisement, il apparaît que la diapause est un héritage lié au sexe du parent, à savoir le mâle, et est contrôlé par un faible nombre de loci. Mais les résultats montrent également une unique réponse à la diapause, ce qui souligne une synchronisation des pyrales avec leur écosystème (Ikten et al, 2011). Sous les conditions naturelles, la diapause larvaire devient endocrinalement compétente vers fin Janvier, et requiert uniquement des températures au-dessus de 10°C pour commencer le développement (McLeod, 1981). Les larves sont très résistantes au froid (grâce au glycérol) et passe cette période dans les débris végétaux (Ephytia 2018). Cette accumulation de glycérol n'est possible qu'avec une induction par le froid (et non hormonale), acquise lors de la mue entre le quatrième et cinquième stade (Nordin et al, 1984). La diapause est quant à elle, largement régulée par une hormone juvénile (Yagi et al, 1976).

3. Voltinisme :

Le nombre de de générations diffère en fonction des pays (une à deux en France, peut aller jusqu'à trois ou quatre dans certains états des USA). Cela dépend fortement du temps, et le nombre de générations s'adapte aux conditions climatiques locales (Capinera 2014). Les monovoltines et multivoltines peuvent co-habiter, mais les deux formes se distinguent par la durée de la postdiapause et par la photopériode critique (PhC) induisant la diapause. La bivoltine se distingue par une postdiapause et une PhC à 20°C (mais aussi à d'autres températures) plus courtes par rapport à la monovoltine qui permet de faire une deuxième génération sous certaines conditions (combinaison d'un seuil de température, et d'une photopériode donnée).

La photopériode critique (PhC) est la photopériode qui induit 50% des larves du cinquième stade à entrer en diapause (Derron et al, 2009). Au moment de la PhC (Cf Figure 2a), entre 15 et 25°C, chaque degré supplémentaire diminue le taux d'induction de la diapause de 8%. C'est pourquoi dans certaines conditions, l'univoltine peut engendrer une deuxième génération (Derron et al, 2009 ; Guide de culture, 2017). Les conditions d'induction de la diapause opèrent sur les larves des troisième et quatrième stades, et au cinquième stade l'induction est irréversible. Pour la race bivoltine, pour une photopériode donnée, plus la température est élevée, moins la proportion de diapausants est élevée (Cf. Figure 2b). A noter que les informations précédentes sont des données acquises en laboratoire. (Derron et al, 2009).

De 10-12 feuilles à la floraison	De la floraison à la maturité
Perforations des feuilles, symétriques par rapport à la nervure centrale, en aspect « coup de fusil » Présence de sciure à l'aisselle des feuilles Présence de larves sur les feuilles	Casse des tiges, du pédoncule, de la panicule, chute de l'épi Présence de sciure Présence de larves au niveau du pédoncule, de l'épi.

Tableau 1. Symptômes observables imputables à la pyrale (Arvalis Institut, 2012; Guide culture, 2017).

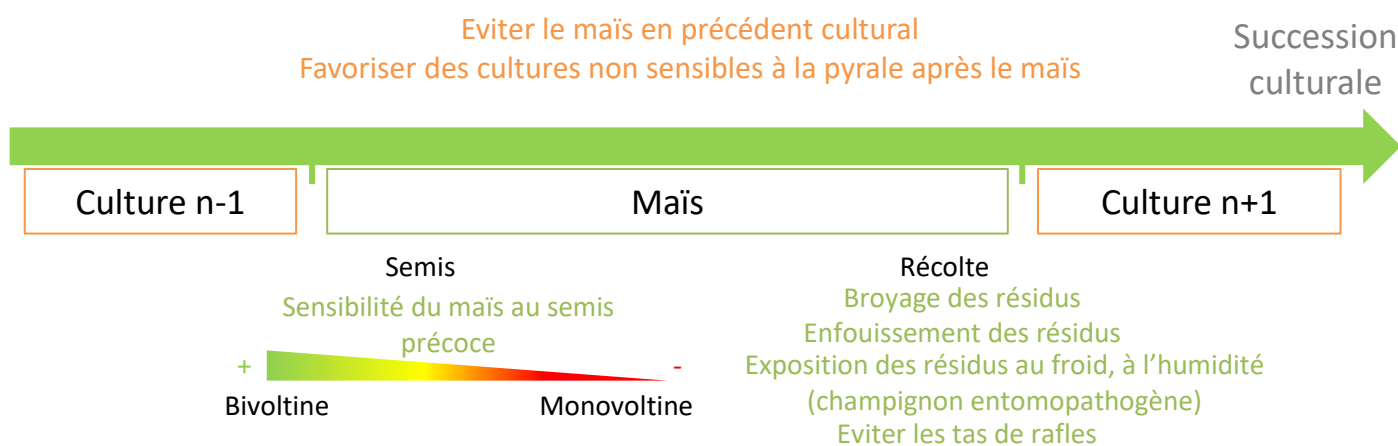


Figure 3. Mesures préventives contre la pyrale du maïs (Auximore, 2014; Arvalis institut, 2012; Guide de culture, 2017)

4. Race :

La pyrale est composée de deux sous-groupes majoritaires : la race Z et la race E (Derron et al, 2009). Bien qu'il s'agisse de populations sympatriques (les races peuvent cohabiter) (Pélozuelo et al, 2007 ; Derron et al, 2009), la reproduction entre ces groupes est restreint par un isolement. Cet isolement est réalisé soit par la communication phéromonale, soit par le voltinisme (l'accouplement entre les uni- et bivoltines se déroulent à des périodes différentes), soit par le choix de la plante hôte (Derron et al, 2009). La race Z se rencontre essentiellement sur le maïs, la race E est sur un spectre plus large (essentiellement le houblon et l'armoise, sûrement les premières plantes hôtes). Ces races se distinguent également par la composition des phéromones émises par les femelles et perçues par le mâle (Derron et al, 2009). La phéromone, le Z : E 11-tétradécényl acétate (Z : E 11-TDA), est un mélange de deux isomères¹ (DeRozari et al, 1977). En fonction de la race présente (races Z, E ou hybrides), le mélange des isomères sera différent, et donc la phéromone le sera également. (Réussir, 2008).

Il faut noter par ailleurs que les races Z et E sont déterminées génétiquement avec des séquences présentes sur un chromosome. Alors que les races uni- et bivoltines sont à la fois déterminées génétiquement et s'adapte aux conditions climatiques locales. C'est-à-dire que les pyrales vont s'adapter pour optimiser leur phénologie en fonction de la photopériode et de la température, et ainsi déclencher une génération suivante qui arrivera à son terme, ou alors attendre la prochaine saison en induisant la diapause (Coates et al, 2018).

5. La lutte contre *Ostrinia nubilalis*

Les attaques de la pyrale sont généralement identifiables par plusieurs symptômes, décrits dans le tableau 2 ci-contre. La nuisibilité de la pyrale est à la fois directe et indirecte ; les dégâts occasionnés peuvent aller jusqu'à la casse de la tige, de l'épi pouvant diminuer à la fois les rendements (jusque 30% (Ephytia 2018)) mais aussi la qualité sanitaire du grain (par une entrée de *Fusarium* facilitée) (Guide de culture, 2017).

Les mesures prophylactiques (Cf. Figure 3), souvent conseillées dans le but de réduire le stock larvaire pendant l'hiver, doivent être réalisées dans une dynamique locale plutôt que de manière individuelle, les conséquences en sont souvent bénéfiques (Arvalis institut, 2012 ; Guide de culture, 2017). En effet, du fait du pouvoir dispersif de la pyrale, les moyens utilisés doivent être réfléchis collectivement si l'on veut avoir un impact limité de la pyrale.

Dans le cas de la lutte directe, deux techniques sont généralement employées : un insecticide nommé Coragen® ou la lutte biologique, même si des recherches offrent de nouvelles perspectives sur la lutte (Annexe 2). Le traitement chimique actuellement utilisé est un diamide qui cible le « stade baladeur » des larves, ce qui correspond aux deux premiers stades larvaires (ANSES, 2018). La lutte biologique se fait à l'aide de Trichogrammes, ces

¹ Isomère : Deux isomères ont la même formule brute (ex : C₄H₁₀) mais avec un agencement des atomes différents. Ces derniers auront des propriétés physiques, chimiques différentes.

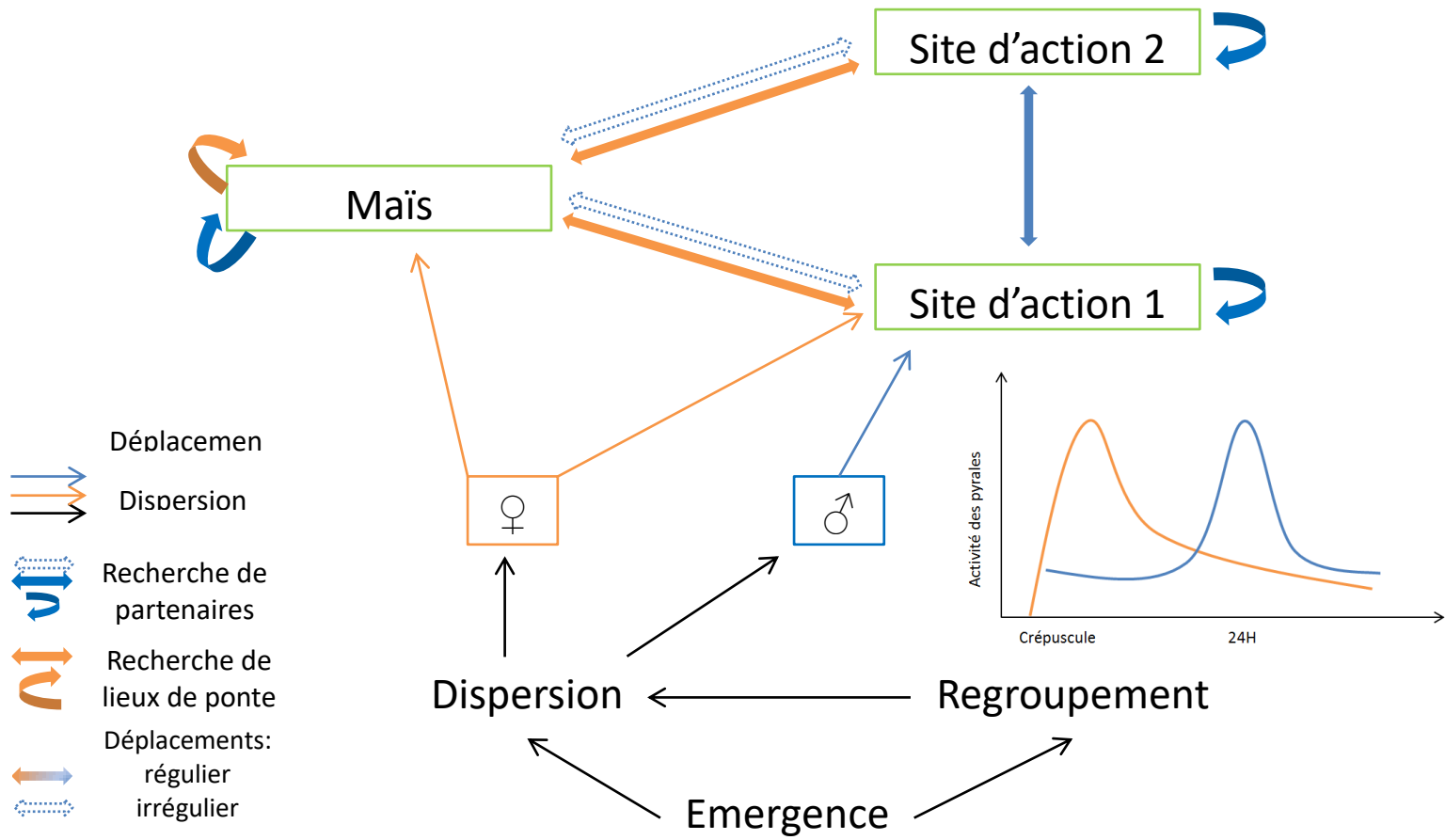


Figure 4. Schéma synthétique de la mobilité de la pyrale

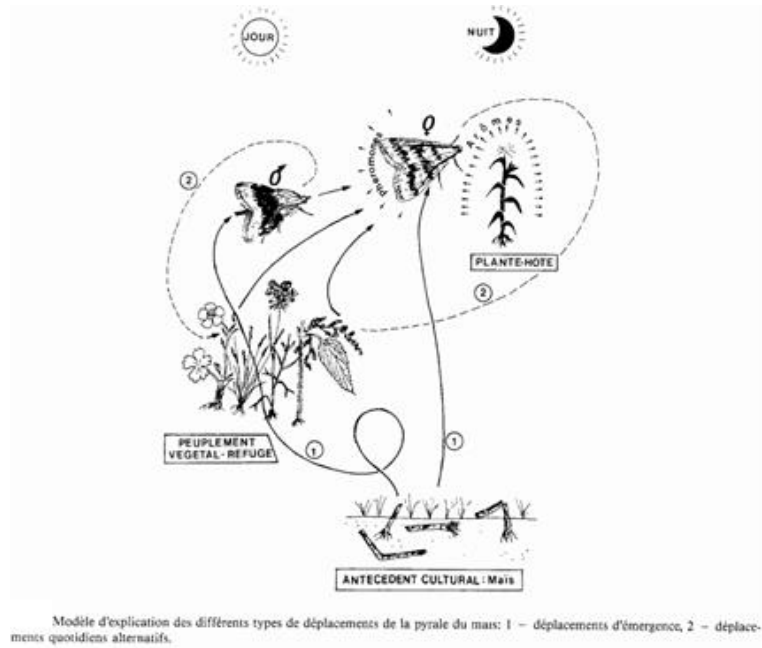


Figure 5. Emergence et antécédent culturel (Stockel et al, 1986)

micro-hyménoptères vont pondre leurs œufs dans ceux de la pyrale. Les larves de trichogrammes se développent en se nourrissant des larves de pyrales (Jean et al, 2009). De plus, l'application de trichogrammes doit être précise et calculée, en se référant au BSV, pour optimiser les dates de poses et adapter le nombre de diffuseurs en fonction du nombre de générations (Guide de culture, 2017). Chaque traitement est spécifique, car ces derniers sont calés sur certains stades de la pyrale (Guide de culture, 2017). En effet, le traitement, pour qu'il soit efficace, doit être effectué pendant le stade ciblé, qui est souvent une période de temps relativement courte. C'est pourquoi un piégeage efficace apporte des informations sûres aux agriculteurs pouvant ainsi décider d'utiliser la solution la plus efficace.

B. La pyrale, à la recherche d'un lieu de vie favorable

1. La pyrale, un papillon relativement mobile

Une fois que les conditions extérieures sont optimales, la pyrale émerge, c'est-à-dire qu'elle sort de sa chrysalide sous forme de papillon. Les études la décrivent comme très mobile (Cf. Figure 4), mais deux positions s'opposent. La première souligne le fait que les papillons émergents des chaumes vont se regrouper dans des zones herbacées adjacentes et se distribuer dans le paysage en peu de temps, c'est-à-dire la nuit après l'émergence (Sappington, 2005 ; Dorhout et al, 2008). L'autre position démontre que certains se regroupaient dans les zones adjacentes de végétation dense, et ne se dispersaient pas avant la nuit suivante, afin de se reposer ou s'accoupler (Showers et al, 2001 ; Dalecky et al, 2006).

Les femelles sont plus actives la nuit de l'émergence ainsi que les deux-trois nuits suivantes de leurs vies d'adultes (Rak Cizej et al, 2017). Chez les mâles, la durée des vols est au plus bas un jour après émergence, et augmente significativement après trois jours (Dorhout et al, 2008).

Les mâles présentent une errance naturelle et sont plus mobiles, ils migrent généralement vers des peuplements végétatifs refuge comme des bandes herbacées. Ils peuvent aussi se diriger vers le maïs attirés par les phéromones sexuelles des femelles (Stockel et al, 1986). Mais la plupart du temps, les mâles vont et restent dans les sites d'actions jusqu'à ce que la population de femelles de ce site soit dispersée, ensuite il se déplace vers un autre site (Showers et al, 1980). On définit les sites d'actions comme la zone où les pyrales se rencontrent, se reposent et s'accouplent. Les femelles se dirigent tôt vers le maïs et apparaissent moins mobiles (Figure 5) (Stockel et al, 1986). Ces dernières peuvent également voler vers un site avoisinant pour se reposer et s'accoupler, puis aller vers un champ de maïs pour pondre, elles retourneront soit au site originel, soit vers un autre site d'action (Showers et al, 1980). Les pyrales utilisent parfaitement leur espace afin d'obtenir une meilleure répartition des pontes dans la culture du maïs (Stockel et al, 1986). En lien avec la distribution spatiale des plantes et des mécanismes comportementaux, l'insecte veut éviter de « mettre ses œufs dans le même panier (Thiéry et al, 2015).

Le pic de vol des femelles survient immédiatement après le crépuscule, alors que le pic de vol des mâles survient durant une période de grande activité d'accouplement (entre 00h et 01h).

Après le crépuscule, les papillons quittent les sites d'actions, ils reviennent entre 22h et 24h (Sappington et al, 1983). DeRozari montre que les vols en début de nuit ne sont pas motivés sexuellement mais motivés par la recherche d'eau nécessaire pour la production d'œufs. Ces papillons s'en vont vers des zones herbacées courtes où l'eau libre se forme rapidement, et ce sont ces papillons, accompagnés de femelles prêtes à pondre, qui sont capturés en premier (DeRozari et al, 1977).

La capture des mâles reste plus importante que celles des femelles durant le reste de la nuit, indiquant que, pendant cette période, les mâles sont à la recherche des femelles. Une fois revenues, les femelles s'installent, diffusent des phéromones, et ne volent plus au-dessus de la zone comme les mâles le font. C'est pour cela que le taux de capture des mâles reste stable durant la nuit. Cette différence de mobilité explique la tendance des mâles à être plus nombreux que les femelles dans les sites d'actions. Cela suggère que, après la ponte dans les champs de maïs, toutes les femelles accouplées ne rentrent pas sur les sites d'action chaque nuit, mais que les mâles restent sur ces sites d'action à cause des phéromones relâchées par les femelles non accouplées (Sappington et al, 1983).

2. La prospection d'un lieu de vie tamponné

Les papillons ont besoin d'un microclimat approprié pour réduire les dégâts de la chaleur et la perte d'eau pendant les jours chauds (Pleasant et al, 1999). Le microclimat est le premier facteur déterminant de dispersion des pyrales (Hunt et al, 2001). Les papillons peuvent choisir ces zones grâce à des repères indiquant un microclimat plus tamponné pendant la journée (Pleasant et al, 1999). Ce besoin de milieu tamponné se traduit par une sensibilité nette aux conditions climatiques. En effet, les pyrales sont affectées par différents paramètres climatiques selon leurs stades physiologiques. Ces facteurs sont la chaleur, la pluviométrie (une faible pluviométrie peut retarder une émergence, mais une forte pluviométrie peut engendrer des pertes), l'hygrométrie, la sécheresse et le vent (deux facteurs défavorables à la ponte et à la survie larvaire) (Bodilis, 2014). Par ailleurs, le nombre d'œufs et de larves présents dans le champ peut être rapidement décimé par un changement rapide des conditions météo (Showers et al, 1980). Même si la ponte de l'insecte dans les champs augmente après une pluie ou un orage (DeRozari et al, 1977).

Dans certaines régions où peu de sites d'actions existent en bordure de champs, les pyrales peuvent rester dans le maïs irrigué (Cf. paragraphe sur l'humidité). C'est pour cela qu'une différence entre Juin et Août peut-être observée, où le développement de maïs est différent, et donc les microclimats aussi (Hunt et al, 2001). Alors que les prairies apparaissent moins accueillantes car plus exposé au vent, aux rayonnements solaires, aux températures, réduisant l'humidité relative (Pleasant et al, 1999). C'est pourquoi l'on retrouve peu de pyrales dans ce type de zones contrairement à des hautes bandes enherbées.

Généralement, on trouve que la dispersion des adultes est modulable en fonction de différentes variables comme la disponibilité du site d'action, les pratiques agronomiques et les interactions avec le cycle biologique du ravageur (Hunt et al, 2001).

3. Le vent, un facteur de dispersion

Le vent est un mécanisme essentiel de transport pour la dispersion (Showers et al 1995). Quand les adultes s'installent dans un site d'action et ensuite se dispersent, ils peuvent se déplacer sur une distance considérable avant de se réinstaller. Les adultes semblaient se déplacer de plusieurs mètres ou plusieurs kilomètres avant de s'installer (Showers et al, 2001 ; Dorhout et al, 2008).

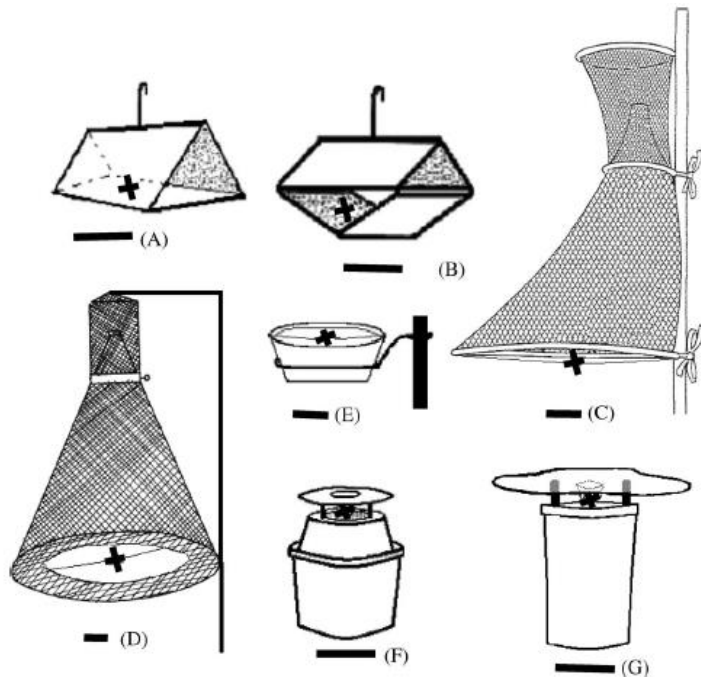
La distance et la direction de la dispersion de la pyrale semble être assistée par les écoulements d'air de surface (Showers et al, 2001). De plus, un vent doux est nécessaire pour fournir une direction au mâle de la pyrale dans la recherche de partenaires (DeRozari et al, 1977) ou dans la perception des phéromones.

Dans le cadre du piégeage, avec des conditions de vitesse de vents élevées (>14km/h) ou modérées, la performance des pièges (surtout le nasse) est meilleure quand ils sont abrités par un coupe-vent plutôt que lorsqu'ils sont du côté exposés au vent, ou en absence de coupe-vent. Dans de faibles conditions de vent (<7km/h), les captures sont meilleures sur des sites éloignées de coupes vent, même si il n'y a pas des captures significativement plus importantes du côté abrité du vent du brise vent (Reardon et al, 2006).

4. L'humidité, un paramètre pour la conservation des adultes et la reproduction

La formation d'eau libre contribue à l'agrégation d'adultes de pyrales et à l'initiation de l'accouplement tout comme la faible luminosité (DeRozari et al, 1977). L'eau est essentielle pour l'entretien, la production d'œufs et la fertilité (Hunt et al, 2001 ; Royer et al, 1991). La présence de rosée ou de gouttes de pluies stimule l'activité sexuelle des mâles et des femelles (DeRozari et al, 1977). L'appel des femelles commencent plus tôt et durent plus longtemps sous de bonnes conditions d'humidités relatives, le succès de l'accouplement augmente (Royer et al, 1991 ; Hunt et al, 2001). Par ailleurs, les mâles répondent de manière optimale à une combinaison de phéromones, d'odeurs de plantes, et une forte humidité dans une végétation dense (Mason et al, 1997). En effet, les papillons quittent les bandes de hautes et denses sétaires pour des zones herbacées courtes où la rosée se forme plus rapidement. En soulignant que la rosée dure plus longtemps sur la zone herbacée (7.3h) que sur le maïs (5.3h) (DeRozari et al, 1977) ; et que la formation d'eau libre est plus rapide chez le brome et la sétairie que dans une prairie. L'accouplement dépend de la disponibilité des deux sexes (compétition) combiné avec plusieurs paramètres physiques (température, humidité relative, éclaircissement). (Pleasant et al, 1999). Par exemple, les champs de maïs irrigués peuvent fournir un microclimat favorable (en terme d'humidité), la densité des plants est plus élevée, avec une canopée plus dense, et protectrice, réduisant la pénétration de la lumière et les mouvements d'air. Les adultes relâchés tendent à rester dans et près des champs irrigués, mais se dispersent en dehors des champs non irrigués. Même si l'efficacité de l'accouplement dans les champs de maïs en fin de saison n'était pas significativement différent que dans la sétairie (Hunt et al, 2001).

Ces résultats soulignent la susceptibilité du lépidoptère à la dessiccation (Royer et al, 1991). Des hautes densités de pyrales sont associées à des terrains humides et avec la présence de rosée ou d'eau libre (Royer et al, 1991 ; Hunt et al, 2001). C'est pourquoi la présence d'humidité est un facteur nécessaire à la présence de la pyrale (Royer et al, 1991) et donc au positionnement des pièges.



Pièges à phéromones :

A : Piège delta

B : Piège englué

C / D : Piège nasse

E : Piège eau

F / G : Piège sceau

La croix indique la position de la phéromone

Figure 6. Différents pièges à phéromones (Pélozuelo et al, 2007).

	Points positifs	Points négatifs
Piège lumineux	Très attractif	Manque de sélectivité Nécessité d'identification Relevé plusieurs fois par semaine
Piège delta	Sélectif	Plaque engluée vite saturée Compétition de la phéromone avec les femelles pyrales Moins adapté au vol de la pyrale
Piège nasse	Sélectif Adapté au vol de la pyrale	Capture variable

Tableau 2. Comparaison de trois types de pièges (Pélozuelo et al, 2007; CR réunion Brigitte Frérot, 2015)

C. Le piégeage, un outil de suivi de la population

1. Présentation des pièges

Depuis l'identification de la phéromone émise par la femelle *Ostrinia nubilalis*, les pièges à phéromones ont été considérés comme l'outil prometteur pour suivre les populations de ce ravageur (Pélozuelo et al, 2007). Il est à préciser que ce type de piège détermine l'émergence du ravageur, ainsi que son pic de vol (Pélozuelo et al, 2007), mais ne montre en aucun cas le niveau de pression du ravageur, et n'en réduit pas le nombre (Réussir 2008 ; Bodilis, 2014). Il est également souligné que les corrélations entre le nombre de captures et le nombre d'œufs / la pression larvaire, etc... sont assez floues, et les études menées sont assez contradictoires (Pélozuelo et al, 2007). Dans le contrôle des pyrales, le design des pièges est très important pour déterminer de l'efficacité du piège (Rak Cizej et al, 2017).

Une comparaison sur l'efficacité des pièges est souvent effectuée entre les différents pièges à phéromones, le piège lumineux. Les pièges à phéromones se distinguent en piège delta (avec une ou plusieurs plaques engluées), piège nasse, piège sceau, piège à eau (Cf. Figure 6). Ces derniers utilisent une capsule de phéromone synthétisée, attirant uniquement les mâles de la pyrale. Cette capsule contient un mélange de deux isomères d'une molécule : Z : E 11-TDA. Sachant qu'il existe des souches de pyrales différentes (Z, E, hybrides) qui répondent à un mélange de phéromones différent, ne pas utiliser le bon mélange correspondant à la souche locale réduit drastiquement le pourcentage de captures (Pélozuelo et al, 2007).

En termes de captures totales, le piège lumineux est le plus efficace (Pélozuelo et al, 2007 ; Rak Cizej et al, 2017). Il faudrait 15 pièges deltas pour capturer autant de pyrales qu'un seul piège lumineux. Le piège nasse peut capturer autant de pyrale par nuit que ce dernier. Cependant, si l'on regarde la dynamique locale les résultats sont assez fluctuants. Les pièges à phéromones et le piège lumineux ne révèlent pas la même description du vol car ils n'ont pas le même type d'attraction (Pélozuelo et al, 2007).

Dans le cas des pièges à phéromones, une compétition est suggérée entre le piège et l'appel des femelles. En cas de fortes populations, ces derniers sont considérés comme moins efficaces car il y a une plus grande probabilité que les mâles rencontrent des femelles plutôt que le piège (CR réunion Brigitte Frérot, 2015). Et le choix du mâle entre la phéromone synthétique et la femelle est encore inconnue (Pélozuelo et al, 2007).

Au sein des pièges à phéromones, il apparaît que le piège nasse soit le plus efficace en taux de capture (Pélozuelo et al, 2006 ; Pélozuelo et al, 2007 ; Réussir 2008 ; Rak Cizej et al, 2017).

En conditions réelles, le piège nasse capture approximativement six fois plus de mâles que les pièges delta (Pélozuelo et al, 2006). Le piège delta laisse penser qu'il n'est pas adapté au vol de la pyrale, car cette dernière peut survoler la zone engluée plusieurs fois sans se poser (Réussir 2008 ; Pélozuelo et al, 2006). Au total, 31% des mâles observés à côté du piège nasse sont capturés contre 2,5% observés à côté d'un delta (Pélozuelo et al, 2006). En effet la pyrale possède un vol ascendant, ce qui fait que le piège nasse apparaît le plus adapté par rapport au type de vol de la pyrale. Les différents points évoqués précédemment sont synthétisés dans le tableau 3.

2. Le choix du positionnement des pièges

La position des pièges en fonction de la végétation avoisinante, la culture présente, les coupes de la bande enherbées peuvent altérer l'efficacité du piège (Pélozuelo et al, 2007 ; Rak Cizej et al, 2017). Sur un site de piégeage, la hauteur du piège (ici cas du delta) influence la performance de la capture. Pour la première génération de la pyrale, seule une hauteur de 80 cm capturerait les mâles avec un maïs entre 30 et 100cm de hauteur. Pour la deuxième génération, avec des maïs plus développé et plus grand, les captures étaient meilleures à 240 cm. Un autre essai a montré que les pièges nasses étaient optimaux quand la base du piège était 10 cm en dessous de la canopée de la végétation environnante (Pélozuelo et al, 2007). A noter que dans l'étude de Pélozuelo (2007) (qui examine la littérature produite sur les différents pièges), les pièges sont dans le maïs, alors que les conseils actuels préconisent la pose dans la bande enherbée. En revanche, l'idée que les pièges soient placés juste en dessous de la canopée dans lesquels ils sont positionnés, revient assez souvent. En effet, les mâles sont plus susceptibles de répondre aux femelles appelantes au sein de la végétation plutôt qu'à celles au-dessus de la canopée. Les pièges placés juste en-dessous de la canopée dans les zones de bande enherbée piègent 3,8 fois plus que les pièges placés 50 cm au-dessus de la canopée. Les pièges placés au sein de la bande enherbée induisent une moindre variation dans les captures moyenne de papillons par rapport aux pièges placés au-dessus de la canopée. Cela indique qu'une meilleure estimation peut être acquise en plaçant les pièges au sein de la végétation, juste en dessous de la canopée (Mason et al, 1997).

A travers le peu d'études traitant de ce sujet, des résultats divergents, quant à la position des pièges, sont repérés. Une étude a montré que les pièges placés dans une zone enherbée de 90 à 120 cm de hauteur capturaient le plus de papillons. D'autres indiquent que les pièges placés au sein des champs capturaient plus que ceux présent dans les zones herbacées. Il est également indiqué que dans les premières périodes de vols, plus de papillons étaient capturés dans les zones herbacées et les premiers rangs plutôt qu'au sein du champ, alors que pendant le pic c'était l'inverse.

De manière générale, il est suggéré que ce positionnement doit être fonction des caractéristiques agro-systémiques dans lequel on se trouve (stade phénologique, cultures présentes, pression des adventices...) (Pélozuelo et al, 2007).

D. L'impact du paysage, significatif pour le piégeage ?

1. L'influence du paysage dans les dynamiques de populations

En ce qui concerne les approches des systèmes plantes-insectes, le contexte paysager est souvent ignoré (Tscharntke et al, 2003). Toutes les espèces ne sont pas influencées de la même manière par les types d'aménagements dans les champs (Etile, 2013).

Les insectes herbivores généralistes peuvent atteindre de plus fortes densités dans les cultures intensives (O'Rourke et al, 2011). Les populations des ravageurs sont très dépendants des

zones cultivées, surtout quand la proportion d'habitats semi-naturels est assez faible. Les zones cultivées constituent une zone de source potentielle de proies et prédateurs, de ressource (pollen, nectar), de diapause, d'hivernage. C'est pourquoi les effets des pratiques culturales (Travail du sol, fertilisation, date de semis, date de récolte, rotation, utilisation de produits phytosanitaires) sont non-négligeables sur les populations de prédateurs et ennemis naturels (Rusch, 2010). Même en l'absence de prédateurs naturels, la diversité des paysages peut réduire leurs populations. Avec l'augmentation des distances entre les cultures hôtes, les risques de dispersion (mortalité et réduction de la fécondité : utilisation d'énergie pour se développer plutôt que dans la reproduction) sont accrus (O'Rourke et al, 2011). La méta-analyse recensée qu'avec un paysage plus complexe 45% des études avaient montré une diminution de la population des ravageurs, 40% n'ont trouvé aucun effet (Rusch, 2010). Le piégeage dans différents contextes locaux pourrait alors permettre de déterminer quel(s) élément(s) du contexte paysager pourrai(en)t influencer *Ostrinia nubilalis*.

2. La zone herbacée, une zone privilégiée des pyrales ?

A l'échelle du paysage, les pièges doivent être placés dans des zones/bandes enherbées, au sein ou en dehors des champs, qui peuvent accueillir la population de pyrale. Même si le maïs est généralement la plante hôte de la pyrale, que le lépidoptère repère et sélectionne par le biais de certaines molécules chimiques ; il existe certaines plantes, qui sont non hôtes, et qui peuvent être convoitées pour certaines fonctions physiologiques qui ne se déroulent pas sur cette plante hôte. Elle peut ainsi masquer sa localisation contre d'éventuels prédateurs (Thiéry et al, 2015). Ces lieux sont réputés être des zones refuges, des zones de regroupements où les pyrales se reposent durant la journée et où des accouplements peuvent avoir lieu pendant la nuit (Hunt et al, 2001 ; Pélozuelo et al, 2007 ; Pleasants et al, 1999 ; Sappington T.W, 2005 ; Showers et al, 1980 ; Stockel et al, 1986). En effet, ces sites d'actions ont un microclimat avec une humidité plus favorable (Cf. paragraphe sur l'humidité) (Hunt et al, 2001). La nuit, les femelles pyrales quittent ces zones de repos pour aller pondre dans le maïs (Sappington et al, 2005). Par ailleurs, la motivation de l'attraction sexuelle à la phéromone est efficace sur ces sites (Pélozuelo et al, 2007). Quelques papillons sont retrouvés dans des zones herbacées en l'absence de maïs autour, mais une grande quantité est retrouvée à proximité des fossés avec au moins un champ de maïs avoisinant (Sappington, 2009).

Certains essais ont tenté de découvrir si la pyrale avait une préférence pour certaines espèces végétales présentes dans les zones herbacées. Les papillons se retrouvent essentiellement dans des bandes, entre 50 et 120 centimètres de hauteur, à proximité d'au moins un champ de maïs et d'un cours d'eau, (Showers et al, 1980). Les résultats montrent qu'il y a une corrélation positive entre le regroupement de papillons et la hauteur de la canopée. Pour la première génération, les papillons étaient plus nombreux dans la sétaire. Cette dernière avait 5,2 fois plus de papillons que dans le brome, qui lui-même avait 1,6 fois plus de papillons que dans les bandes type prairial. Il a été également conclu que les papillons préfèrent une hauteur de plantes supérieure à 60 cm (Pleasants et al, 1999).

Plusieurs espèces sont souvent citées, à savoir la sétaire, le brome et occasionnellement l'avoine, orge, etc. (Hellmich et al, 1998 ; Showers et al, 1980 ; Pélozuelo et al, 2007). Tout comme le fait d'une hauteur minimale (souvent supérieure à 60 cm) pour retrouver une présence significative de pyrale.

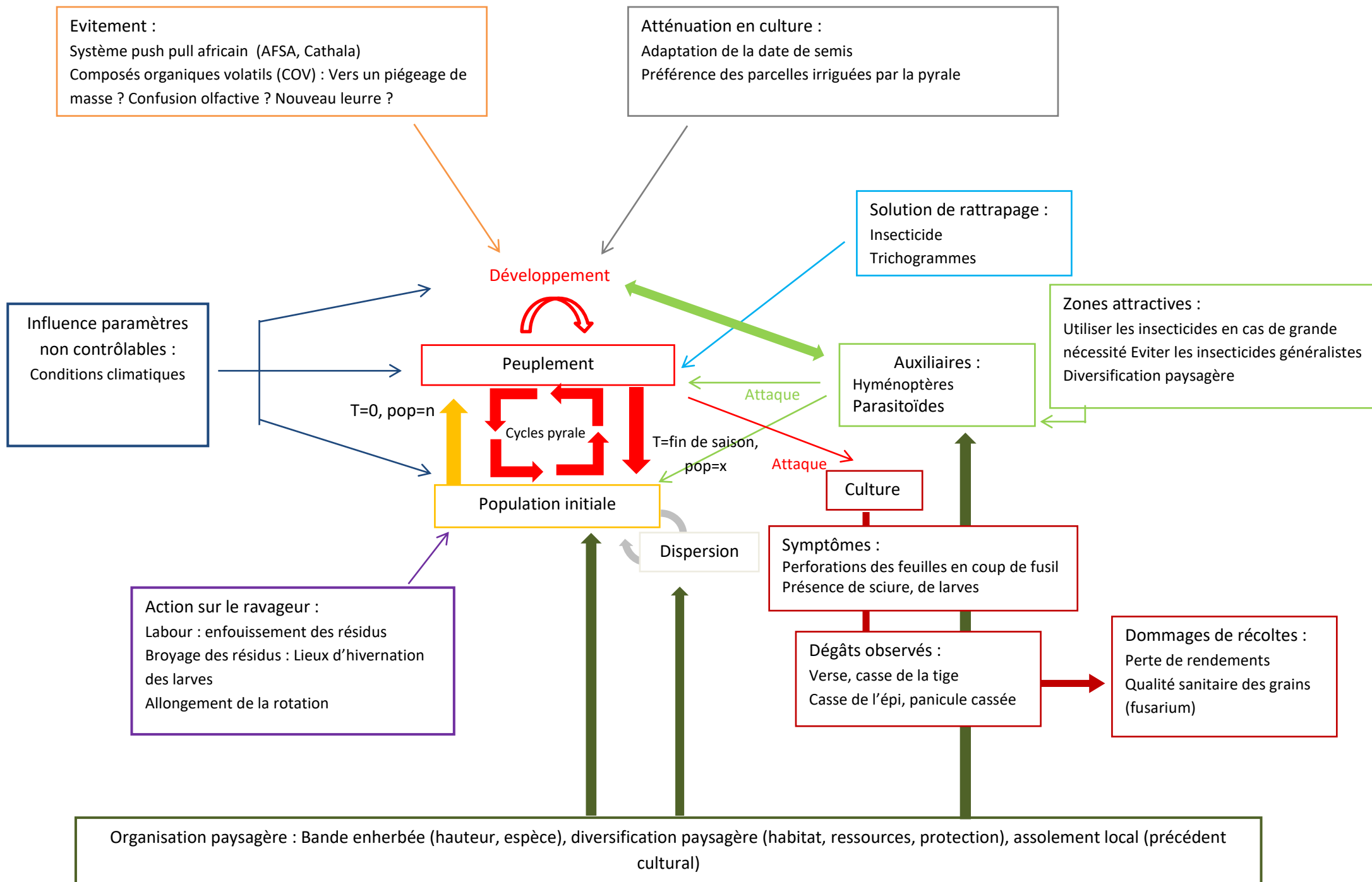


Figure 7. Interaction entre la pyrale et son environnement

3. L'antécédent cultural, un lieu d'émergence

Les captures réalisées au cours de l'essai de Stockel montrent clairement que les femelles quittent la parcelle où il y avait un maïs l'année précédente (Figure 5) pour aller vers le maïs adjacent (Stockel et al, 1986). Sachant que les larves passent l'hiver dans les débris végétaux (Ephytia, 2018), et qu'il est conseillé de broyer les résidus végétaux après la récolte du maïs (Guide culture 2017), cela confirme donc le rôle de l'antécédent cultural sur les infestations annuelles.

Le dernier schéma ci-contre (Figure 7) peut s'apparenter à un schéma bilan sur les interactions entre la pyrale et son environnement. La trame de fond du schéma provient du Guide pratique pour la conception de systèmes de cultures plus économes en produits phytosanitaires (Ministère de l'agriculture, 2011), et a été adaptée au cas de la pyrale du maïs. Il reprend les différentes idées évoquées au sein de la précédente partie, et permet d'avoir une vision plus globale sur le sujet.

II. Mise en place de l'essai :

A. Hypothèses :

Après une synthèse bibliographique (dont un extrait est présenté dans la première partie ci-dessus), plusieurs suppositions peuvent être réalisées en lien avec le sujet d'étude. Les différentes hypothèses sont présentées ci-dessous.

- ➔ Hypothèse 1 : Le maïs, en tant que précédent cultural, est un lieu d'émergence pour les pyrales du maïs.
- ➔ Hypothèse 2 : Le piège nasse est le plus efficace des pièges à phéromones.
- ➔ Hypothèse 3 : Différents facteurs du paysage jouent un rôle dans le piégeage.

La première hypothèse entend que le maïs, va abriter dans ses résidus de récolte les larves en diapause. Ces dernières seront alors une source pour l'année suivante, pour la culture de la parcelle dans le cas d'un maïs sur maïs, et/ou pour les cultures de maïs présentes sur les parcelles voisines.

La troisième hypothèse concerne l'influence du paysage sur le piégeage. Différents facteurs semblent impliqués dans l'efficacité de ce dernier. Cependant ces paramètres sont peu connus, et leurs degrés d'implication restent obscurs.

Les objectifs seront donc :

- Déterminer si le piège nasse est réellement le plus efficace des pièges à phéromones. Un test sera également effectué avec un piège lumineux et un piège connecté.
- Caractériser l'influence du positionnement du piège en interaction avec son contexte local. Cet environnement se distingue par l'effet du maïs en tant que précédent cultural, mais aussi par une identification de potentiels effets incertains.

Tableau 3. Types de pièges et localisation

GAEC	Agriculteur	Piège
3 moulins	Daniel Rupaud	2 Deltas (1 et 3 PE)
Chauvelière	Mathieu Cantaloube	Un nasse, deux Deltas (1 et 3 PE), piège connecté
Beauvais	Jeannine David	Un nasse, deux Deltas (1 et 3 PE)
Le Bois Guillaume	Mickaël Trichet	
3 chemins	Joël Dupas	



Figure 8. Photos du piège delta (à gauche) et du piège nasse (à droite)

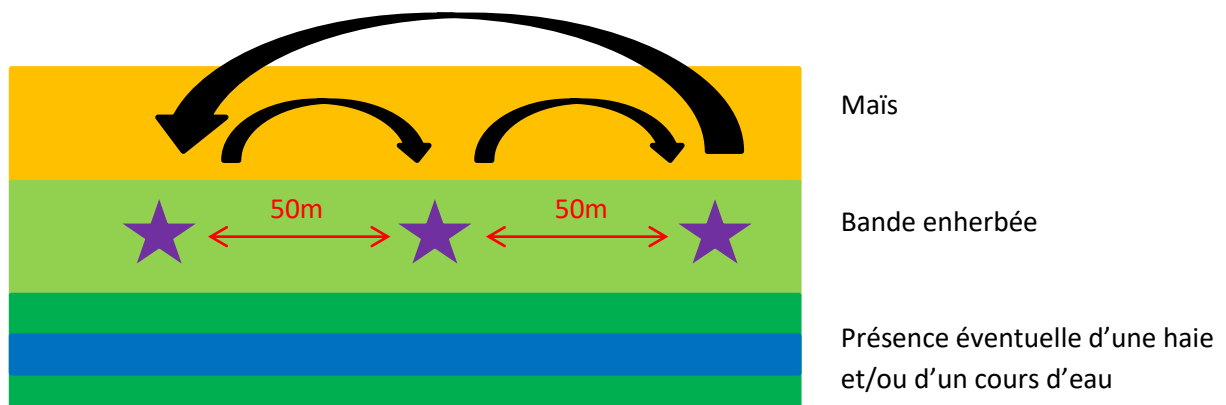


Figure 9. Placement des pièges et rotation

B. Matériel et méthodes

1. Protocole expérimental :

Le principe de l'essai repose sur la comparaison de plusieurs types de pièges afin de déterminer celui qui possède la meilleure efficacité. Il s'agit des pièges delta à une plaque engluée, piège delta à trois plaques engluées et du piège nasse. Les pièges lumineux et connecté sont également testés, et seront explicités dans la partie suivante. Les pièges sont placés sur cinq différentes parcelles non voisines mais au sein de la même commune (Annexe 3). Cela permet d'avoir des conditions pédoclimatiques assez similaires. Sur quatre parcelles, chacune possède trois pièges à phéromones comprenant le nasse, et les deux deltas. Une dernière parcelle ne contient que les deux deltas, car la bande enherbée ne permettait pas d'accueillir un troisième piège à phéromone (Cf. Tableau 3).

Le piège delta (Figure 8) a une forme de prisme triangulaire, avec des ouvertures sur les deux faces inclinées supérieures. Les pièges deltas utilisés sont des pièges Bioprox sous licence INRA. Il est suspendu à une hauteur d'environ 80-100 centimètres de hauteur par une tige souple. Dans le delta avec une plaque engluée (le piège le plus utilisé dans le réseau SBT français), cette surface collante est positionnée sur la face horizontale, avec la phéromone au milieu de celle-ci. Pour le delta à trois plaques engluées, deux plaques engluées sont ajoutées sur les deux faces inclinées possédant les ouvertures. Cette distinction entre une et trois plaques engluées a été entreprise car la pyrale se positionne généralement sur les faces inférieures des feuilles en lien avec la caractéristique de leur vol ascendant.

Le piège nasse (Figure 8) est constitué de deux parties, la partie inférieure en forme de cône débouchant dans la partie supérieure en forme de cylindre. Ce cône se termine par un goulot d'étranglement, une fois passé ce cap, les papillons restent coincés dans la partie supérieure. Ce piège se base sur la capacité de la pyrale à avoir un vol ascendant. Une fois dans le piège, la pyrale peut difficilement ressortir. Les pièges nasses ont été récupérés d'un essai, effectué deux ans auparavant, durant lequel ils avaient été fabriqués.

Les pièges sont placés dans les bandes enherbées des champs de maïs. Toutes les bandes enherbées sont accolées à un fossé/ruisseau, et souvent à proximité d'une haie. Chaque piège est placé à une distance minimum de 50 mètres pour éviter que les pièges ne se concurrencent entre eux. Ces derniers effectuent une rotation (Figure 9) : ils sont déplacés chaque semaine, dans le même sens, afin que chaque piège ne reste pas à la même place et ainsi éviter un effet de position au sein d'une même parcelle.

Les pièges sont relevés tous les lundis, du 28 mai (semaine 22, date du premier relevé) au 20 juillet (semaine 30). Les résultats sont intégrés dans ceux du BSV. S'il y a présence d'une pyrale dans un des pièges, celle-ci est enlevée pour ne pas être compté la semaine suivante. Les phéromones sont changées toutes les deux semaines, et les plaques engluées quand la situation l'exige, c'est à dire quand la plaque est saturée ou qu'elle n'est plus suffisamment collante. L'essai a été terminé la semaine 31, mais certains pièges (les pièges à une plaque engluée et les nasses) sont conservés pour le suivi d'une éventuelle deuxième génération.

Pour information, les numéros de semaines utilisés tout le long du rapport correspondent aux semaines du BSV. Par exemple la semaine 20 comprend le mercredi au dimanche de la semaine calendaire numéro 19 ainsi que le lundi et le mardi de la semaine calendaire



Figure 10. Photo du piège lumineux de l'essai 2018

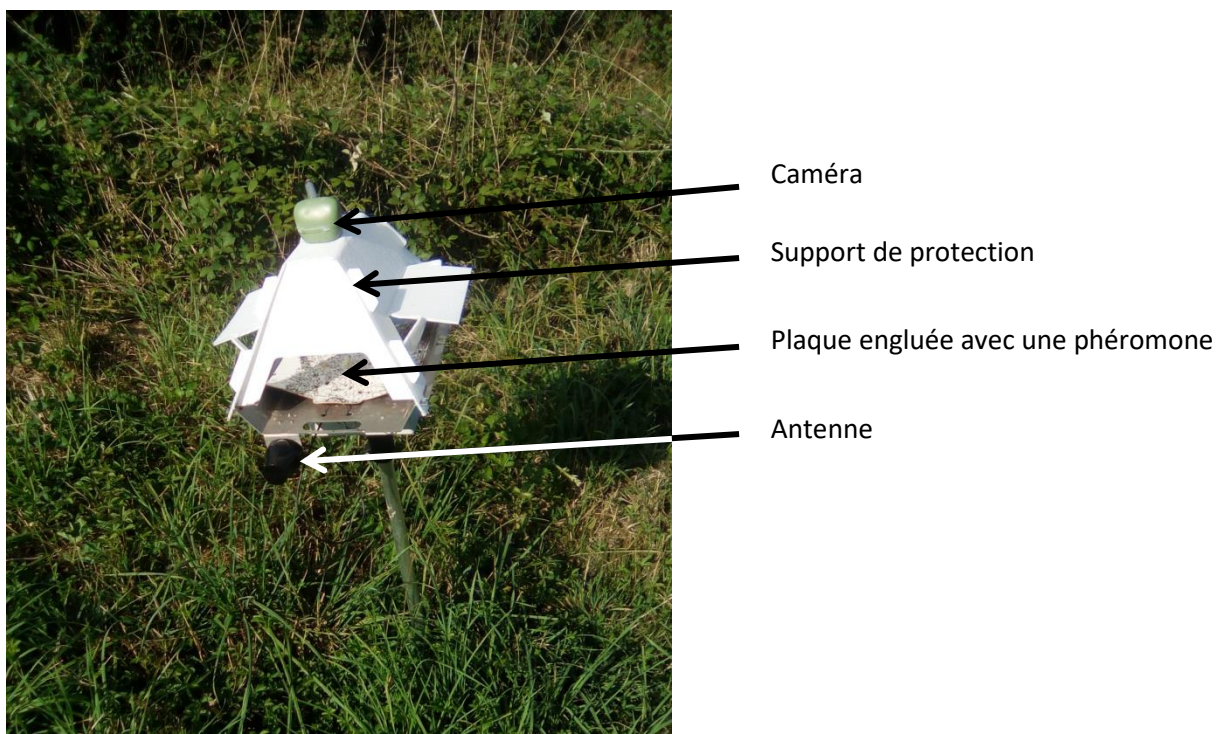


Figure 11. Description du piège connecté

numéro 20, le mardi étant la date de publication du BSV.

Un autre aspect de l'essai concerne l'impact du paysage sur le piégeage. Dans ce cas-ci, cet aspect est déterminé par l'effet du maïs en tant que précédent cultural. C'est pourquoi, certains pièges sont placés sur une parcelle avec au moins une parcelle avoisinante à un précédent maïs. Trois parcelles correspondent à ce critère. Les deux autres n'ont aucune parcelle voisine avec un précédent maïs.

2. Vers des alternatives aux pièges deltas ?

a. *Le piège lumineux : un piégeage non sélectif*

Le piège lumineux (Figure 10) fonctionne grâce à un néon, et sa lumière bleue, qui allumé à certains créneaux nocturnes, va attirer les insectes présents autour de ce dernier. Durant l'essai, le piège est allumé entre 21h30 et 24h00 puis entre 4h30 et 7h00. Il s'agit de périodes de faible luminosité correspondant au crépuscule et à l'aube. Les insectes volants vont se retrouver dans un goulot d'étranglement les menant dans un récipient les empêchant d'en ressortir. Ce piège est non sélectif, c'est à-dire qu'il va capturer les pyrales, mais aussi d'autres insectes comme des lépidoptères, des diptères, des coléoptères, etc. Il est alors nécessaire de savoir caractériser la pyrale afin de noter sa présence.

Le piège lumineux a besoin d'une source d'énergie constante pour pouvoir fonctionner, ce qui peut limiter le choix de son positionnement. Cela nécessite d'avoir une prise électrique à proximité et une rallonge suffisamment grande pour s'éloigner des éclairages parasites des habitations à proximité. Le piège est relevé trois fois par semaine (tous les deux jours). Il est placé sur une parcelle ne possédant aucun piège à phéromone, car ces derniers se retrouveraient lésés. En effet, les pièges à phéromones sont beaucoup moins attractifs que le piège lumineux.

Tout comme les pièges à phéromones, les résultats obtenus au cours de l'essai, du piège lumineux et connecté, seront transmis aux agriculteurs par l'intermédiaire du BSV, en mentionnant le type de piège utilisé.

b. *Le piège connecté : une stratégie digitale ?*

Le piège GLEEK (Figure 11) de la société Advansee suit le concept de suivre le piège en continu, à distance. Il possède une autonomie, un appareil photo, et une antenne. En paramétrant le piège, on peut obtenir plusieurs photos par jour de la plaque engluée. Le principe du piégeage reste le même que le piège à phéromone delta classique, avec un abri, une plaque engluée et une phéromone. Les résultats sont obtenus par l'intermédiaire d'un site internet sur lequel on peut retrouver les photographies réalisées aux heures programmées.

Ce piège nécessite néanmoins de changer les plaques engluées et les phéromones. Le piège est également soumise aux conditions de luminosité (il doit faire jour pour avoir une photo claire), à l'inclinaison de la plaque (pour éviter les photos floues). Le piège a été positionné

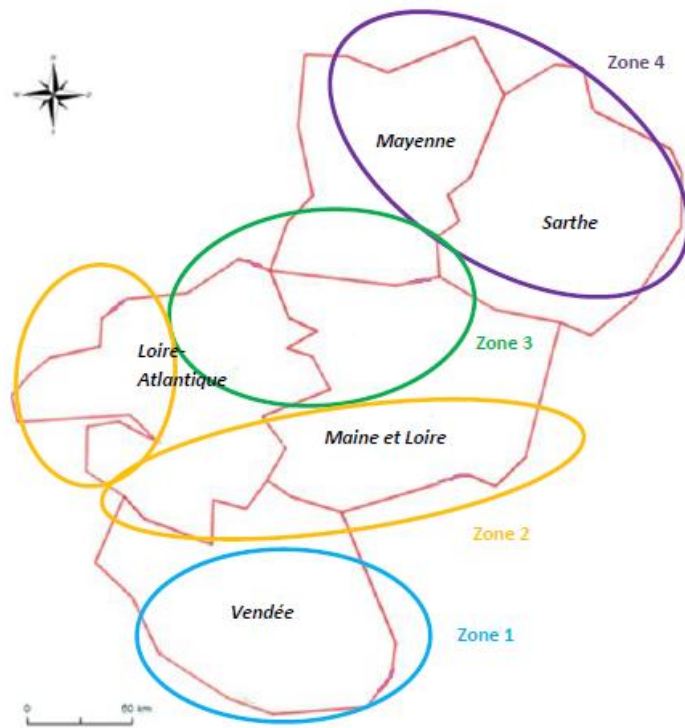


Figure 12. Zones climatiques en Pays de la Loire

sur l'une des parcelles de l'essai avec les trois autres pièges à phéromones à 50 mètres de l'un d'entre eux. Cependant, il restait toujours à la même place, et n'entraînait pas dans la rotation effectuée chaque semaine sur les pièges deltas et nasse. Une vérification était effectuée toutes les semaines, en même temps que les autres pièges, pour changer la plaque engluée si nécessaire, changer la phéromone, enlever les pyrales capturées.

C. Activités autour de l'essai

1. Comment déterminer la période de vol de la pyrale ?

Afin de prévoir l'arrivée éventuelle de la pyrale, et donc savoir quand positionner nos pièges, un modèle simplifié du développement de la pyrale en Pays de la Loire a été réalisé. Le but de ce dernier est d'attribuer à chaque stade de la pyrale une date. Pour cela, les sommes de températures en base 10 des stades physiologiques des pyrales ont été extraits d'une publication suisse (Derron et al, 2009). Chaque stade possède une fourchette de temps, exprimée en somme de température, dans lequel il est supposé se réaliser. Pour cette fourchette de temps, on va établir une date spécifique à la région Pays de Loire et ses zones climatiques. Cette date a été établie à l'aide de données météorologiques (de 2010 à 2017). On va alors prendre les températures moyennes quotidiennes (et non $\frac{T_{max}+T_{min}}{2}$) auxquelles on retranche la température de base (de la pyrale), qui est de 10°C. Une fois le calcul effectué, ces températures sont additionnées dans le but d'obtenir les sommes de températures en base 10, jour par jour.

Le modèle est divisé en quatre zones (Figure 12), qui représentent quatre zones climatiques différentes. Elles ont été distinguées afin d'obtenir des courbes de vols plus distinctes, et en adéquation avec ce qu'il se passe réellement, plutôt que de tracer des courbes par département. Ces zones ont été établies en fonction de conditions climatiques assez similaires :

- Zone 1 : Sud Vendée
- Zone 2 : Façade atlantique, sud de la Loire-Atlantique et sud Maine-et-Loire
- Zone 3 : Sud Mayenne, centre et nord Loire-Atlantique et Maine-et-Loire
- Zone 4 : Sarthe, nord et centre de la Mayenne.

Ce découpage débouche sur un décalage des courbes de vols lors du piégeage, il y a donc une date à toutes les centaines de degrés jours pour chacune des zones. Une mise à jour régulière était effectuée pendant la saison 2018, afin de déterminer à quelle somme de température base 10 nous pouvions être et donc à quel stade de la pyrale.

Pour information, la commune, où l'essai se déroule, est située en zone 3, tout comme celle où se situe le piège lumineux.

2. Le BSV : Un outil d'information pour les agriculteurs

Dans le cadre d'Écophyto, le réseau de la Surveillance Biologique du Territoire (SBT) est un réseau composé de plusieurs observateurs, provenant de structures variées et réparties sur toute la région, collectant des données sur différentes thématiques qui serviront pour le Bulletin de Santé du Végétal (BSV).

Tous les mardis, les observations des membres du réseau SBT sont collectées, et traitées pour être diffusées dans le Bulletin de Santé du Végétal (BSV) des Pays de la Loire. Chaque



Figure 13. Cage à émergence de l'IUT (Source: IUT La Roche-sur-Yon)

culture du moment contient une partie qui lui est propre avec différentes rubriques : évolution de la culture, maladies, ravageurs, et autres. La pyrale du maïs y est donc abordée. Toutes les informations (Annexe 4) concernant la pyrale sont présentées : nombre de pyrales capturées, pourcentage de pièges positifs, localisation des pièges, dynamique du vol sur les différentes zones. Le BSV est un OAD gratuit, qui fournit une analyse de risque, mais ne préconise aucun traitement. Il permet ainsi à l'agriculteur d'avoir toutes les données en sa possession, et donc d'agir en conséquence. D'autres informations sont présentées comme des méthodes alternatives (l'utilisation des trichogrammes), des précisions sur les ravageurs comme la biologie ou des éléments de reconnaissance.

La présentation des pyrales capturées, dans le BSV, se fait sous forme de graphique. En Pays de la Loire, on représente (Cf. Annexe 4) le cumul des pyrales capturées avec le pourcentage de pièges positifs (qui représente l'influence du nombre de pièges sur les captures totales). Des informations complémentaires commentent également les résultats présentés. Le nombre moyen de pyrales par piège n'est pas forcément optimal, il va être très dépendant du nombre de pièges. S'il y a trop de pièges, cela pourrait lisser la courbe, dans le cas contraire, on pourrait avoir une multitude de petits pics. D'autant que la fiabilité des pièges est augmentée lorsqu'ils se trouvent en réseau puisque cela peut limiter les défauts de certains pièges isolés (Frérot et al, 2015) C'est pourquoi cette présentation est conservée, notamment avec un nombre hétérogène de pièges par zones, qui ne fournirait pas une représentation fidèle de la zone.

3. La cage à émergence : un outil complémentaire au piégeage de la pyrale

Dans le cadre d'un projet étudiant tuteuré de l'IUT de la Roche-sur-Yon, une cage à émergence simplifiée a été suivie. La cage à émergence était autrefois la méthode utilisée pour suivre le vol de la pyrale par l'Etat. Le principe repose sur le suivi de l'émergence des papillons. Afin de suivre l'évolution du vol, on introduit dans la cage, qui représente un milieu clos et aéré, des cannes et épis de maïs récoltés de l'automne précédent, et supposés infectés par la pyrale. Lorsque le papillon sort, il est comptabilisé. La cage est considérée comme un outil relativement fiable et complémentaire au piégeage.

Les étudiants ont réalisé la cage par leurs propres moyens (Figure 13). Les boîtes sont ouvertes sur le couvercle et les flancs, ce qui permet une circulation d'air, d'eau (le fond est percé pour éviter la rétention d'eau), et le passage des rayons du soleil. Mais une moustiquaire empêche les insectes de s'échapper. Ils y ont inséré 32 tiges et 35 épis supposés infectés (encadré vert sur la Figure 13 ci-contre). Ces tiges et épis de maïs ont été prélevés pendant la campagne précédente et laissées dans des conditions naturelles tout l'hiver. La cage était relevée tous les jours entre fin-mai et mi-juin, les résultats nous étaient transmis quotidiennement.

4. Mise en place d'un questionnaire pour l'étude du paysage

À l'origine, la recherche de l'impact du paysage était plus concentrée sur l'effet du maïs en tant que précédent cultural. Mais la recherche d'autres paramètres a également été évoquée, et était plus libre quant à la méthode utilisée. Un questionnaire a été mis en place pour essayer de déterminer si certains facteurs environnementaux, en plus de l'effet du maïs en tant que précédent cultural, pouvaient influencer sur la qualité du piégeage. Le choix des questions

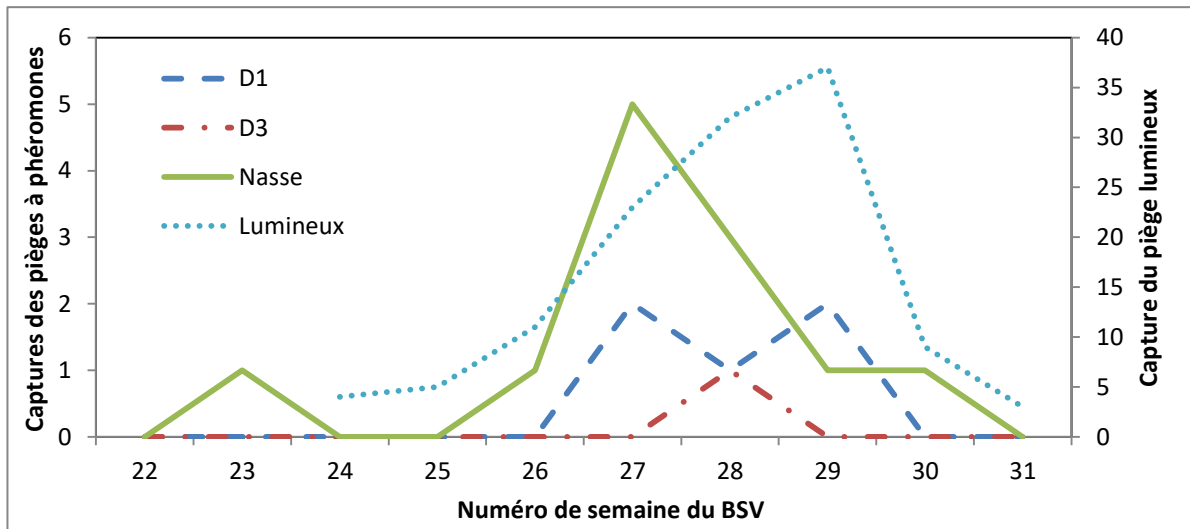


Figure 14. Captures de pyrales dans les différents pièges de l'essai 2018

```

Analysis of Variance Table

Response: parc$capture
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
parc$piege  2  2.2343  1.11714   6.3111 0.002412 **
Residuals 132 23.3657  0.17701
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Shapiro-wilk normality test

data:  res_parpci
w = 0.57573, p-value < 2.2e-16

Bartlett test of homogeneity of variances

data:  res_parpci by parc$piege
Bartlett's K-squared = 100.91, df = 2, p-value < 2.2e-16

$groups
      parc$capture groups
Nasse  0.3428571      a
D1     0.1000000      b
D3     0.0200000      b

```

Figure 15. Résultats statistiques sur les données générales de l'essai

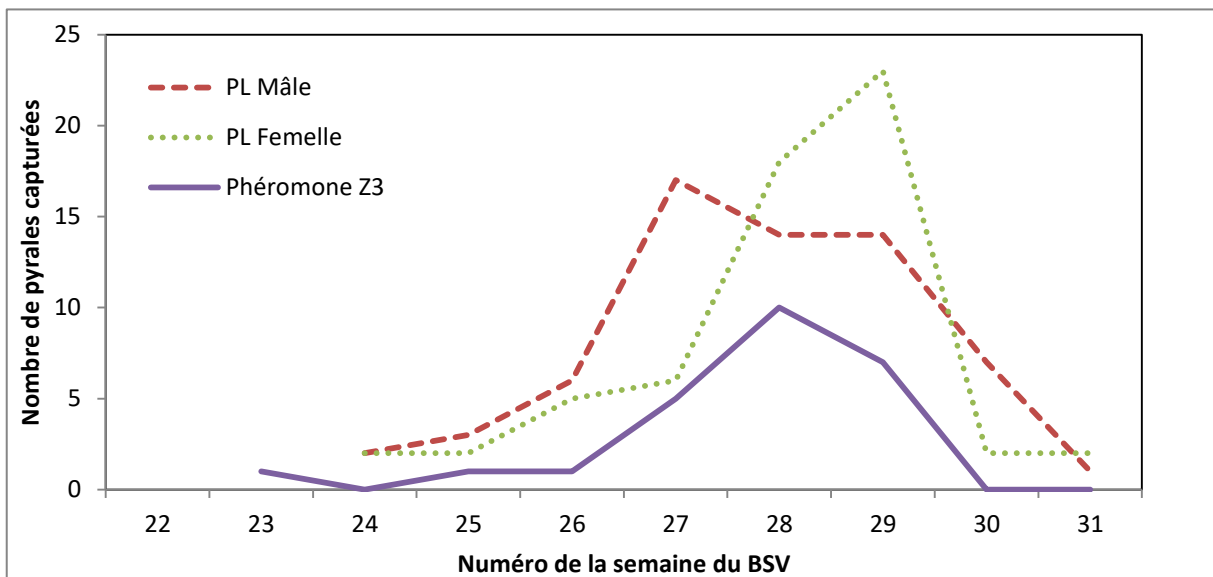


Figure 16. Proportion de mâles et de femelles dans le piège lumineux en comparaison des captures de pyrales dans les pièges à phéromone de la zone climatique 3

s'est posé autour de l'assolement local (par exemple la présence ou non de maïs en tant que précédent cultural, et le type de culture ou d'occupation des sols avoisinant la parcelle du piège) et de la mosaïque paysagère (présence et composition des bandes enherbées, de haies, de points d'eau, l'exposition au vent). Il s'agit de facteurs qui sont évoqués dans la bibliographie mais dont l'action sur le piégeage de la pyrale est encore incertaine.

Ce questionnaire (Annexe 5) a été envoyé aux membres du réseau SBT possédant un piège pyrale, pour obtenir un maximum de réponses et potentiellement trouver un point convergent. L'objectif étant d'avoir un minimum de 30 parcelles pour avoir une base de données suffisamment grande afin de réaliser quelques tests statistiques, dans le cas éventuel où un ou plusieurs éléments se détacheraient du lot.

En complément du questionnaire, des informations sont utilisées provenant d'une base de données commune à la région. Les observations des membres du réseau du SBT indiquent ce qu'ils ont notés dans un outil en ligne nommé VGObs. Ce dernier va compiler toutes les données de tous les observateurs pour tous les protocoles y compris celui de la pyrale du maïs. Pour le protocole « pyrale piège à phéromone » de nombreuses informations sont renseignées comme la localisation de la parcelle, le précédent cultural, la date de semis, le type d'agriculture, le nombre de pyrales capturées, etc. Cela va alors constituer une base de données pour tout le réseau SBT Pays de Loire. A partir de cette banque, les différents paramètres sont testés afin de trouver si certains peuvent influencer sur le piégeage et le nombre de captures.

III. Résultats :

A. Observations du piégeage

Les résultats de la comparaison de tous les pièges de l'essai 2018 sont présentés ci-contre. La figure 14 représente le nombre de pyrales capturées par semaine en fonction du type de piège. L'axe vertical de gauche comprend les pièges à phéromones, celui de droite représente uniquement le piège lumineux. Cette distinction a été mise en place dans un souci de visibilité des résultats. D1 et D3 correspondent respectivement aux pièges deltas avec une et trois plaques engluées. Un graphique supplémentaire a été ajouté en Annexe 6, afin de distinguer les courbes de capture du D1, D3 et du piège connecté. Le nombre de pyrales capturées a été relativement faible cette année. Le piège nasse a capturé le plus de pyrales pendant la saison parmi les pièges à phéromones.

Différents tests statistiques ont été réalisés, avec l'aide du logiciel RStudio, afin de déterminer si les résultats obtenus pouvaient être significativement différents. Le piège connecté a piégé peu de pyrales, il sera alors peu évoqué par la suite. Les pièges connecté et lumineux n'ont pas été compris dans les tests statistiques effectués : le piège connecté correspondait à un test, et le piège lumineux ne peut être comparé aux pièges à phéromone car ils n'ont pas la même source d'attraction.

Un test anova à un facteur a été réalisé sur une base de données qui contenait le nombre total de pyrales obtenues par piège et par semaine. Il existe une différence significative ($p=0.0024$, Cf. Figure 15) entre les pièges sur le taux de capture des pyrales. L'hypothèse de normalité des résidus a été vérifiée (Figure 15) par le test de Shapiro, et celle de l'homogénéité des variances par le test de Bartlett. Suite à cela, des groupes ont été établis (Figure 15) afin de

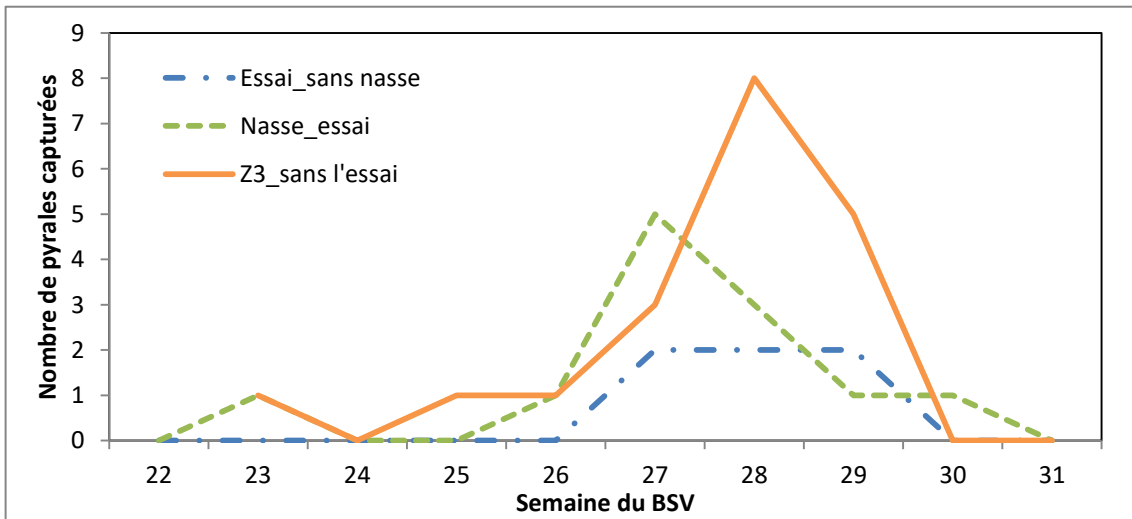


Figure 17. Comparaison des captures de pyrales en zone 3 et dans l'essai.

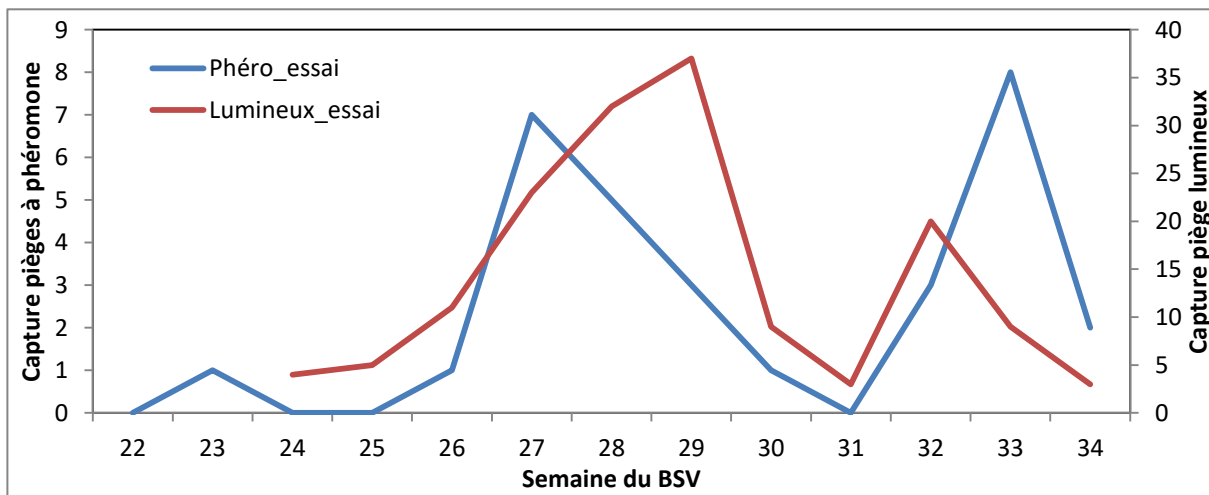


Figure 18. Courbes de vol de la pyrale dans l'essai (zone 3)

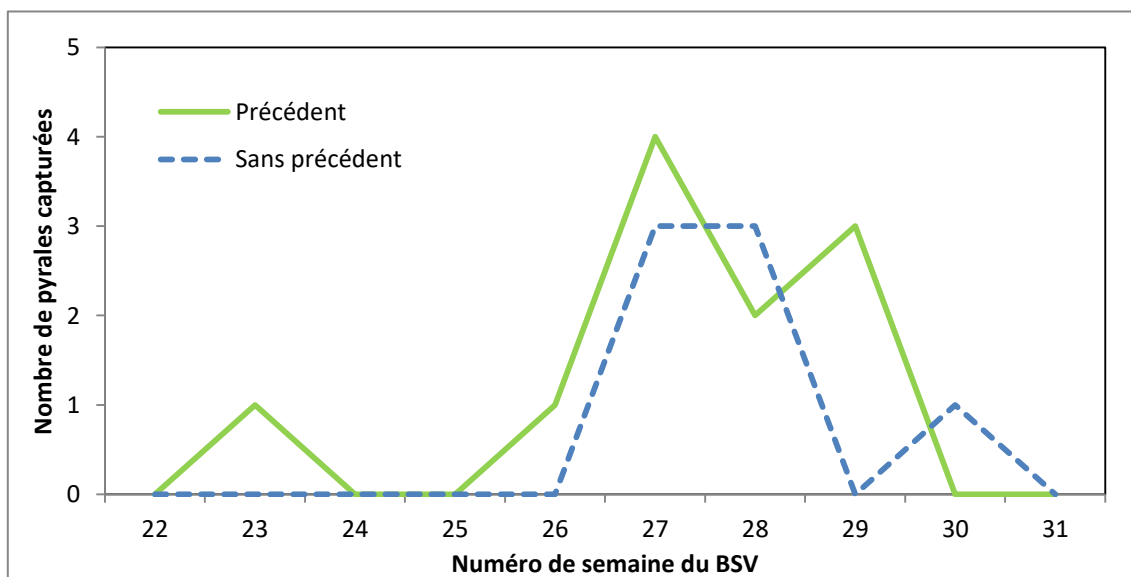


Figure 19. Effet du maïs en tant que précédent cultural sur les captures de pyrales de l'essai

distinguer l'efficacité des pièges sur cet essai. Le nasse apparait comme le piège le plus efficace comparé aux pièges delta à une et trois plaques engluées.

En parallèle, l'effet de la parcelle a été contrôlé par un test anova à un facteur et à deux facteurs (effet du piège et de la parcelle). Ces derniers sont revenus avec des résultats non significatifs.

Un dernier test a été effectué afin d'observer si une différence pouvait être démontrée entre les trois pièges d'une même parcelle et pour chaque parcelle ; puis comparer tous ces pièges entre eux de manière indépendante. L'objectif était de trouver si un piège s'était démarqué parmi tous les autres. Dans chaque parcelle, aucun piège n'est revenu significatif (Annexe 7), et il en était de même en comparant ces derniers entre eux (Annexe 8).

Avec le piège lumineux, les mâles et femelles ont été identifiées dans le but d'observer l'évolution des proportions au cours du piégeage. On remarque, avec la Figure 16, que la proportion de mâles est d'abord supérieure à celle des femelles, la tendance s'inverse en semaine 28, correspondant au pic du vol de la zone 3 du réseau (Phéromone Z3 sur la même figure). En parallèle, on note la diminution des captures des pièges à phéromones pendant le pic des proportions des femelles. Le réseau possède plusieurs pièges lumineux, malheureusement la distinction entre mâles et femelles n'est pas toujours effectuée. Il n'a donc pas été possible d'effectuer la même démarche, et observer si on avait cette même dynamique pour les autres pièges lumineux.

Des piégeages de pyrales ont également été mis en place dans toute la région par les observateurs de la SBT (Cf. carte en Annexe 9). Sur cette saison 2018, ce sont un total de 55 pièges avec environ 300 relevés sur 16 semaines, qui ont suivi la dynamique de la pyrale du maïs au sein des Pays de la Loire. Quatre pics de vols ont été clairement identifiés sur les quatre zones du réseau (Annexe 10), avec les pièges utilisés qui sont des deltas avec une plaque engluée. Malgré les différents types de pièges (deltas, nasses et lumineux), ces derniers indiquent une semaine de pic de vol (Annexe 11), de manière très proche entre eux, pour chacune de leurs zones respectives. Pour rappel, les résultats des pièges deltas de l'essai sont inclus dans ceux de la zone 3 du réseau. Dans la zone 3, une comparaison est réalisée (Figure 17) entre les captures de l'essai et du réseau. La courbe Essai_sans nasse ne comprend que les captures des pièges deltas. On observe une certaine similarité entre les trois courbes, même si le pic n'est pas clairement distinguable pour la courbe des deltas de l'essai.

Comme il a été dit précédemment un suivi des pièges a été mis en place, dans le but d'observer la présence éventuelle d'une deuxième génération. Le graphique (figure 18) représente la courbe de vol générale pour les pièges à phéromone (deltas D1, D3 et nasse) et le piège lumineux durant toute la période de piégeage. Cela concerne uniquement les pièges installés sur la commune de Ligné (piège à phéromones) et Maumusson (piège lumineux). Chaque courbe indique deux pics représentant donc deux générations de pyrales. Le premier pic de vol s'est passé de début à mi-juillet, le deuxième s'est déroulé aux alentours de la mi-août. Il y a autant de pyrales capturées pendant les deux pics de vols pour les pièges à phéromones, contrairement au piège lumineux, où le double de pyrale est capturé pendant le premier pic par rapport au deuxième.

B. Observations du paysage

Dans l'essai, la question de l'impact du maïs en tant que précédent cultural sur l'émergence de la pyrale a tenté d'être soulevée. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 19.

Date de semis	Du 18/04 au 24/04	Du 25/04 au 01/05	Du 02/05 au 08/05	Du 09/05 au 15/05	A partir du 16/05
Nombre total de pyrales capturées	67	28	32	9	8
Groupe stats	A	B	B	B	B

Tableau 4. Date de semis et nombre de pyrales capturées en 2018

2016				2017				2018			
Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4	Z1	Z2	Z3	Z4
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34

Figure 20. Période de vol de la pyrale estimée et observée

	Période où les pyrales n'étaient pas censées être observées mais l'ont été
	Période où les pyrales sont censées être observées mais ne l'ont pas été
	Période où les pyrales sont censées être observées et l'ont été
	Semaine de pic de vol

Avec le peu de résultats obtenus cette année, les observations sont peu concluantes, et l'effet ne semble pas avoir d'effet clairement distinct.

Un test statistique a également été réalisé comme précédemment. Après un test anova à un facteur, les résultats sont présentés comme non significatifs (avec une p-value égale à 0.5086). On ne peut donc pas considérer l'effet du maïs en tant que précédent cultural comme avéré sur cet essai.

Le même type de démarche a été mis en place sur le réseau mais sans résultats probants. C'est à dire que des pièges ont été mis au niveau de parcelles de blé en précédent maïs. Avec les relevés hebdomadaires, les captures sont notées en même temps, notifiées sous VGObs et comptabilisées pour le BSV. Dans la même démarche, les parcelles de maïs à précédent maïs sont également comprises dans ce test.

De la même manière, on a tenté d'observer si certains paramètres, renseignés par tous les observateurs en dehors du questionnaire, pourraient se révéler intéressants. Avec la base de données de VGObs, l'effet du labour, du semis, et du précédent cultural ont été observés pour l'année 2018, mais aussi pour les années 2016 et 2017 (grâce aux données conservées des précédentes campagnes). Malheureusement, toutes les informations ne sont pas toujours complétées. Pour un effet recherché, on peut se retrouver avec une moitié des données où l'on distingue l'effet (ex : date de semis) et l'autre moitié où la case n'est pas renseignée. Par exemple, dans le cas d'une saison avec 300 pyrales capturées, il est difficile d'établir des conclusions si les parcelles correspondant à la moitié des pyrales capturées ont la date de semis renseignée, et si les parcelles de l'autre moitié n'ont pas cette date.

Pour l'effet du labour, les données ont été observées sur les parcelles avec un précédent maïs. En effet, on cherche à retrouver que le labour présente une diminution des captures des pyrales par l'enfouissement des résidus (Arvalis info 2, 2018). Les caractéristiques des parcelles n'étaient pas suffisantes pour conclure sur l'efficacité du labour.

De plus, Arvalis indique que la date du semis peut avoir un effet sur l'infestation d'une parcelle par la pyrale (Guide de culture, 2017). En fonction de la date de semis indiquée par les observateurs sur VGObs, un classement a été effectué par les dates de semis. Au départ, il y avait une vingtaine de dates de semis différentes. Ces valeurs ont été regroupées en cinq fourchettes de dates correspondant à cinq semaines (du même format que celle du BSV) de semis. Ces cinq paliers ont été établies afin d'obtenir un décalage temporel permettant de comparer la date de semis avec le nombre de capture. Les dates inconnues ont été recherchées afin de n'avoir plus aucune information manquante et ainsi tirer une conclusion. En revanche, pour 2016 et 2017, les données manquantes sont quasiment impossibles à retrouver, ces deux années ne seront donc pas traitées. La première impression donne que plus le semis est tôt et plus le nombre de capture est élevé (Tableau 4). Après analyse statistique (analyse de variance, normalité des résidus et homogénéité des variances), les parcelles semées avant le 25 avril capturaient plus de pyrales que celles semées après cette date (Tableau 4).

Au total, le questionnaire a été retourné pour treize parcelles de neuf observateurs, obtenant ainsi des données pour vingt parcelles, les sept autres parcelles proviennent de celles suivies sur Ligné. Les résultats ont ensuite été compilés dans un Excel (Annexe 12). Après avoir testé les différents paramètres, avec un test anova, par rapport au nombre de captures, avec le logiciel RStudio, il en revient que les résultats obtenus sont statistiquement non significatifs.

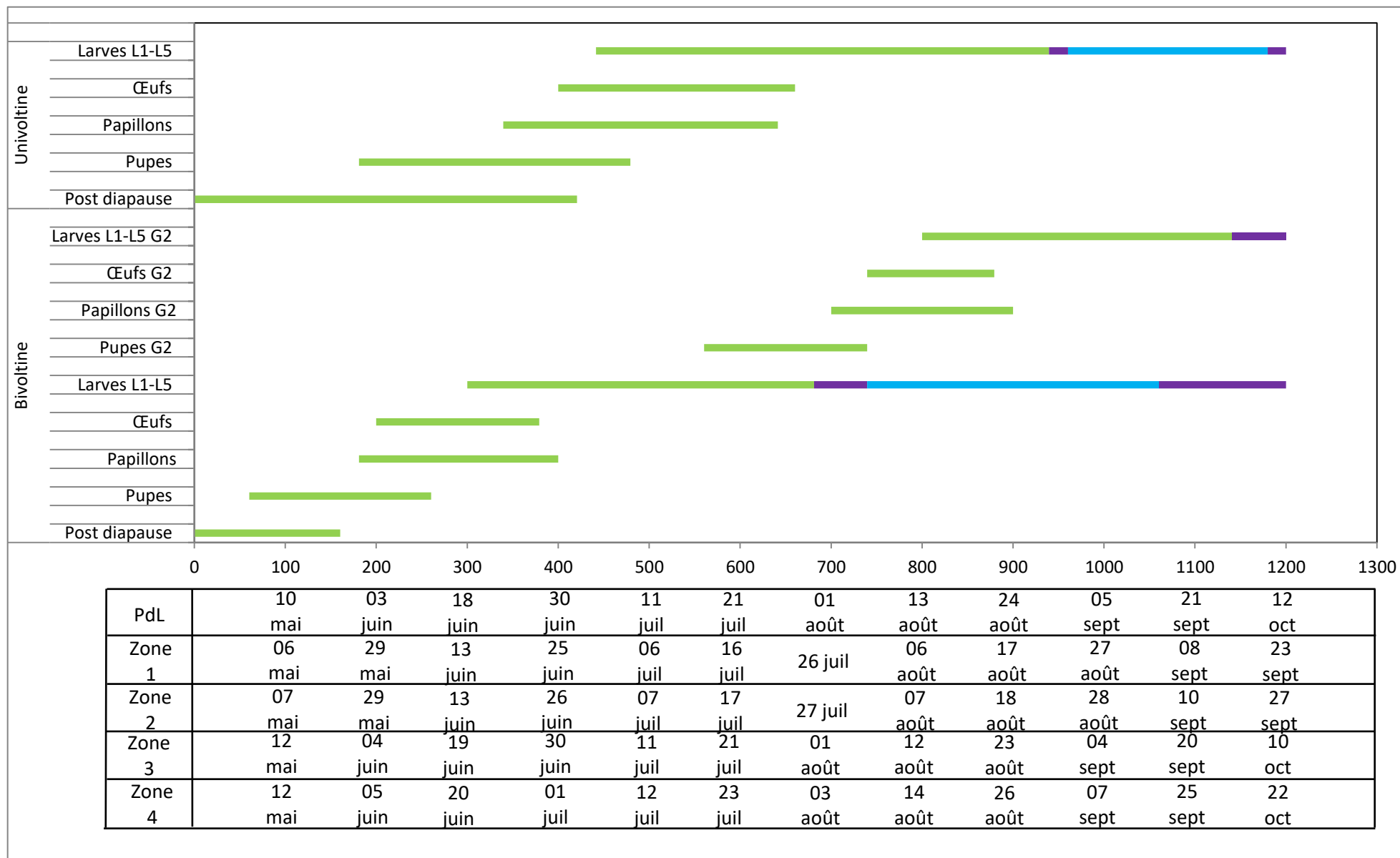


Figure 21. Dates d'apparition des stades physiologiques de la pyrale en fonction des zones climatiques

C. Le modèle simplifié

Pour chaque zone climatique de la région, il est possible de fournir une date d'apparition de chaque stade physiologique de la pyrale (Figure 21). Dans le cas du piégeage, la période qui est intéressante correspond au stade papillon. En effet, le début de vol, et le pic de vol sont les phases clés pour prévoir la mise en place des traitements contre ce ravageur. Chez l'univoltine, cette période se déroule environ entre 340 et 640°J (entre 180 et 400°J puis entre 700 et 900°J pour la bivoltine). Cette période correspond vers mi-Juin jusque mi-Juillet (fin Mai jusque fin Juin puis fin Juillet jusque mi-Août pour la bivoltine).

Ces données sont le fruit d'une modélisation simplifiée prenant en compte les sommes de températures en base 10 comme étant l'unique paramètre d'apparition, de maintien et de disparition des pyrales. Il a été considéré d'observer la véracité de ces dates en évaluant l'adéquation entre la période de la présence de la pyrale réellement notée par des observateurs et la période estimée. Cette vérification a été mise en place pour les années 2016, 2017 et 2018.

L'annexe 13 énonce la différence entre les dates observées et les dates normales. Pour chaque centaine de degrés jours et pour chaque zone, la date réellement observée de l'année a été soustraite à la date estimée à partir des normales de saison. On souligne qu'il existe un décalage, différent en fonction des années comparées, soit pour une année, cela retarde par rapport au modèle, soit dans les deux autres années, il y a une avance. Il s'agit plus d'un outil présentant la tendance climatique de l'année, et à partir duquel on pourrait présager que le vol soit plutôt précoce, soit plutôt tardif en fonction de ces conditions.

La figure 20 (sur la page précédente) compare, en fonction des trois années utilisées, l'écart entre la période de vol estimée (à partir des données météo réelle de l'année considérée) et la période de vol réellement observée, pour les quatre zones. La couleur vert foncé représente la période où le stade papillon est censé être présent pour la zone correspondante, et où il l'a été. La couleur vert clair indique les semaines où le papillon a réellement été observé alors que cela n'était pas estimé. La couleur orange identifie les semaines où le papillon était censé être présent mais soit il n'est apparu que plus tard, soit il avait déjà « disparu ». Les encadrés rouges correspondent à un pic de vol. Les sommes de températures en base 10 ont été réalisées, puis compilées dans un tableau. Si la semaine du BSV faisait partie de l'intervalle où le papillon est censé être présent, alors la semaine est comptabilisée comme vert foncé. Si au moins une pyrale a été détectée pendant une semaine, alors cette dernière sera ajoutée comme vert clair. Pour donner quelques exemples, en 2018, les papillons étaient présents en zone 2 entre la semaine 22 et la semaine 29, pour la zone 3 entre la semaine 24 et 29, alors que pour la zone 4 seulement entre la semaine 26 et la semaine 29.

On souligne une certaine différence entre les trois années présentées. Les périodes de vols sont plus ou moins longues même si les semaines de pics sont assez proches d'une année à l'autre. De même, on constate une différence de période de vol, au sein de la même année, entre les quatre zones.

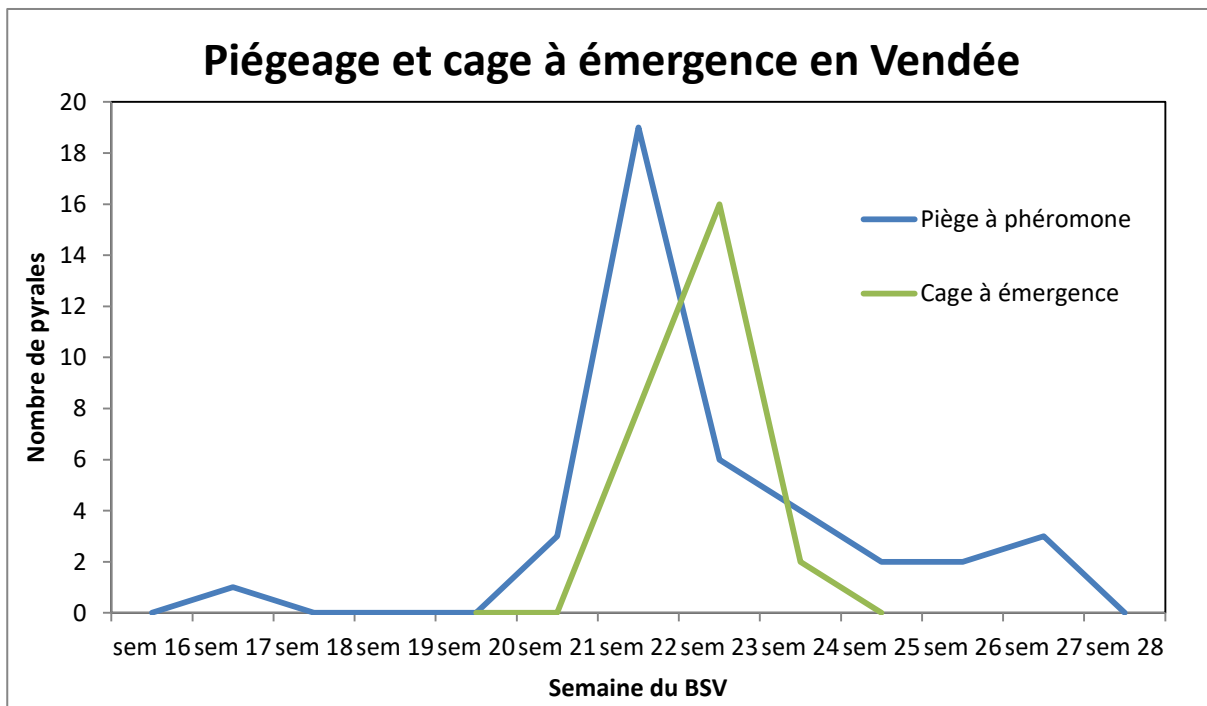


Figure 22. Comparaison entre la cage à émergence et le piégeage en zone 1

Entre la semaine 20 et 31	Nombre total de		Nombre moyen de pyrales par piège
	pyrales capturées	pièges utilisés	
2016	449	384	1,17
2017	219	240	0,91
2018	149	294	0,51

Tableau 5. Nombre de pyrales capturées en fonction de l'année

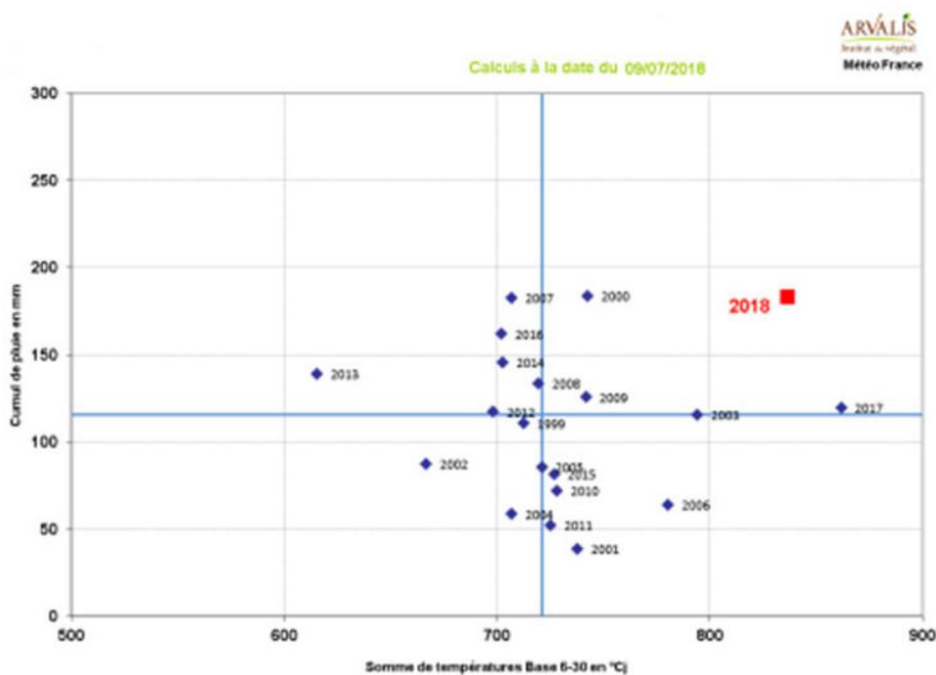


Figure 23. Présentation des années climatiques (Arvalis info, 2018)

D. La cage à émergence

Les résultats obtenus par les étudiants du groupe tuteuré de l'IUT sont présentés dans la figure 22. Le graphique indique le nombre de pyrales en fonction de la semaine du BSV. La courbe du piège à phéromone de la même zone a également été ajoutée. On remarque que les deux pics de vols sont seulement à une semaine d'intervalle et ont quasiment la même amplitude.

IV. Analyse et discussion

A. Des conditions de piégeage optimales ?

Avec les résultats présentés dans la partie précédente, on a pu constater qu'il y avait peu de résultats sur l'essai cette année. La première supposition est que la cause est l'essai en lui-même. Même s'il y a eu quelques petits problèmes, la plupart d'entre eux ont vite été réglés et réparés. Un autre problème soulevé durant l'essai est l'usure des pièges, notamment des pièges nasses. En effet, ces derniers, même s'ils n'ont pas servi l'année dernière semblaient vieillissants, mais encore apte à piéger. En précisant que le piège nasse d'une parcelle a complètement été éventré (en lien avec de vents importants), ce qui a rendu ce piège inutilisable pour la suite de l'essai.

De plus, l'effet de position des pièges au sein de la parcelle n'a pas eu d'impact (résultats statistiques non significatifs). C'est ce qui était recherché, on souhaitait avant tout comparer l'efficacité des pièges. Une rotation des pièges avait été mise en place, pour que les captures réalisées soient dues au piège et non pas à sa localisation géographique. S'il y avait eu un effet de position des pièges, cela aurait été considéré comme l'introduction d'un biais. Certes, une comparaison était également effectuée entre les parcelles afin de distinguer certains éléments du contexte paysager pouvant influencer le piégeage, mais au sein d'une parcelle, l'accent était porté sur la comparaison des pièges.

Comme il a été dit précédemment, peu de résultats ont été obtenus cette année dans l'essai. Si on retourne sur la figure 17, les résultats semblent concorder avec ceux de la zone auquel il appartient, l'essai n'est donc pas en cause. De plus, on est face au même constat en ce qui concerne les captures en Pays de la Loire. Par rapport à 2016 et 2017, il y a quasiment eu deux fois moins de pyrales capturées en 2018 (Cf. Tableau 5). Sur la même période, le nombre de pyrales fluctue tout comme le nombre de pièges. Si l'on regarde le nombre moyen de pyrales par pièges, afin d'avoir une base de comparaison, 2018 est bien une année où le réseau a capturé peu de pyrales. Mais même s'ils sont faibles, des résultats ont, quand même, été obtenus.

Si l'on regarde plus précisément la courbe de vol (Annexe 10) obtenue en zone 3 et 4 par rapport aux autres zones, il y a peu de pyrales capturées. Un autre facteur pouvant être mis en cause, sont les conditions climatiques subies pendant l'essai. En effet, 2018 est présentée comme une année extrême. Arvalis la décrit comme ressemblante à 2017 mais avec un cumul de pluie plus important. La figure 23 met en évidence les différentes années climatiques, pour Angers (49) depuis 20 ans, elle prend en compte le cumul de pluie en fonction de la somme de

Date début sem	Sem du BSV	Z1	Z2	Z3	Z4
23-mai	22	25,35	26,19	24,91	27,15
30-mai	23	18,40	33,93	33,11	50,75
06-juin	24	44,20	66,59	47,63	65,35
13-juin	25	7,40	3,08	0,97	1,75
20-juin	26	0,00	0,03	0,00	0,05
27-juin	27	22,35	49,68	19,66	16,60
04-juil	28	3,95	5,15	3,11	5,20
11-juil	29	0,00	0,23	0,00	0,45

Tableau 6. Cumul des précipitations par semaine et par zone

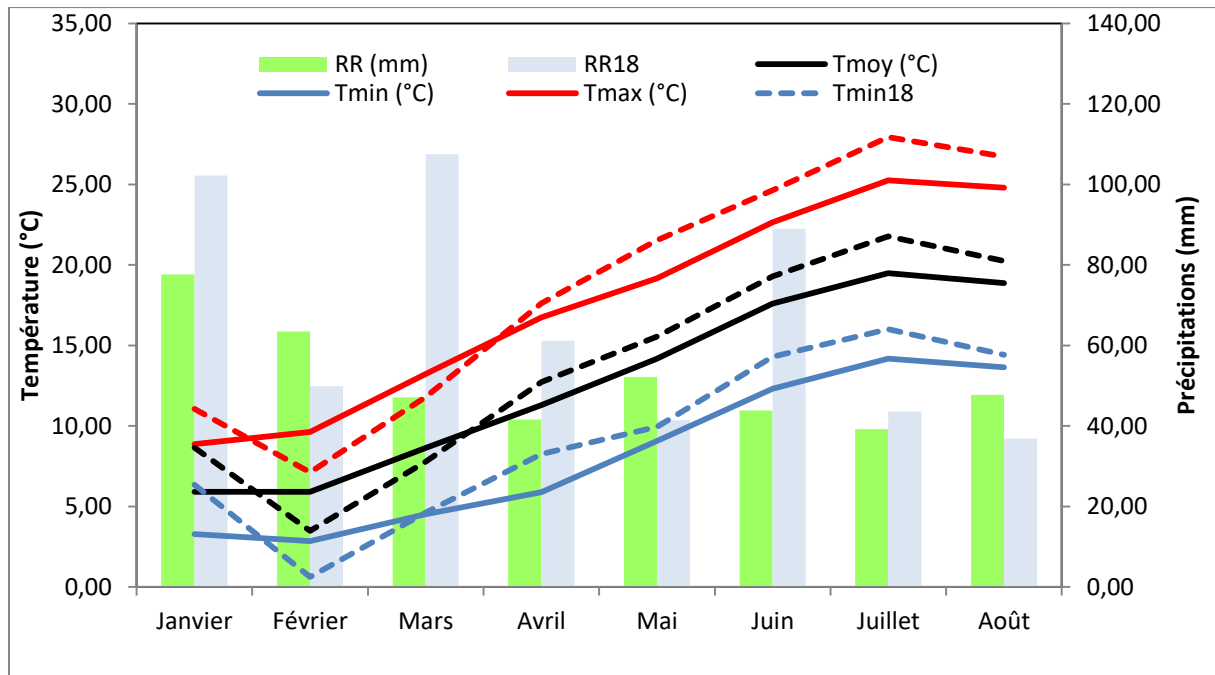


Figure 24. Bilan climatique 2018 en Pays de la Loire

température en base 6 écrêtée à 30°C. Les deux droites bleues représentent les médianes du groupe. Ce calcul commence de début mai jusqu'au 09 juillet 2018. Sur la figure, la période utilisée est montrée comme chaude et pluvieuse, bien excentrée du groupe médian des années climatiques. La Figure 24 vient conforter ce qui a été dit précédemment. Le graphique compare les précipitations cumulées moyennes et les températures moyennes par rapport à celles de 2018.

La présence d'averses orageuses, de fortes conditions de vents ou alors la canicule a pu affecter le développement et le vol de la pyrale du maïs. Avec les orages, de fortes pluies peuvent les accompagner. Cela a été le cas en juin et juillet (Figure 24 / Tableau 6), où d'importantes quantités sont tombées en quelques heures. Les averses orageuses ont été très intenses dans certaines zones, alors que d'autres n'ont rien reçu. A cause de ces précipitations, il a été supposé que le vol de certaines zones a été impacté : le pic de vol a été retardé / coupé, et l'amplitude moins importante. Ces fortes pluies ont dû restreindre le déplacement des pyrales, ce qui s'est senti sur le taux de captures dans les pièges. D'une manière générale, les pièges capturant les insectes volants fonctionnent très mal lorsque de fortes pluies constituent un facteur limitant du vol (Frérot et al, chapitre 42, 2015). Si on observe le tableau 6, cela confirme cette hypothèse. En zone 1, le pic se passe en semaine 22 ; dans les deux semaines qui suivent (la semaine 23 et 24) cette zone reçoit plus d'un mois (normale de juin) de pluie réparties sur quatre jours. La même chose pour la zone 2, qui reçoit 66 millimètres de pluie sur deux jours en fin de semaine 24, 50 millimètres sont de nouveau reçus en semaine 27 (une période où une augmentation de captures en zone 2 est perçue). Cette semaine 27, a aussi un effet sur la zone 4, où l'on observe une inflexion de la courbe. Bien que ces résultats soient des moyennes de résultats de plusieurs stations réparties sur l'ensemble d'une zone, cela reste des moyennes assez élevées, surtout pour Juin, comme en témoigne la figure 24.

Dans le cas de forts vents, le piégeage de la pyrale a aussi été impacté. Ce vent est plus difficile à observer, en fonction des éléments paysagers présents localement, la vitesse du vent a pu être réduite ou non, la direction peut être différente. D'une parcelle à une autre, les conditions d'exposition au vent peuvent alors être assez hétérogènes. En fonction d'où les pièges sont positionnés, ils seront plus ou moins soumis aux vents. Les pièges deltas accrochés sur une tige souple sont alors relativement mobiles au vent, la probabilité de rencontre entre la pyrale et le piège peut s'en retrouver réduite. Dans les mêmes conditions, ce sont aussi les pyrales qui sont affectées. Les mâles de la pyrale ont du mal à remonter les flux d'air vers les pièges lors de forts vents, causant de faibles captures. Le déplacement des petits insectes subissent fortement l'influence du vent. La pyrale, transportée par le vent, peut alors être interceptée par les haies bordant les champs. Mais lorsque le vent est trop fort, l'insecte est alors incapable de compenser en augmentant sa vitesse de vol, c'est pourquoi soit il reste posé, soit il vole dans le vent. En fonction de la vitesse et de la direction du vent, l'efficacité de recherche peut grandement être impacté (Thiéry et al, 2015). Le vol dans le sens contraire du vent est utilisé par les insectes mais lors de faibles conditions de vent. Sinon ces derniers devront compenser en augmentant leur vitesse de vol avec un risque de se faire emporter, utilisant de l'énergie supplémentaire, potentiellement requise pour d'autres activités comme la recherche d'un partenaire, l'accouplement.

Cette année, le piège de Maumusson a mis en avant que la proportion des mâles était légèrement supérieure à celle des femelles sauf aux alentours des deux pics de vol où la

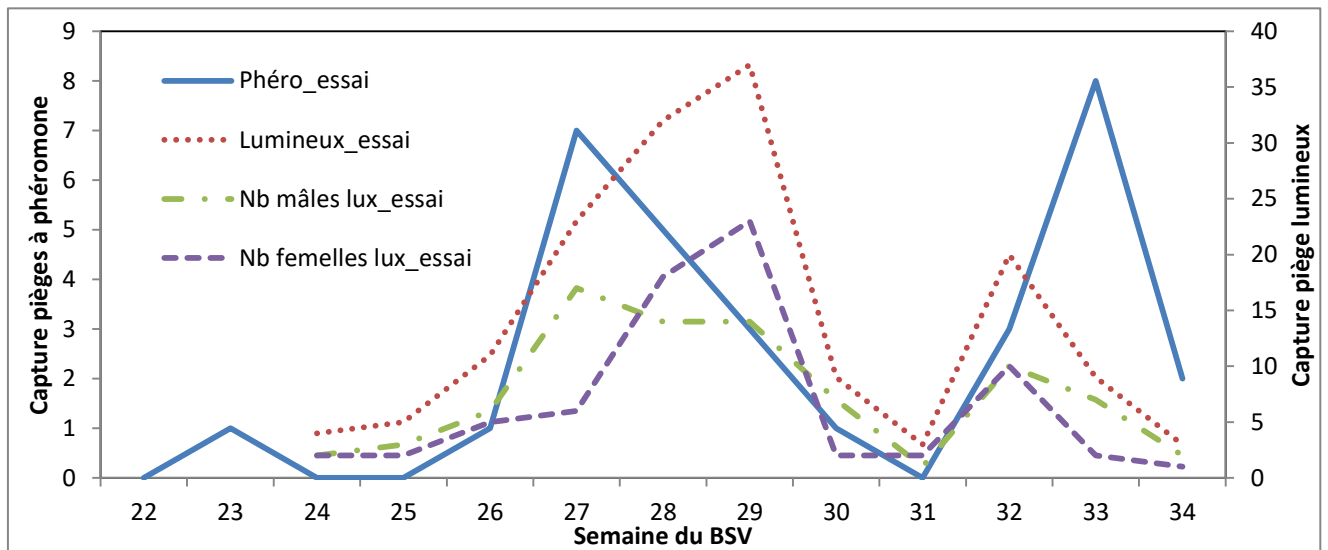


Figure 25. Décalage entre piège à phéromones et piège lumineux en fonction de la proportion de mâles et de femelles.

proportion de femelles est égale ou supérieure (Figure 25). Les données des autres pièges n'ont pas été traitées car toutes les pyrales n'ont pas été discriminées. Or dans le piège lumineux, il y a une tendance à avoir plus de mâles que de femelles, car les mâles sont plus mobiles, étant à la recherche de femelles (Sappington, 1983). Comment traduire cette hausse du taux de femelles capturées dans le piège lumineux ? L'explication la plus logique serait le phénomène de la protandrie. C'est-à-dire que les mâles sont sexuellement mûres avant les femelles d'une semaine. En effet, les femelles ont besoin d'une période supplémentaire avant d'apparaître (Stockel et al, 1984). Cette période s'accompagne de changements physiologiques comme le développement des ovaires (Thiéry et al, 2015). Une fois cette maturité sexuelle acquise, les femelles peuvent se diriger vers le maïs et relâchent les phéromones sexuelles. Les mâles, très mobiles, à la recherche des femelles, peuvent sortir du champ d'attraction du piège provoquant une diminution du taux de mâles capturés au profit d'une augmentation de celui des femelles. Il faut, en revanche, rester prudent sur cette conclusion. Car cet effet ne s'est déroulé que sur un piège, il faudrait réaliser ce test l'année suivante, d'où l'importance du suivi régulier et du besoin d'identification des mâles et des femelles pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. Cependant une étude (Stockel et al, 1986) indique qu'en général la proportion de mâles est supérieure à celle des femelles dans les captures du piège lumineux. Il explique cet effet soit par une attraction différentielle des sexes par la lumière soit par la mobilité supérieure des mâles.

De plus, on constate, sur la figure 25, que le pic des pièges à phéromones se déroule lorsque la proportion de mâles est supérieure à celle des femelles. Le pic du piège lumineux est quant à lui corrélé au pic de proportion des femelles capturées par ce même piège. Cette caractéristique est présente dans les deux pics de l'essai. Cela confirme donc que la proportion de femelles influe directement sur le taux de captures des mâles dans les pièges à phéromones, et que le phénomène de compétition entre les femelles et le piège est à l'avantage de la femelle pyrale. Le piège à phéromone peut alors se trouver inefficace dans le cas d'une population à forte densité, ou avec une forte proportion de femelles.

B. Un lien avec le paysage difficile à établir...

L'effet de la parcelle a été testé statistiquement. C'est-à-dire qu'une comparaison entre la parcelle et le nombre de captures a été réalisée. Le résultat est revenu non significatif, ce qui veut dire qu'il n'y a pas, dans l'essai, d'effet de la parcelle. Le fait que l'effet de la parcelle soit revenu négatif peut avoir plusieurs explications. Cela ne veut pas forcément dire que la parcelle n'a pas eu d'effet, mais peut-être qu'il n'y a pas eu assez de captures de pyrales pour que les parcelles puissent se distinguer entre elles, de manière significative.

Dans une étude de paysage, il faut déterminer une échelle à laquelle on se tient. Dans le cas de l'étude, l'échelle se cantonne à la parcelle du piège et celles avoisinantes. Cependant ce rayon est sûrement trop petit pour ce genre d'étude. En effet, l'approche des populations et des communautés écologiques nécessite une approche à large échelle à cause des structures locales de biodiversité et des interactions trophiques, qui sont influencées par les paramètres locaux. Les communautés sont des assemblages d'espèces avec différentes stratégies spatiales. Les effets des pertes d'habitats et de la fragmentation de l'habitat sur les insectes herbivores, ses ennemis, tout comme les interactions plantes pollinisateur sont indissociables des espèces et des paysages (Tschardt et al, 2003).

Mais ce choix a été réalisé dans un souci de simplification. Dans un questionnaire, les réponses proposées par les observateurs sont assez subjectives. Ils vont répondre, à leur manière, à une question qui leur a été posée. C'est pourquoi les réponses obtenues vont avoir

un niveau de précision plus ou moins fin en fonction de l'appréciation de l'observateur. Certaines réponses provenant de différents questionnaires sont assez similaires, voire dans certains cas quasiment identiques. Dans ce cas-ci, la comparaison n'est pas vraiment possible et il est alors peu probable de trouver certaines caractéristiques qui permettraient de discriminer un facteur d'un autre. Par exemple, dans le type de bandes enherbées, la grande majorité des réponses correspond à « Graminées ». D'autant plus que ces derniers ne possèdent pas toutes les informations sur la parcelle du piège, et sûrement encore moins sur l'environnement entourant celle-ci. Ces dernières sont alors laissées sans réponse, ce qui peut également compliquer le traitement de ces données. De plus, le questionnaire n'a pas vraiment eu les résultats escomptés, le nombre de parcelles n'était pas suffisant, un minimum de trente parcelles aurait été optimal. Par ailleurs, le faible nombre de pyrales capturées a aussi pu jouer dans la non-significativité des résultats.

Avec la base de données de VGObs, il y a beaucoup de parcelles avec des paramètres inconnus, ce qui empêche de faire des conclusions sur les effets recherchés. Les observateurs ne sont pas tous des agriculteurs, certains sont de la chambre d'agriculture, d'instituts techniques, de coopératives, etc. Ils ne connaissent pas tous les détails de la parcelle étudiée, d'autant plus que ces personnes suivent en général plusieurs parcelles avec différents protocoles. Cependant, si tous les observateurs remplissaient les cases vides, cela pourrait aboutir sur une base de données extraordinaire, et pas uniquement que pour le maïs.

L'effet du précédent est difficile à comparer à la fois dans l'essai et avec la base de données de VGObs. Avec l'essai, seules les parcelles voisines sont étudiées, mais on sait très bien que les pyrales sont très mobiles. Le rayon de l'échantillon est trop petit pour que les pyrales capturées proviennent uniquement des parcelles voisines. D'autant que nous sommes dans une région où le maïs est très présent, il se peut qu'il y ait de nombreux échanges entre les populations d'une même zone, et les déplacements de l'insecte sont difficiles à suivre et à prévoir.

Ajouté à cela, on possède un pool de parcelles qui sont soit en précédent, soit voisin d'un précédent. Mais il n'existe pas vraiment de pool de parcelles sans précédent maïs sur les parcelles avoisinantes comme cela a été mis en place dans l'essai. Donc, il n'est pas vraiment possible de comparer l'effet du précédent cultural sur le nombre de captures. Par ailleurs, on est dans une région où la part de blé et maïs sont majoritaires dans la rotation, et donc dans l'assolement local. Il existera toujours une parcelle de maïs présente dans les alentours. Si l'on veut comparer cet effet, il faudrait réaliser un essai dédié à ce thème, en définissant certains paramètres élémentaires pour être sûr de pouvoir conclure. C'est-à-dire qu'il faut délimiter un rayon où l'on ne veut aucune parcelle de maïs (en tant que précédent), et ensuite, trouver plusieurs parcelles, réparties sur une zone plus ou moins grande, allant du département à la région (zones). En ayant alors les deux types de parcelles, on pourrait alors observer l'influence sur le nombre de captures de pyrales.

Il en est de même pour la comparaison avec l'effet du labour. On veut regarder si le labour peut réduire le nombre de pyrales en enfouissant les résidus. Pour cela, il faudrait deux pools de parcelles en précédent maïs, un premier qui se fait labourer, un autre qui ne se fait pas labourer. Il est important d'avoir uniquement des parcelles en précédent maïs, car ce qui nous intéresse c'est l'effet de l'enfouissement des résidus de maïs. Si on a un précédent cultural céréale à paille, cela ne correspond pas à nos critères de recherches. D'une part l'information labour /non labour n'est pas toujours complétée, et d'autre part le nombre de parcelles en

précédent maïs est assez limité. Ajouté au faible nombre de pyrales capturées, cela ne nous permet pas d'effectuer une comparaison efficace.

D'après les résultats, il semblerait que plus la date de semis est précoce, plus le nombre de pyrales est important. Cette conclusion est à prendre avec précaution, car en fonction des pas de temps utilisés pour calculer l'effet de la date de semis, cette dernière sera différente. Si la fourchette de temps est trop grande, les classes établies seront alors inégales. Les classes obtenues par test statistiques ont été obtenues avec une fourchette de temps correspondant à des semaines du BSV. Avec des semaines calendaires, les groupes sont différents de ceux obtenus. D'ailleurs, dans ce qui a été obtenu, seule une classe de semis est statiquement différente de toutes les autres classes.

D'autant plus, il s'agit des données du réseau, comme avec le piégeage, on a le problème d'hétérogénéité de la localisation. La conclusion est donc imputable exclusivement au réseau. On ne peut la généraliser à la région Pays de la Loire.

En lien avec la date de semis, ce phénomène de concentration, précédemment cité, peut s'interpréter par une attractivité différentielle du maïs entre différentes parcelles, ou également au sein d'une même parcelle. Le stade du maïs influe sur l'attraction des ravageurs. Il est conseillé de positionner les pièges, qui suivront la première génération, dans les premières vagues de semis du maïs. Pour suivre la seconde génération, il est conseillé de positionner ces pièges dans les dernières vagues de semis (Vigiculture, 2012). Le stade physiologique semble être également un facteur de choix de l'hôte. Un essai variété serait intéressant à effectuer. Cela pourrait être difficile à mettre en place, notamment pour savoir la pression exacte de la pyrale sur chaque variété de maïs. Un comptage de pieds infectés, un comptage larvaire serait un des paramètres à prendre en compte.

Avec le questionnaire, la localisation des précédents culturels, ainsi que des cultures de maïs a été demandé. Cela avait été fait dans l'optique de regarder si les surfaces de maïs et de précédent maïs pouvaient influencer sur le nombre de pyrales capturées. Par exemple, dans le cas où les surfaces de précédents étaient plus importantes que les surfaces de maïs, on aurait pu assister à un phénomène de concentration des pyrales. Et dans le cas contraire on aurait pu avoir un cas de dilution. Mais, la capture des pyrales est, cette année, réduite. De plus, les surfaces de maïs et précédent maïs répertoriées sont uniquement les parcelles voisines de celle étudiée, donc le rayon de recherche est sûrement trop petit. De même, avec celles qui ont été répertoriées, il existe sûrement des parcelles dont les informations sont incertaines ou manquantes. Ce critère est alors difficile à mettre en place dans les deux cas.

D'une manière générale, l'effet de certains facteurs environnementaux pouvant influencer la capture des pyrales est certain. En effet, la réponse des insectes phytophages sera variable par rapport aux signaux de leur environnement, en fonction de facteurs exogènes (climatiques essentiellement), mais aussi de facteurs endogènes. Ces facteurs vont agir soit comme déclencheurs (initiation ou refus d'un comportement) soit comme régulateurs. L'expression d'un comportement est alors une résultante d'un processus physiologique, en réponse à certains stimuli environnementaux (Théry et al, 2015). Ce qui veut dire que la pyrale est relativement sensible à certains paramètres environnementaux, mais en fonction de son « état », sa réponse sera différente. Malheureusement, cet aspect est assez imprévisible sur lequel il est difficile de s'adapter. D'un côté, il existera toujours une part d'imprévu qui sera toujours difficile à contrôler. C'est pourquoi une telle étude est difficile à mener car l'influence du paysage ne se détermine pas à partir d'un seul élément du contexte paysager, mais plutôt à partir d'interactions d'une multitude de différents paramètres. La recherche de

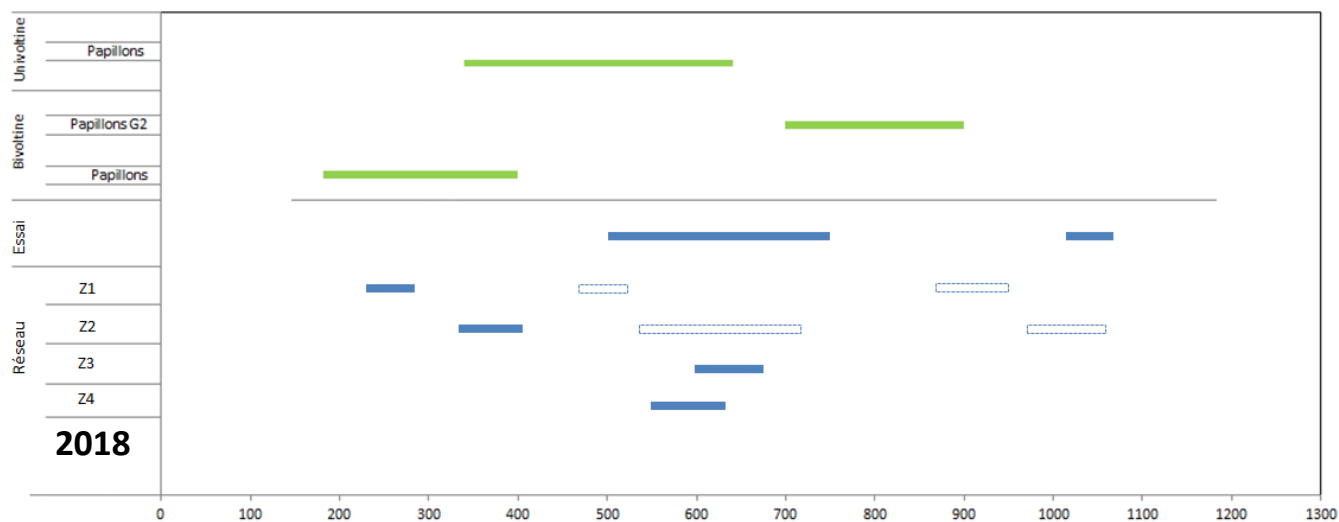


Figure 26. Adéquation entre vol prédit et vol observé

Parcelle	Traitement	Nombre de larves/pied	Dont nb de larves/épi	Pourcentage de pieds attaqués
Jeannine David	Aucun	1	0,08	53
Daniel Rupaud	Trichogramme	1,64	0,24	84
Matthieu Cantaloube	Corragen	0	0	5
Nicolas Lebrun	Aucun	0,72	0,12	51

Tableau 7. Résultats du comptage larvaire

ces paramètres extérieurs est possible dans le cas d'une étude à échelle large, où un maximum de facteurs sont pris en compte, et avec des données non limitantes.

C. Une seconde génération en Pays de la Loire ?

Avec une année extrême comme 2018, une augmentation de températures moyennes (+1,6°C entre avril et août par rapport aux normales de saison, Cf. figure 24) a été ressentie en Pays de la Loire. On peut se poser la question sur l'apparition d'une deuxième génération de pyrales cette année. Pour rappel, l'induction de la diapause est acquise pendant le dernier stade larvaire en fonction d'un temps seuil de la photopériode à une température donnée. Sachant que plus la température était élevée (à une photopériode donnée), plus la proportion de diapausants était faible (Derron et al, 2009). La température est un facteur important à prendre en compte dans la durée du développement larvaire. En effet, les larves sont poïkilothermes, c'est-à-dire qu'en tant qu'individus à sang froid, elles sont dépourvus de régulation thermique et donc entièrement dépendantes des conditions climatiques. La vitesse de leur développement est donc bien souvent proportionnelle à la dose de chaleur reçue (exprimée en degrés-jour) (Kocmánková et al, 2008). Considérant que la valeur sélective (*fitness*) pour une race donnée est maximale lorsque la totalité de la saison favorable est utilisée pour le développement et la reproduction, un léger réchauffement donnerait un avantage certain à la race bivoltine. Une poursuite de la cohabitation des deux races et une expansion de la race bivoltine sont donc prévisibles. (Derron et al, 2009). En Juillet, la durée de photopériode est relativement longue (entre 15 et 16 heures), ajouté aux fortes températures journalières (supérieures à 25°C) ressenties pendant cette période. Il s'agit de conditions optimales pour le développement larvaire et pour l'apparition d'une deuxième génération. Une partie des pièges de l'essai a été conservée afin d'observer une éventuelle courbe de vol de la deuxième génération.

Sur la figure 18, on observe deux pics relativement proches, l'hypothèse est qu'une deuxième génération soit apparue suite aux températures excessives favorables au développement larvaire. Le deuxième vol est souvent situé vers la mi-août (Ephytia, 2018). On peut alors penser qu'il s'agit de papillons de la race univoltine qui ont donné naissance à une deuxième génération. La figure 26 représente la période pendant laquelle les papillons capturés par les pièges de Ligné sont observés, mais aussi la période pendant laquelle ils sont censés être présents. On remarque alors que les sommes de températures pendant lesquels les papillons étaient observés correspondent à une période où ce sont les univoltins qui sont présents. Le premier vol serait alors bien une population univoltine, qui a donné par la suite une deuxième génération. Ce deuxième vol a par ailleurs été remarqué par le piège lumineux, où un pic est apparu en semaine 32 (avec autant de mâles que de femelles pendant le pic).

Il faut cependant prendre en considération que la quasi-totalité du deuxième vol provient d'une seule parcelle qui n'a subi aucun traitement chimique ou biologique. Il y a eu autant de pyrales capturées sur le premier que sur le deuxième vol, ce qui amène à penser qu'il y a effectivement eu un problème pour le premier vol. Les comptages larvaires réalisés (Cf. Tableau 7) ont permis de confirmer le deuxième vol sur l'essai par la présence de chrysalides vides, et de larves de seconde génération (beaucoup plus petite que celle de la première) sur trois parcelles possédant chacune un traitement différent. Même si les pièges ont peu capturé, les pyrales sont peut-être présentes sur la parcelle, c'est ce que souligne le comptage larvaire avec le nombre de larves par pied. Pour rappel, le seuil de nuisibilité est de 0,8 larve par pied.

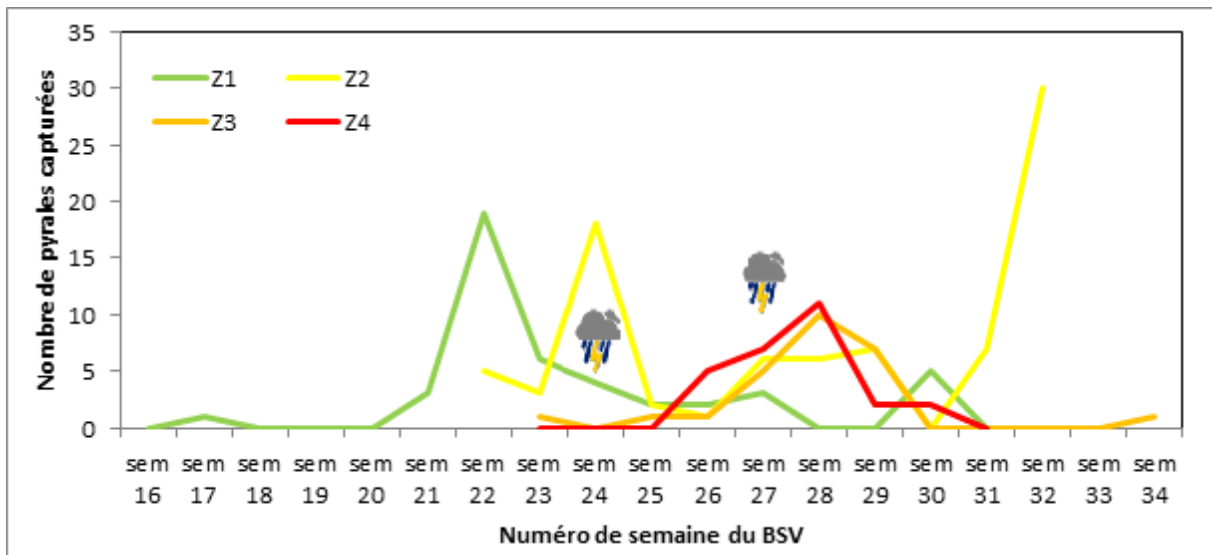


Figure 27. Capture des pyrales du réseau SBT 2018

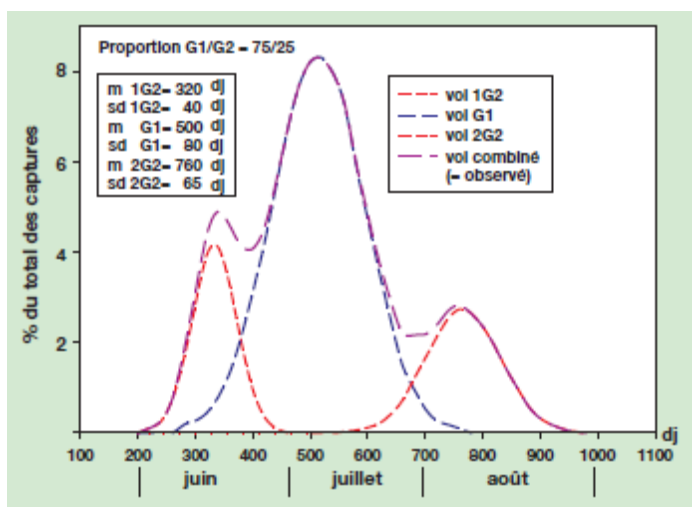


Figure 28. Modélisation de l'allure de la courbe de vol en fonction de la proportion d'uni- et de bivoltine (Derron et al, 2009).

Si on regarde la figure 20, on observe que pour la zone 1, le pic de vol est toujours en avance par rapport à ce qui a été prévu. On s'est alors questionné sur la justesse de l'outil, en précisant que la période de vol prévue est celle de la monovoltine. Dans le cas du réseau, la majorité du piégeage a été arrêté vers la semaine 31/32, ce qui ne permet pas le suivi d'une éventuelle seconde génération dans les quatre zones. La figure 27 met en avant les captures après la semaine 30. Par exemple, en zone 1 et 2, des captures ont commencé à être renseignées entre les semaines 30 et 32. On peut donc supposer fortement qu'un deuxième vol a eu lieu sans l'affirmer complètement. Les zones 3 et 4, n'ont également pas suivi cette deuxième génération. Même si quelques agriculteurs ont continué à suivre, et où des captures ont été signalés pendant le mois d'Août en zone 4. On ne voit pas les captures de Ligné sur la zone 3, car la plupart provienne du piège nasse, dont les captures ne sont pas enregistrées sur VGObs.

D'après Derron et al, 2009, l'allure de la courbe de vol est directement impactée par la proportion d'univoltine et de bivoltine (Figure 28). C'est-à-dire qu'en fonction du ratio d'univoltine et de bivoltine, l'amplitude, et la taille du pic sera différente.

Sur la figure 27, on observe que, pour la zone 2 il y a deux pics bien distincts (en semaine 24 et 32). Mais entre les semaines 27 et 29, on note aussi une augmentation de la capture de la pyrale, et où on aurait pu penser un autre pic au niveau de la semaine 28, comme pour les zones 3 et 4. En fin de semaine 27 (début juillet), des averses orageuses sont survenues (Figure 27), avec une précipitation moyenne pour la zone 2, d'un peu moins de 50 millimètres subis sur deux jours (40mm le premier jour puis 10mm le deuxième). Pour rappel, cette valeur de précipitation a été obtenue par une moyenne des cumuls hebdomadaires de précipitations quotidiennes des stations météo utilisées réparties sur l'ensemble de la zone 2. Cette quantité de pluie assez importante a alors pu « lisser » la courbe de capture. La courbe de la zone 2 soumettrait alors trois pics de vols. Avec trois pics en zone 2, le premier correspondrait au premier vol de la bivoltine, le deuxième au vol de l'univoltine, et le troisième au deuxième vol de la bivoltine. C'est ce que confirme la figure 26, elle trace les périodes où les vols des papillons sont censés se produire en fonction de leur voltinisme, et les vols réellement observés. Les rectangles bleus correspondent aux périodes observées, et les rectangles encadrés de bleus sont les périodes de vols non certains. Les périodes de vols non certaines sont considérées comme telles, car les pics ne sont pas clairement identifiables, mais où ils sont fortement probables. On observe bien la correspondance entre les trois pics de vols et les différentes phases d'apparition de papillons en fonction du voltinisme. Les captures des trois différents pics de la zone 2 sont mises en évidence par trois observateurs, avec 90% de captures pour un seul observateur possédant deux parcelles. Les trois observateurs sont, de plus, présent dans le sud Maine-et-Loire, ces captures ne sont pas alors dues à un problème de répartition de pièges. Si on observe ce phénomène en zone 2, on pourrait aussi l'observer pour la zone 1. Même si on ne distingue pas de deuxième pic, on observe un taux de capture stable entre la semaine 24 et la semaine 27. Comme il a été dit précédemment, des fortes précipitations ont été ressenties en semaine 24 et 27, ce qui a sûrement lisser le potentiel pic de la monovoltine, et a alors laissé place à ce plateau. On peut alors supposer qu'on assiste donc à une cohabitation de la population bivoltine en zone 1 et 2 (du moins en sud Maine et Loire), avec une proportion de bivoltine plus importante dans la zone 1 par rapport à la zone 2. En effet, pour que ce constat soit irréfutable, il faudrait réaliser des analyses génétiques afin de confirmer le voltinisme des pyrales.

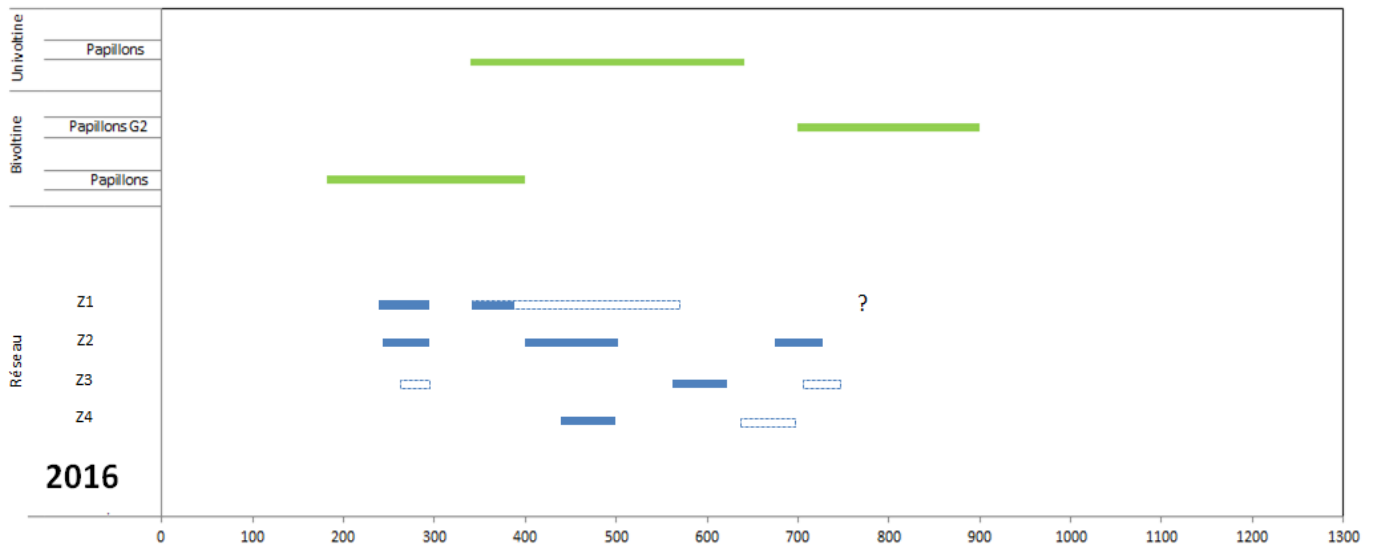


Figure 29. Adéquation entre vols observés et vols prédits en 2016

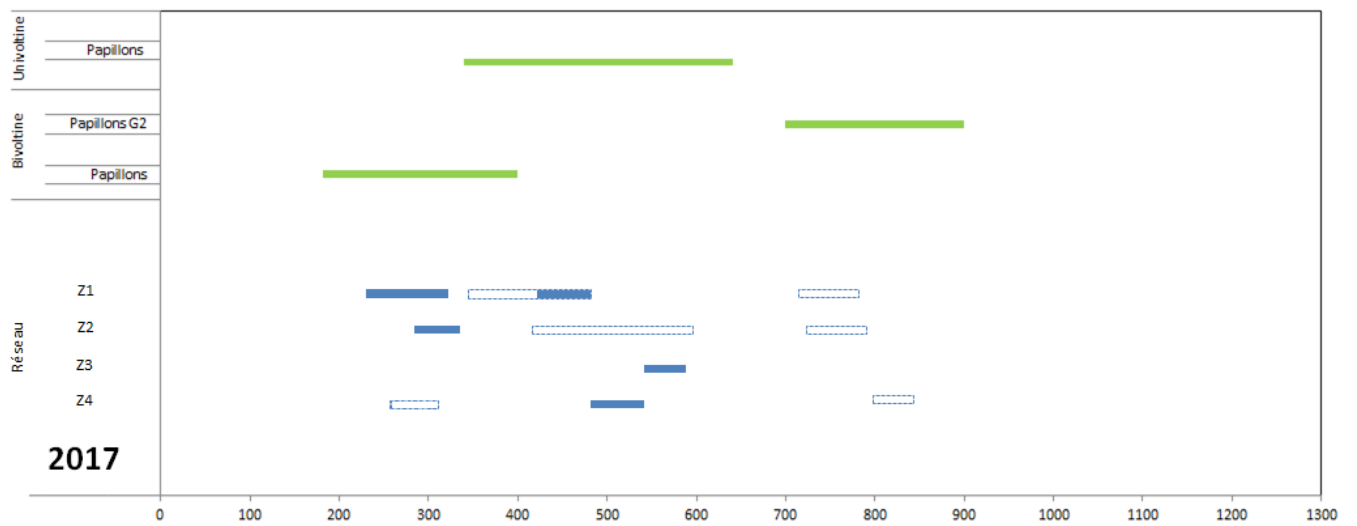


Figure 30. Adéquation entre vols observés et vols prédits en 2017

2018	1	2	3	4	Total
Nombre de pièges	21	8	16	6	51
Pourcentage de pièges	41%	16%	31%	12%	100%

Tableau 8. Nombre de pièges à phéromones (delta) par zone

Après avoir regardé l'année 2018, on a alors décidé de conforter cette hypothèse et de la vérifier sur les années 2016, et 2017.

Pour l'année 2016, dont les courbes de vols sont présentées en annexe 15, on suppose retrouver cette distinction entre les deux races du voltinisme. La zone 1 présente une courbe assez plate (à cause de fortes pluies en semaine 23 et 25), néanmoins un pic se distingue autour de la semaine 24. C'est à partir du piège lumineux, que l'on voit clairement deux pics, le premier en semaine 24 et le deuxième en semaine 26, le troisième pic est alors indiscernable (point d'interrogation sur la figure 29). Contrairement à la zone 2, où l'on distingue clairement trois pics, qui correspondent aux trois pics de vols. La zone 3 présente trois pics en semaine 25, 30 et 32. Le piège lumineux confirme également ceux de la semaine 30 et 32. A partir de la semaine 26, il y a peu de contraintes climatiques, le temps est chaud et sec, les ruptures brutales de courbes sont sûrement dues à des variations dans la population. D'autant que les trois pics pourraient correspondre aux trois périodes potentielles. En zone 4, le pic univoltin est clairement visible mais des captures sont toujours présentes par la suite. Il s'agirait de quelques univoltines effectuant une deuxième génération. La figure 29 représente les périodes de pics de vols réellement observés par rapport aux sommes de températures base 10, pour chacune des zones. Cette dernière confirmerait, pour 2016, la présence de bivoltines en zone 1,2 et 3 ; ainsi qu'un deuxième vol en zone 4

Avec 2017, l'allure des courbes apparaît encore d'une manière différente (Annexe 16). On distingue clairement le pic du vol des papillons univoltins de la zone 3. La courbe de la zone 2 a une forme de dents de scie, car il y avait peu d'observateurs sur cette zone. On a plus ou moins les deux premiers pics qui se dégagent, le troisième n'est pas visible (arrêt du piégeage). La zone 1 affiche deux pics clairs (semaine 22 et 24), même s'ils semblent rapprochés, le piège lumineux confirme un pic en semaine 25. Si on regarde la figure 30, la semaine 24 correspond à la fois au premier vol des bivoltines et au début de vol de l'univoltine. La bivoltine semble de nouveau cohabiter avec l'univoltine pour les zones 1 et 2. Le même constat semble se profiler en zone 4. De plus, en 2017, un vol d'août a été confirmé, pour les Pays de la Loire, par Arvalis (Arvalis info 2, 2018), à partir de présence de chrysalides vides lors de comptage larvaire.

Pendant les trois années, le piégeage s'arrête au niveau de la semaine 31, ce qui ne permet pas d'observer sur les courbes la présence du vol d'août. Le constat de la cohabitation de l'univoltine et de la bivoltine surtout en zone 1 et 2, et peut-être en zone 3 et 4, suscite plus de questions, soulève plus d'hypothèses, et ouvre une voie vers de nouvelles pistes à explorer.

D. Comment améliorer le piégeage de la pyrale au niveau du réseau SBT ?

1. Un piégeage à mettre en place avec un réseau performant

Le piégeage est un outil qui peut se révéler performant s'il est utilisé de la bonne manière. Il faudrait que les pièges soient répartis de manière uniforme au sein de la région. Actuellement, le nombre de pièges par zone est assez hétérogène (Tableau 8). Il faudrait en avoir autant dans chaque zone. Car dans le cas où une zone capture plus de pyrales qu'une autre, on est incapable de dire si cela est à cause d'un nombre plus important de pièges, ou si c'est parce

2018	1	2	3	4	Total
Entre 1 et 5 relevés	5	4	9	2	20
(% de pièges de la zone)	24%	50%	56%	33%	38%
Entre 5 et 10 relevés	15	4	7	4	34
(% de pièges de la zone)	71%	50%	44%	67%	61%
Plus de 10 relevés	1	0	0	0	1
(% de pièges de la zone)	5%	0%	0%	0%	1%

Tableau 9. Nombre et pourcentage de relevés par zones

qu'il y a vraiment plus de pyrales. Ajouté à cela, le nombre de pièges lumineux par zone est tout aussi hétérogène. Il y avait un piège lumineux en zone 1, et trois en zone 3.

Il est recommandé aussi que le suivi soit régulier, ce qui n'est pas toujours le cas (Tableau 9). Sur 10 semaines de relevés (16 en zone 1), 61% des pièges font plus de 5 relevés, et 1/3 des pièges font 3 relevés ou moins. D'autant plus que pour le piège lumineux, certains insectes peuvent avoir des caractéristiques morphologiques assez similaires, et un œil non averti peut alors confondre deux insectes différents.

Une piste serait d'intégrer des agriculteurs-observateurs, encore très peu présent dans le réseau aujourd'hui. Il faut continuer de transmettre les informations, d'organiser des formations sur la pyrale auprès des agriculteurs. Tout cela pour soulever le travail collectif que la pyrale demande mais aussi pour faire passer les agriculteurs de lecteurs du BSV à acteurs du suivi sanitaire de la région Pays de la Loire. Ces derniers peuvent mettre un piège sur une parcelle à proximité de leur corps de ferme afin qu'ils puissent s'en occuper. Il faut leur présenter les avantages que cela représente pour eux, à savoir le suivi de la dynamique de vol sur une de leurs parcelles, en insistant sur le peu de temps à consacrer à surveiller (relever le piège une fois par semaine, changer la phéromone une fois toutes les deux semaines, changer la plaque engluée si nécessaire). Ceci permettrait d'avoir un nombre plus important de pièges, et une répartition plus homogène. Les agriculteurs possédant déjà un piège sur le réseau effectuent un suivi plutôt régulier car le piège agit comme un indicateur précis d'une de leurs parcelles.

2. Un piègeage dépendant du type de piège utilisé

Le piège delta est celui le plus utilisé dans le réseau SBT français, de par sa facilité d'utilisation et sa fiabilité lorsqu'il est en réseau. Cependant, ce dernier est considéré comme non adapté au vol de la pyrale, car la forme du piège est un paramètre important pour la fiabilité du piège. Chaque espèce d'insecte possède des exigences particulières en termes d'atterrissage (Frérot et al, 2015). Il est légitime de se poser la question si le piège delta doit être abandonné / ou complété pour un autre type de piège, et si oui lequel ?

Les pièges à phéromones apparaissent comme moins efficaces que le piège lumineux. Le principe du delta repose sur le fait que seul le mâle de la pyrale soit capturé. Cela confère au piège une sélectivité que l'on ne retrouve pas chez le piège lumineux. Mais l'utilisation de phéromones se conjugue avec certaines contraintes. La capture d'un seul sexe (les mâles) ne permet en aucun cas, de connaître le nombre de femelles présentes. Et il n'existe peu, voire pas, de liens entre le nombre de pyrales capturées et la pression larvaire ou le risque de dégâts. (Frérot et al, 2015).

Dans le cas où le piège delta serait abandonné au profit du piège nasse, cela impliquerait de grands changements. Il faudrait dans un premier temps changer tous les pièges de tous les observateurs. Les membres du réseau SBT observent tous la pyrale au moyen d'un piège delta. Si l'on prend entre 50 et 80 observateurs, il faudrait autant de pièges avec un coût de remplacement exorbitant. Ce piège est sous brevet américain, et il n'existe pas de fournisseur sur le territoire français, ce qui rend l'approvisionnement assez difficile et un prix assez élevé. Le piège nasse nécessiterait, tout comme le piège delta, un suivi régulier avec un changement de phéromones toutes les deux semaines. Une compétence dans l'identification serait appréciable car bien que sélectif, le piège, de par sa structure, capture d'autres insectes, qui ne peuvent ressortir de celui-ci. Il éviterait aussi l'utilisation de plaques engluées, le changement

de celles-ci, ainsi que les problèmes liés à la colle (saturation, plaque qui ne colle plus suffisamment).

Dans la même comparaison, avec le piège lumineux, le coût du changement serait encore plus important. Le prix du piège, en lui-même, est non négligeable, auquel vient s'ajouter le prix de l'électricité (ou de la batterie). Car le piège lumineux a besoin d'une source électrique (fixe ou déplaçable) pour fonctionner. En fonction du nombre d'heures pendant laquelle la source lumineuse va être allumée, les coûts seront différents. Le nombre de ces pièges est inférieur au nombre de deltas présent. Selon JB Thibord, expert Arvalis, une dizaine de pièges répartis de manière homogène sur la région suffiraient au suivi du vol de la pyrale. Par rapport à la distance de la source sur laquelle il est branché, une rallonge, résistante aux conditions extérieures, est peut-être nécessaire. Mise à part son coût, le piège nécessite un suivi très régulier (deux ou trois fois par semaine pendant la période de vol), ainsi qu'une bonne connaissance du lépidoptère. Selon les conditions climatiques, qui seront favorables ou non aux vols d'insectes, le piège peut capturer une énorme quantité d'insecte, d'où la nécessité de le vérifier régulièrement. Cela peut alors très demander en temps. Ce dernier est non-sélectif, il faut savoir reconnaître la pyrale d'un autre lépidoptère, et savoir distinguer le mâle de la femelle.

Dans l'optique, où ce changement de pièges ne pourrait s'effectuer, le retour de la cage à émergence peut s'avérer utile. Comme l'expérience des étudiants de l'IUT l'a démontrée, la cage est un outil relativement fiable. Cette méthode a permis de confirmer les informations obtenues par le piégeage des observateurs présents dans cette même zone. Malgré les résultats encourageants obtenus avec la cage à émergence, certains points d'amélioration sont à souligner. Tout d'abord, il est recommandé de mettre plus de cannes et/ou d'épis pour avoir des données plus significatives. Un minimum de 500 cannes est conseillé, alors que dans le cas de l'IUT, la cage possédait moins de 100 tiges et épis. Cette augmentation permettrait d'avoir plus de données, afin d'affiner la courbe de vol. Les résultats seront alors plus précis, car ils permettront de détecter le début de vol et donc augmenter l'efficacité de certains traitements. En effet l'application des trichogrammes nécessite l'information du début de vol afin de caler les sorties des micro-hyménoptères avec la ponte des pyrales. Dans le même contexte, une cage de chrysalidation pourrait être également suivie. Le principe est identique, mais le stade ciblé correspond aux chrysalides. Au stade 20-30% de chrysalides, les trichogrammes sont déclenchés pour être synchronisés avec la ponte des pyrales (Vigiculture, 2012).

Le plus gros inconvénient de cet outil est qu'il est très chronophage. La cage à émergence nécessite une observation régulière, quasi-quotidienne, afin de noter les émergences des papillons. Il serait, tout de même, intéressant de retenter cette expérience, mais avec plus de tiges de maïs, provenant de différentes parcelles différentes pour avoir un échantillon diversifié des pyrales présentes localement. En soulignant que, les tiges prélevées devront subir les mêmes conditions extérieures que les autres résidus de maïs. Les larves présentes dans les tiges devront être, si possible, comptabilisées afin de déterminer le taux de mortalité hivernale. L'optimum serait d'avoir au moins une cage par zone. Chaque zone climatique pourrait avoir un moyen de comparer le piégeage venant des deltas, nasse, etc. au relevé de la cage à émergence.

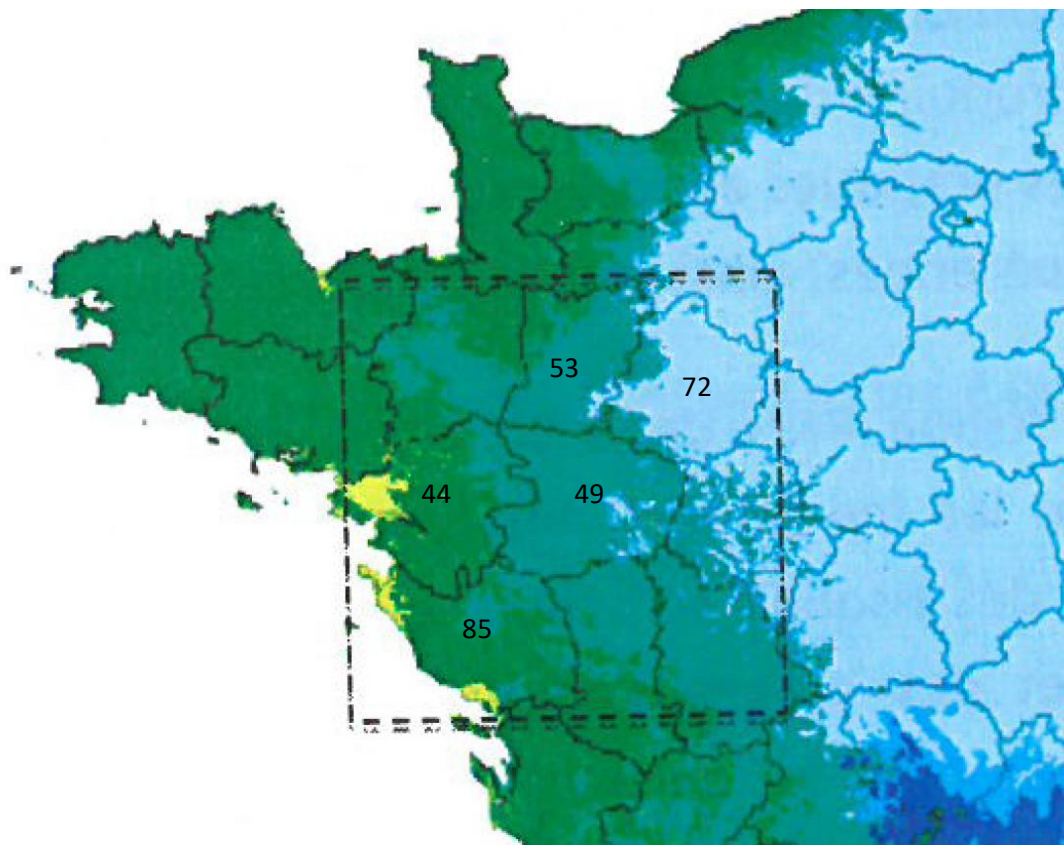


Figure 31. Les différents climats en Pays de la Loire (Météo France)

3. Mieux prévoir le début du piégeage...

En parallèle de tous ces moyens de suivi en temps réel, l'utilisation d'un modèle pourrait prédire l'arrivée de ces pyrales, et donc savoir quand positionner ses pièges. Un piégeage efficace passe aussi par la mise en place des pièges dans les temps. Par exemple, cette année en zone 1, les premiers résultats du piège lumineux sont arrivés en semaine 23, alors que le pic de vol était déjà annoncé. On ne sait pas si le piège a été placé tardivement ou si les résultats ont tous été transmis. L'information la plus cruciale dans la dynamique de vol correspond au début du vol et au pic du vol car cela correspond au maximum de la reproduction et donc au maximum d'oviposition (Frérot et al, 2015). Ces deux informations sont nécessaires dans le cas d'applications de trichogrammes (lutte contre les œufs de pyrales), et l'application d'une solution chimique (produit ovocide et/ou larvicide).

Bien que le modèle simplifié utilisé au cours de l'essai soit très basique, les résultats obtenus sont satisfaisants. Il faut également savoir qu'une semaine est notifiée comme semaine de vol s'il y a au moins une pyrale présente. Ce qui veut dire que les cases vertes ne traduisent pas le nombre de pyrales pour la zone, il peut autant bien en avoir une ou alors dix. Par exemple, pour la zone 1 en 2017, le vol peut sembler assez long, mais à partir de la semaine 25, il n'y a, au maximum, que 4 pyrales par semaine pour l'ensemble de la zone. Cette figure permet d'avoir un aperçu général de la dynamique de vol des différentes zones, sans entrer dans les détails.

Dans celui-ci, l'apparition de la pyrale est uniquement corrélé aux sommes de températures base dix. Même s'il s'agit d'un des facteurs principaux contrôlant le développement des pyrales, il ne doit pas être l'unique. Pour le moment, le modèle simplifié ne fait que du suivi et non pas des prédictions.

Les températures moyennes et les précipitations de la semaine ont un effet sur les modalités de vols des papillons. Les vols sont corrélés avec les changements des conditions météo. Les modalités de vols les plus longues ont été observées dans des années avec des périodes relativement froides et avec peu de précipitations. Le vol est très court durant les périodes chaudes et pluvieuses, et courtes durant les périodes chaudes et sèches (Rak Cizej et al, 2017). En observant la figure 20, on observe que l'amplitude de vol est différente en fonction des trois années. Si on compare les années 2016, 2017 et 2018, on confirme un peu ce qui a été dit précédemment. Des bilans climatiques ont été réalisés pour ces trois années à l'aide de données climatiques Météo France. L'année 2016 présentée comme la plus fraîche est celle avec une durée de vol plus long pour l'ensemble des zones. Contrairement aux années 2017 et 2018, plus chaudes avec une durée de vol plus courte. Et même, un peu plus court pour 2018, où le début de la période a été plus pluvieux. De plus, les conditions climatiques sont présentées dans un contexte régional, il peut exister des variantes locales qui ne sont pas toutes été expliquées, et pouvant influencer le nombre de pyrales capturées. Cependant, cela confirme tout de même, la grande sensibilité de la pyrale aux différentes conditions climatiques.

En effet, ces zones climatiques ont été établies afin d'obtenir une meilleure vision de la dynamique de vol de la pyrale. Auparavant, les courbes étaient réalisées par département, où là aussi, le maillage des pièges n'était pas très homogène. On peut alors observer plusieurs pics d'amplitudes différents qui pouvaient se succéder. De plus, les climats observables ne se cantonnent pas aux frontières départementales. D'après Météo France, les Pays de la Loire se découperaient en trois zones climatiques distinctes (Figure 31). Cette configuration a été testée mais elle s'est révélée incomplète. La répartition des pièges ne permet pas d'établir de

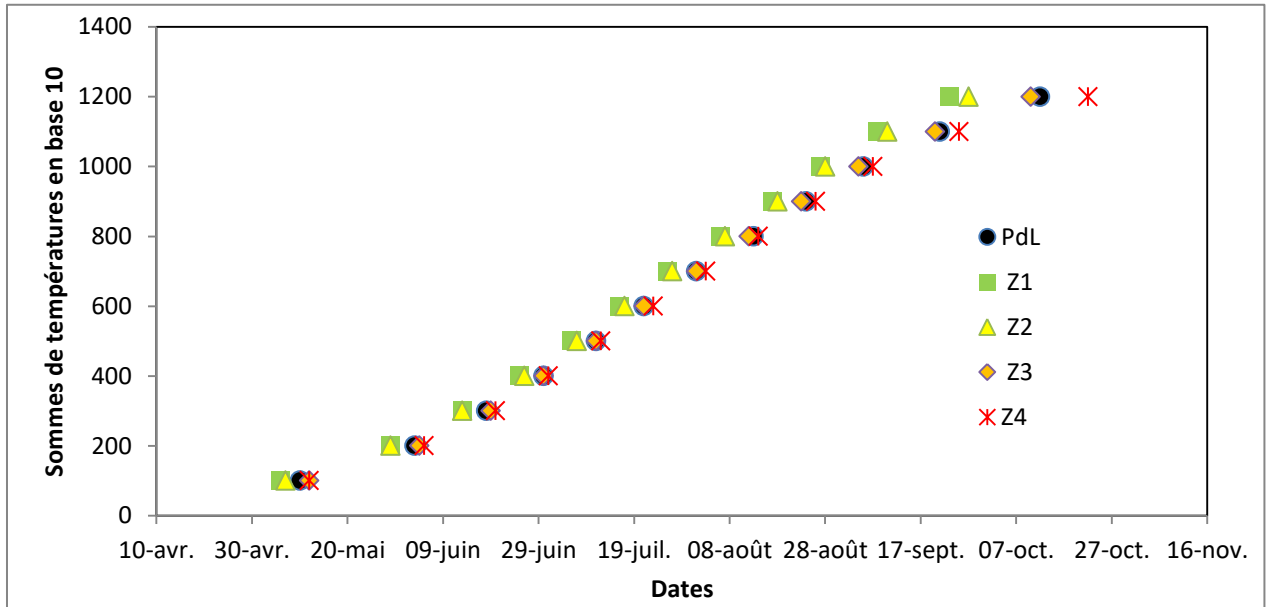


Figure 32. Dates de franchissement des seuils de sommes de températures en base 10

nouvelles zones, car l'établissement de celles-ci sont limitées par le nombre de pièges présents dans les différents départements. De plus, d'après cette carte, le département du Loire-Atlantique semble dans la même zone que la Vendée. Or, la Vendée est toujours la zone à avoir les pyrales en premier, avec un décalage (une avance) sur les départements du 44 et 49. La figure 32 représente la date à laquelle chaque centaine de somme de température en base 10 est franchie. Les quatre zones utilisées sont identifiées, et l'objectif est de montrer qu'il existe une différence bien réelle entre ces zones, notamment au niveau de la température, c'est pourquoi ce zonage est conservé. La carte, établie par Météo France, indique des climats généraux, et le fait que plusieurs pics soient présents sur un département montre l'importance de paramètres locaux influençant l'apparition et le maintien des pyrales dans la zone.

4. Le fonctionnement « idéal »

Une préconisation serait que le réseau conserverait les pièges deltas, un changement brutal de pièges aurait un budget trop important. Une meilleure répartition des pièges devrait être effectuée, notamment ajouter plus de pièges en zone 2 et 4. Dans le cas où, d'avantage de pièges ne pourrait être placés, ou alors s'il y présence de « zones blanches » dans le maillage des pièges, une cage à émergence/de chrysalidation pourrait y être insérée afin de pallier à ce manque de données. Des pièges lumineux sont à ajouter, surtout pour les zones qui sont dépourvus. Ils devront être réparties de manière homogène mais sur des parcelles ne possédant aucun piège à phéromones, et si possible éloignés de lumières parasites qui pourraient entrer en compétition. Par exemple, deux à trois pièges lumineux pour chacune des zones. Sachant qu'il faut affecter ces pièges à des personnes dont le suivi est régulier, et possédant des connaissances dans l'identification (et la reconnaissance du genre). Des pièges nasses peuvent être rajoutés à condition d'en obtenir et/ou d'en fabriquer.

Toutes ces observations pourraient être accompagnées d'un modèle de prédiction. Ce dernier annoncerait la date possible de début de vol, permettant l'anticipation du positionnement des pièges, et donc, la détection du début de vol. Par exemple, l'OAD (Outil d'Aide à la Décision) sur la pyrale du maïs de Promété (en cours de validation), va calculer différents indicateurs (sortie de diapause, vol, pontes, éclosions, pour les différentes générations), en s'appuyant sur des données météorologiques. Ce modèle prédictif permettrait alors d'obtenir des valeurs qualitatives sur la pyrale en Pays de la Loire.

Même si les pièges sont négatifs, les pyrales sont peut-être présentes sur les parcelles suivies. Des comptages larvaires peuvent se révéler nécessaire. Ils peuvent ainsi fournir un indicateur du risque de la dégradation de la qualité de la récolte, tout comme présenter le risque potentiel de la pression pyrale pour l'année suivante. Avec des comptages sur tout le réseau, cela fournirait une carte du risque pyrale pour l'année suivante. Cette carte, à présenter aux agriculteurs, pourrait être un moyen de les impliquer collectivement dans la gestion de la pyrale. Les résultats obtenus peuvent alors influencer l'agriculteur pour les pratiques qu'il pourrait effectuer. Dans le cas de fortes pressions, un broyage très fin des résidus, et/ou un labour pour les enfouir est vivement recommandé pour la qualité sanitaire de sa parcelle mais aussi pour celles des autres. Il ne faut pas oublier que la pyrale est un lépidoptère très mobile. De ce fait, les actions réalisées par un agriculteur devrait être réfléchit collectivement afin d'éviter les phénomènes de concentration dans un champ, et qui pourrait se définir comme une source potentielle de ravageur pour l'année suivante pour les futures parcelles de maïs. Les comptages larvaires pourraient être une occasion de prélever des larves de première et

deuxième génération afin de réaliser des tests génétiques. Cette évaluation permettrait d'identifier si la race bivoltine est effectivement présente.

En termes de paysage, il est difficile d'apporter des recommandations, surtout avec des facteurs peu identifiés. Il est en revanche possible de mettre en place un ou plusieurs essais qui confirmerai(en)t ou non des questions soulevées par l'essai et certains agriculteurs comme l'effet de la variété du maïs sur la pyrale. Dans le cas où une meilleure répartition des pièges est effectuée, la base de VGObs pourrait servir à établir quelques faits, à condition que cette dernière soit entièrement complétée.

Ces ajouts apporteront alors un soutien aux pièges existants afin d'obtenir des conditions de piégeage homogène entre les différentes zones. Cette action régionale pourrait s'avérer un outil décisif, même si elle demandera du temps pour se mettre en place, et améliorerait ainsi le niveau de précision des informations fournies aux agriculteurs.

Conclusion

Bien que l'année ne soit pas favorable à l'essai étudié, le piège nasse apparaît comme le plus efficace des pièges à phéromones. Grâce à sa facilité d'utilisation, le piège delta est largement utilisé dans le réseau SBT. La non-adéquation du piège avec sa cible soulève quand même plusieurs questions. La coopération entre plusieurs méthodes de suivi du vol de la pyrale (modèle, cage à émergence, piège lumineux, comptage larvaire), sur un même réseau est alors suggéré afin d'apporter un soutien aux deltas et de conforter les résultats présentés par ces derniers.

Il est nécessaire de soulever une dernière fois l'importance d'un bon piégeage pour connaître les détails du vol afin d'optimiser l'efficacité des luttes mises en place par les agriculteurs.

L'effet du paysage sur le piégeage est relativement complexe à mettre en place. Ce type d'essai nécessite une étude à large échelle, de par l'implication d'une multitude de paramètres en interaction constante, rendant difficile l'identification de chacun d'entre eux. De plus, il semblerait que les pratiques culturales aient un effet sur le développement de la pyrale. Du fait de la mobilité de l'insecte, il convient de rappeler que la gestion collective est une étape nécessaire dans l'objectif de maîtriser le risque présenté par la pyrale. D'autant qu'une cohabitation des deux races (uni- et bivoltines) semble grandement se profiler, et pouvant indiquer une pression accrue. Avec le changement climatique qui devient de plus en plus fréquent dans les discussions, il serait intéressant de s'intéresser à l'adaptation de la pyrale face à ce phénomène. Le projet ORACLE est un observatoire qui établit un constat objectif du changement climatique en Pays de la Loire, et de ses conséquences sur l'activité agricole régionale. La pyrale du maïs est un des points de recherches étudié dans l'optique d'établir une prédiction quant à l'adaptation de cette dernière au changement climatique.

Bibliographie :

- AFSA, Alliance for Food Sovereignty in Africa ; Lutte biologique contre les parasites : le push-pull en Afrique de l'Est ; 2016.
- Arvalis Institut ; Diagnostic des accidents du maïs p86-87 ; Juillet 2012.
- Bodilis AM ; Formation Arvalis Ravageurs du maïs, Observateurs BSV Pays de la Loire ; 2014.
- Boukhris-Bouhachem Sonia. Insectes émergents : échanges non contrôlé ou changement climatique ? Comment prévenir? 2017. Annales de l'INRAT.
- Capinera J. L.; European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Insecta : Lepidoptera : pyralidae) ; 2014. Featured creatures, Entomology & Nematology UF/IFAS.
- Cathala A; En Afrique, le système « push-pull » protège le maïs des insectes foreurs et des adventices ; Travaux et Innovation n°231, p37-40, Octobre 2016.
- Coates BS, Dopman EB, Wanner KW, Sappington TW. Genomic mechanisms of sympatric ecological and sexual divergence in a model agricultural pest, the European corn borer; Insect Science; 2018.
- Dalecky A, Ponsard S, Bailey RI, Péliissier C, Bourguet D. Resistance evolution to Bt crops : predispersal mating of european corn borers ; Juin 2006. PLOS Biology.
- DeRozari M.B, Showers W.B, Shaw R.H. Environment and the sexual activity of the European Corn Borer ; 1977. Environmental entomology.
- Derron J.O, Goy G, Breitenmoser S. Caractérisation biologique de la race de la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) à deux générations, présente dans le Bassin lémanique ; 2009. Revue agronomique suisse.
- Dorhout D.L, Sappington T.W, Rice M.E. Evidence for obligate migratory flight behavior in young european corn borer females ; 2008. Environmental entomology.
- Etile E. Pratiques agricoles favorisant la répression des ravageurs des cultures par leurs prédateurs naturels ; 2013. Agriculture and Agri Food Canada.
- Fadamiro HY, Baker TC. Reproductive performance and longevity of female European corn borer, *Ostrinia nubilalis* : effects of multiple mating, delay in mating, and adult feeding ; 1999. Insect physiology.
- Frérot B, Ameline A, Verneau S, Thiéry D. Interactions insectes-plantes, chapitre 42 : Utilisations des médiateurs chimiques volatilis en protection des cultures. 2015
- Guide de culture du maïs grain et du maïs fourrage, Arvalis ; 2017
- Hellmich R.L, Pingel R.L, Hansen W.R. Influencing European corn borer aggregation sites in small grain crops; 1998. Environmental Entomology
- Hunt TE, Higley LG, Witkowski JF, Young LJ, Hellmich R.L. Dispersal of adult European Corn borer within and proximal to irrigated and non-irrigated corn ; 2001. Economic Entomology.
- Ikten C, Skoda S.R, Hunt T.E, Molina-Ochoa J, Foster J.E. Genetic variation and inheritance of diapause induction in two distinct voltine ecotypes of *Ostrinia nubilalis* ; 2011. Faculty publications : Department of Entomology.

- Jean C, Boisclair J ; Les insectes nuisibles et utiles du maïs sucré : mieux les connaître p59-62 ; 2009.
- Légaré JP, Moisan de Serres J, Morissette-Bélanger MH ; La pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) ; 2013. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, MAPAQ.
- Lorgeou J, Piraux F, Ruget F, Lacroix B, Souverain F, Bouthier A, Renoux JP. Conséquences de l'évolution des conditions climatiques des 20 dernières années sur la production de maïs grain et stratégies d'adaptation; 2009.
- Mason C.E, Stromdahl E.Y, Pesek J.D . Placement of pheromone traps within the vegetation canopy to enhance capture of male european corn borer; 1997. Journal of Economic Entomology.
- McLeod D.G.R. Factors affecting the temporal distribution of the spring flight of the European Corn Borer, *Ostrinia nubilalis*; 1981. The Canadian Entomologist.
- Nordin J.H, Cui Z, Yin C.L. Cold induced glycerol accumulation by *Ostrinia nubilalis* larvae is developmentally regulated; 1984. Journal of Insect Physiology.
- O'Rourke M.E, Jones L.E. Analysis of landscape scale insect pest dynamics and pesticide use: an empirical modelling study; 2011. Ecological applications.
- Oyediran I, Dively G, Huang F, Burd T. Evaluation of European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, larval movement and survival in structured and seed blend refuge plantings; 2016. Crop Protection.
- Parisot H ; Biocontrôle : des parfums pour piéger la pyrale du maïs ; La France Agricole n° 3743, p33, Avril 2018.
- Pélozuelo L, Frérot B. Behaviour of male European corn borer, *Ostrinia nubilalis* Hübner towards pheromone baited delta traps, bucket traps and wire mesh cone traps; 2006. Journal of Applied Entomology.
- Pélozuelo L, Frérot B; Monitoring of European corn borer with Pheromone baited traps: review of trapping system basics and remaining problems; 2007. Journal of Economic Entomology.
- Phytoma ; Le parfum du maïs peut-il leurrer la pyrale ? Octobre 2017, n°707, p26-29.
- Pleasants J.M, Bitzer R.J. Aggregation sites for adult European corn borers : a comparison of prairie and non-native vegetation ; 1999. Population Ecology.
- Reardon B, Sumerford D, Sappington T ; Impact of trap design, windbreaks and weather on captures of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) in pheromone-baited traps; 2006. Journal of Economic Entomology.
- Réussir Grandes cultures. Les insectes ne se font pas surprendre; Juillet – Août 2008.
- Royer L, McNeil J.N. Changes in calling behaviour and mating success in the European corn borer caused by relative humidity ; 1991. Entomologia Experimentalis et applicata.
- Rusch A. Analyse des déterminants des attaques de *Meligethes aeneus* et de sa régulation biologique à l'échelle d'un paysage agricole: Contribution à l'amélioration de la protection intégrée du colza; 2010.
- Oracle (Observatoire Régionale sur l'Agriculture et le Changement climatique), Etat des lieux sur le changement climatique et ses incidences en Pays de la Loire, Edition 2017.

- Sappington T.W ; First flight adult European Corn Borer distribution in roadside vegetation relative to cropping patterns and corn phenology ; 2005. Environmental Entomology.
- Sappington T.W, Showers W.B. Adult European corn borer flight activity in and away from aggregation sites; 1983. Environmental Entomology.
- Showers W.B, Berry E.C, Von Kaster L. Management of 2nd generation European corn borer by controlling moths outside the cornfield; 1980. Journal of Economic Entomology.
- Showers W.B, Hellmich R.L, Derrick-Robinson M.E, Hendrix W.H. Aggregation and dispersal behavior of marked and released European corn borer; 2001. Environmental Entomology.
- Showers W.B, Weiss M.J, Derrick M.E, Hendrix W.H. Potential movement on surface airflow of a bivoltine population of European corn borer into a historically univoltine habitat; 1995. Environmental Entomology.
- Stockel J, Sureau F, Carles JP. Signification et limites du piégeage sexuel de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* Hb.: recherche d'une relation entre captures de males et niveau de population; 1984. Agronomie, EDP Sciences.
- Stockel J, Peypelut A & L. Influence du type de culture et de l'antécédent cultural sur les déplacements des adultes de la pyrale du maïs ; 1986. Entomologia Experimentalis et applicata.
- Thiéry D, Brévault D, Quilici S, Dormont L, Schatz B. Interactions insectes-plantes, chapitre 22 : Modulations des comportements de recherches en fonction de paramètres endogènes ou exogènes. 2015.
- Tscharrntke T, Brandl R. Plant-insect interactions in fragmented landscapes; 2003. Annual Review of Entomology.
- Yagi S, Akaike N. Regulation of larval diapause by juvenile hormone in the ECB; 1976. Journal of Insect Physiology.

Sitographie :

- Agreste 2017, [URL](#), dernière consultation le 13 août 2018
- Arvalis info, 2018, [URL](#), dernière consultation le 17 août 2018
- Arvalis info 2, 2018, [URL](#), dernière consultation le 17 août 2018
-
- Auximore, 2014, [URL](#), dernière consultation le 17 avril 2018
- ANSES, 2018, [URL](#), dernière consultation le 25 juillet 2018
- DRAAF Bourgogne Franche-Comté, 2016, [URL](#), dernière consultation le 17 avril 2018
- Ecophytopic, 2017, [URL](#), dernière consultation le 10 juillet 2018
- Ephytia 2018, [URL](#), dernière consultation le 28 juin 2018
- Ministère de l'agriculture, 2011, [URL](#), dernière consultation le 26 juillet 2018
- Vigiculture, 2012, [URL](#), dernière consultation le 05 septembre 2018

Annexes :

Annexe 1. Caractéristiques biologiques des différents stades biologiques de la pyrale

		Taille	Forme
Œuf (Capinera, 2014)		Longueur: 1mm Largeur: 0,75mm	Ovale, aplati, blanc crémeux
Larve		De 1,5 à 20 mm (Capinera, 2014)	Jeune larve: Corps blanc crème, tête aplatie marron noire. Larves: Corps gris beige à brun avec des soies, tête brune, point dorsaux sur les segments thoraciques (Légaré et al, 2013)
Nymphose	Femelle	Longueur: 13-14 mm Largeur: 2-2,5mm (Capinera, 2014)	Chrysalide jaune-marron (Capinera, 2014)
	Mâle	Longueur: 16-17 cm Largeur: 3,5-4 mm (Capinera, 2014)	
Papillon	Femelle	De 20 à 26mm (Capinera, 2014)	Ailes fines, larges jaunes pâles avec de fines stries dentelées brunes et transversales (Ephytia 2018) Abdomen plus épais et court
	Mâle	De 25 à 34mm (Capinera, 2014)	Ailes plus sombres: couleur ocre à brun foncé (Ephytia 2018) Abdomen fin, long, dépassant les ailes au repos

Annexe 2. Nouvelles perspectives contre la pyrale du maïs

Des recherches sont également mises en place dans l'optique de trouver des solutions alternatives et/ou complémentaires à celles déjà existantes.

Des essais en Afrique ont mis au point un système push-pull contre la pyrale du maïs. Le maïs est associé à une plante intercalaire de *Desmodium*, une légumineuse, tandis qu'une graminée, l'herbe à éléphant, est plantée en bordure tout autour du champ. *Desmodium* produit des substances chimiques volatiles qui attirent les prédateurs des insectes nuisibles du maïs. Et émet également un faux signal de détresse qui indique que la zone est déjà infestée, ces substances poussent les femelles pondueuses à chercher des habitats où les larves auront moins de concurrence pour se nourrir. L'herbe à éléphant produit des substances chimiques volatiles qui attirent les femelles puis sécrète une substance collante qui piège les larves lorsqu'elles se nourrissent de ses tiges, peu de larves atteignent l'âge adulte. L'herbe à éléphant attire aussi des prédateurs de l'insecte. Le nombre d'œufs de pyrale et les dégâts causés par la larve étaient sensiblement plus importants en monoculture plutôt qu'en push-pull (Cathala, 2016) et les rendements ont augmenté de 20% (AFSA, 2016).

Une autre étude indique que la femelle pyrale repère le maïs sur lequel elle va pondre grâce à des Composés Organiques Volatils (COV). Elle utilise les signaux chimiques pour localiser et discriminer sa plante hôte. Le maïs produit les COV, il s'agit de métabolites secondaires, chaque parcelle a un paysage chimique qui lui est propre. Les insectes herbivores ont co-évolué avec les plantes, et utilisent des signatures chimiques d'un assemblage spécifique de COV pour reconnaître leur plante hôte. Les COV ont été collectés dans le champ de maïs pour être analysés, identifiés. Puis ils ont été testés en tunnel de vol, certaines odeurs du maïs ont induit un comportement d'attraction chez les femelles fécondées comparable à celui induit par la plante hôte. L'utilisation de ces COV pourrait être à l'avenir un moyen de lutte contre la pyrale du maïs (Phytoma, Octobre 2017). Arvalis essaye notamment de mettre au point des pièges adaptés utilisant les composés organiques volatils (Parisot, 2018).

Annexe 3. Localisation des parcelles de l'essai



Annexe 4. Partie pyrale du BSV du 24 juillet 2018

• Pyrales

Observation et analyse du risque

Cette semaine, sur 28 pièges relevés, 4 sont positifs. Au total, si 7 pyrales ont été capturées dont 5 en Vendée et 2 en Sud Sarthe.

Description du zonage utilisé



Zone 1 : sud de la Vendée

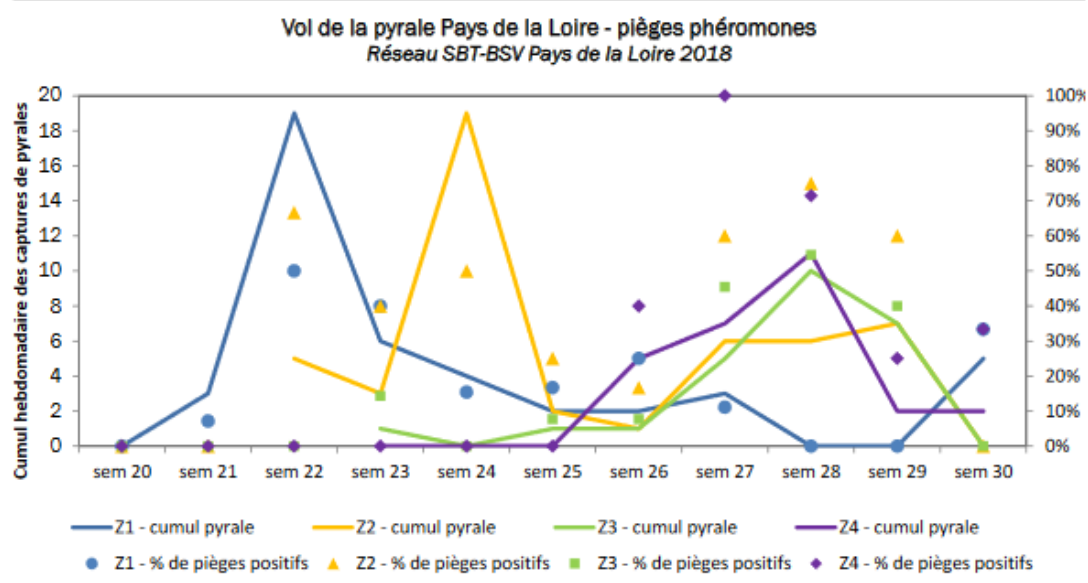
Zone 2 : sud Loire-Atlantique et Maine et Loire ainsi que la façade Atlantique

Zone 3 : centre et nord Loire Atlantique et Maine et Loire ; sud Mayenne

Zone 4 : centre et nord Mayenne ; Sarthe

Zones	1	2	3	4
Nombre de piège relevés cette semaine dans chaque zone	9	2	14	3
% de pièges positifs	33 %	0 %	0 %	33 %
Cumul pyrale sur la zone cette semaine	5	0	0	2

• Pyrales (suite)



Cette semaine, 9 captures ont été réalisées par des **pièges lumineux** au sein de la région : 9 pyrales (2 femelles et 7 mâles) dans le piège lumineux de Loire-Atlantique (MAUMUSSON - zone 3) ; les 2 autres pièges lumineux relevés cette semaine et situés en Mayenne et Vendée sont négatifs.

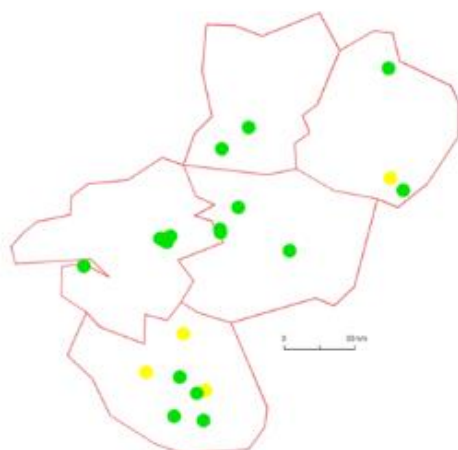
Dans l'essai en cours à Ligné (Loire-Atlantique—zone 3), en plus des pièges à phéromones, 1 pyrale a été capturée dans un piège nasse. Dans les 2 pièges nasse situées en Vendée 5 pyrales ont également été capturées.

La fin de vol semble être confirmée pour les **zones 2, 3 et 4**. En revanche, on constate des nouvelles captures pour la **zone 1**, il se peut qu'il s'agisse d'un deuxième vol.

Pyrale sur plaque engluée



• Pyrales (suite)



Captures de pyrales en semaine 30

(source VGOBS)

vert : 0 capture

jaune : entre 1 et 5 captures

rouge : plus de 5 captures

La présence des larves de pyrales dans les parcelles se traduit par différents symptômes sur les plantes :

- perforation des feuilles types « coup de fusil »
- Trou dans la tige (point d'entrée de la larve) avec présence de sciure.



Larve de pyrale



Perforation trou de fusil



Trou avec présence de sciure

Méthodes
alternatives



Pour lutter efficacement contre la pyrale sans avoir recours aux insecticides, des méthodes alternatives existent :

- Broyage fin et enfouissement des cannes de maïs précédent
- Trichogrammes (petit hyménoptère qui détruit les populations de pyrale en pondant dans leurs œufs)

Annexe 5. Questionnaire envoyé aux membres du réseau SBT

Impact du paysage sur la pyrale du maïs.

Ce questionnaire s'intègre dans le cadre d'un stage de fin d'études. Ce dernier a pour but de déterminer quel est l'effet du paysage sur le piégeage de la pyrale du maïs. Une des principales hypothèses est le rôle du maïs en tant que précédent cultural comme facteur indissociable de l'émergence des pyrales. C'est pourquoi, la position des précédents maïs et des champs de maïs sont recherchés afin de déterminer comment peut se comporter la pyrale face à des mosaïques paysagères différentes. D'autres questions vont tenter de déterminer l'influence de potentiels facteurs de variation.

En vous remerciant par avance.

NOM :

Prénom :

La parcelle :

- Nom de la parcelle sous VGOBS :
- Localisation de la parcelle sur un plan satellite (afin de distinguer certaines caractéristiques, estimation des surfaces etc.) avec la position du piège.

- La parcelle est-elle entourée d'une composante arborée/ arbustive ?
 - Si oui, quelle est sa hauteur (approximative), est-elle régulière, c'est-à-dire est-elle dense, ou avec des ouvertures (beaucoup, peu) ?

 - Jugeriez-vous que la parcelle soit un milieu assez ouvert (type openfield), fermé (type bocage), autres (à préciser) ?

 - Savez-vous quelle est la direction des vents dominants ?

 - Jugeriez-vous que les pièges soient exposés au vent ? Beaucoup, assez, pas du tout ?

- Quelles sont les pratiques culturales : labour, broyage des résidus, irrigation, utilisation de trichogrammes, etc.

Parcelles avoisinantes (dans la mesure du possible ; à compléter avec l'agriculteur au besoin) :

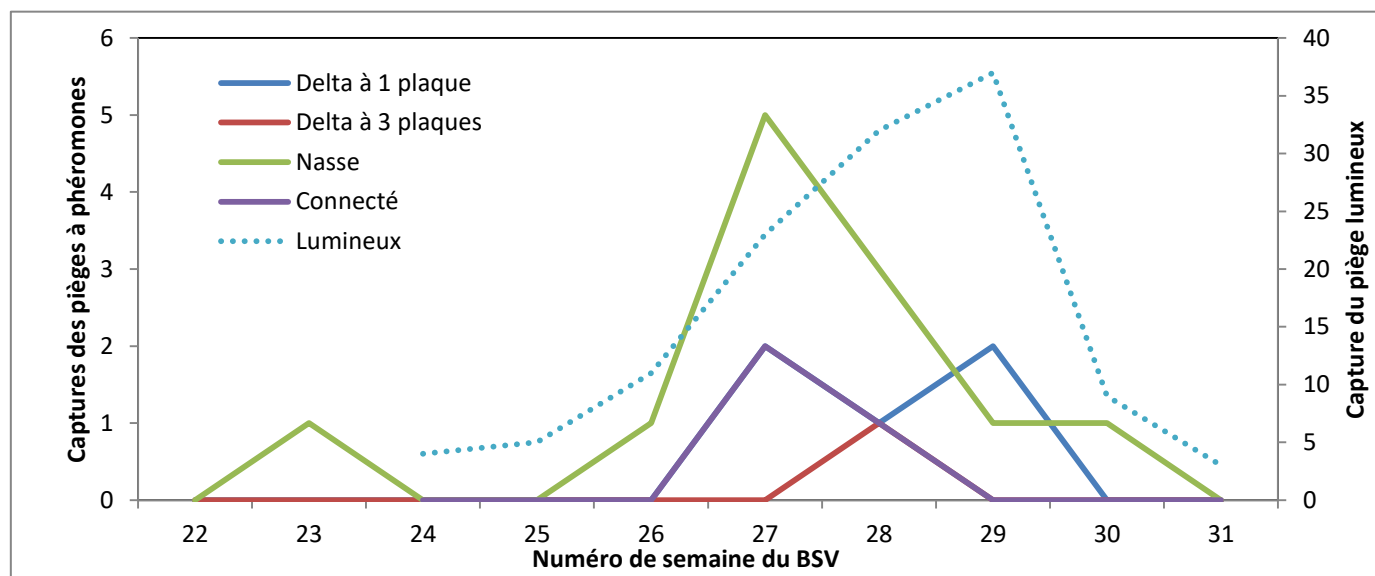
- Quelle est l'occupation des sols dans les parcelles avoisinantes ? Prairie, céréales à paille, maïs, oléagineux, protéagineux, occupation forestière, autres
 - Si présence de parcelles de maïs : positionnement sur la carte satellite au début du questionnaire (pour une estimation de la surface)
- Existe-t-il des parcelles avoisinantes à **précédent** maïs ?
 - Si oui, combien ? Localisation sur la carte satellite au début du questionnaire (pour une estimation de la surface)
 - Les résidus ont-ils été broyés ? La parcelle avoisinante a-t-elle été labourée ?
 - Connaissez-vous la pression larvaire à l'automne 2017 (nombres de larves par plante ou donnée qualitative) ?

Bandes enherbées :

- Quelle est la composition de la bande enherbée (Espèces majoritaires) ?
- Est-elle fauchée, broyée, ou autre ? Si oui, quand ?
- Si présence de point d'eau, quelle est sa nature : fossé, rivière, étang ? Est-il présent l'été ? Ou s'assèche-t-il ?

Commentaire(s) libre(s) :

Annexe 6. Résultats des trois pièges à phéromone de l'essai



Annexe 7. Résultats statistiques (anova 1 facteur) sur l'efficacité des pièges au sein d'une même parcelle, et pour chacune d'entre elles

Analysis of Variance Table

Response: intpi_Dupas\$Pyrales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
intpi_Dupas\$Piege	2	0.8667	0.43333	1.6027	0.2199
Residuals	27	7.3000	0.27037		

Response: intpi_Trich\$Pyrales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
intpi_Trich\$Piege	2	0.24	0.12000	1.1	0.3505
Residuals	22	2.40	0.10909		

Response: intpi_Canta\$Pyrales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
intpi_Canta\$Piege	3	1.1934	0.39781	0.9542	0.4255
Residuals	34	14.1750	0.41691		

Response: intpi_Rup\$Pyrales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
intpi_Rup\$Piege	1	0.05	0.05	1	0.3306
Residuals	18	0.90	0.05		

Response: intpi_Dav\$Pyrales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
intpi_Dav\$Piege	2	0.26667	0.133333	2.25	0.1248
Residuals	27	1.60000	0.059259		

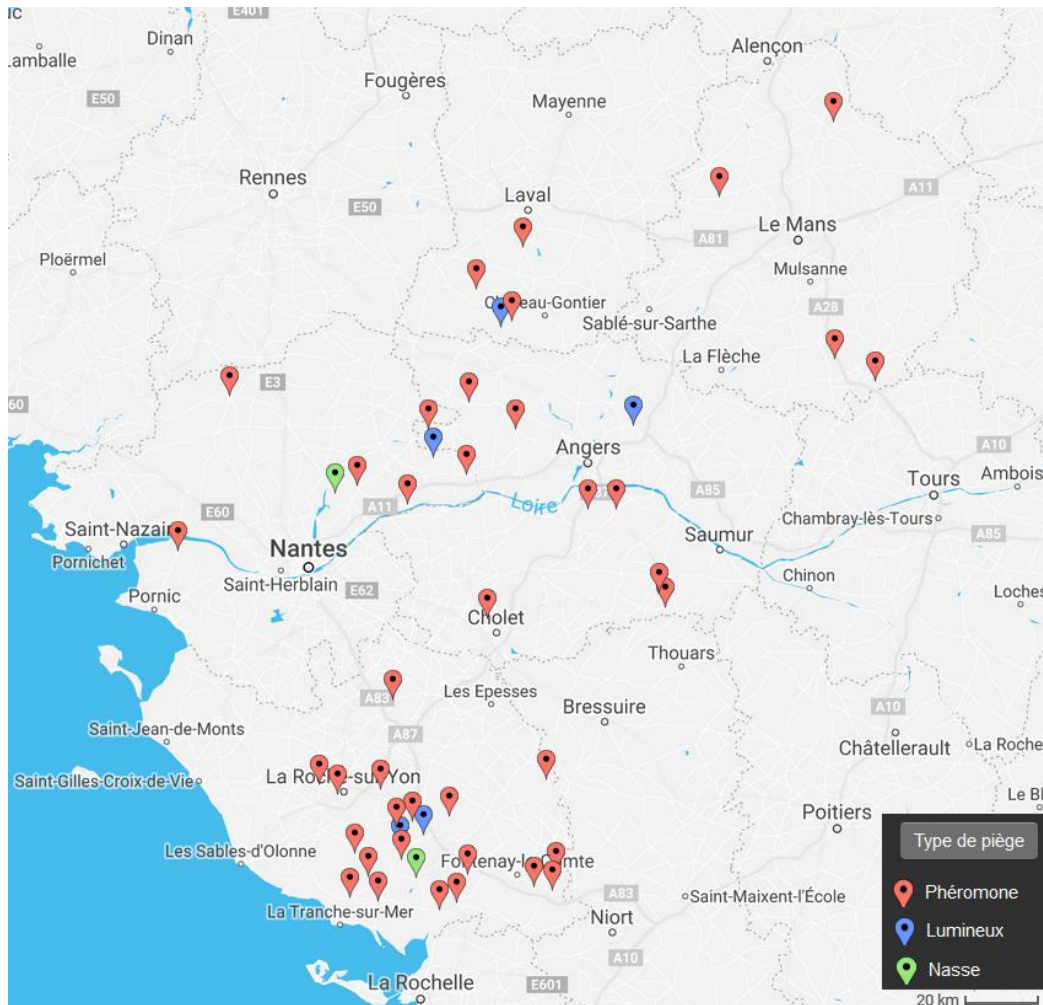
Annexe 8. Résultats statistiques (anova 1 facteur) sur la comparaison entre les pièges des différentes parcelles

Analysis of variance Table

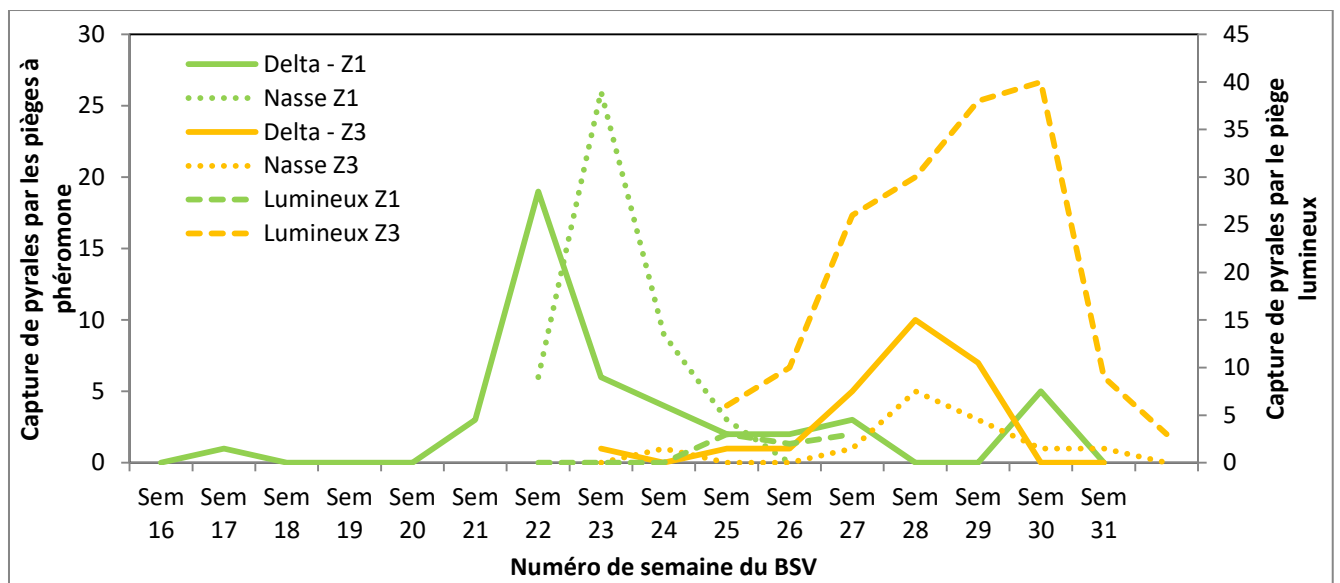
Response: parc2\$capture

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
parc2\$piege	13	3.1	0.23846	1.2824	0.2326
Residuals	121	22.5	0.18595		

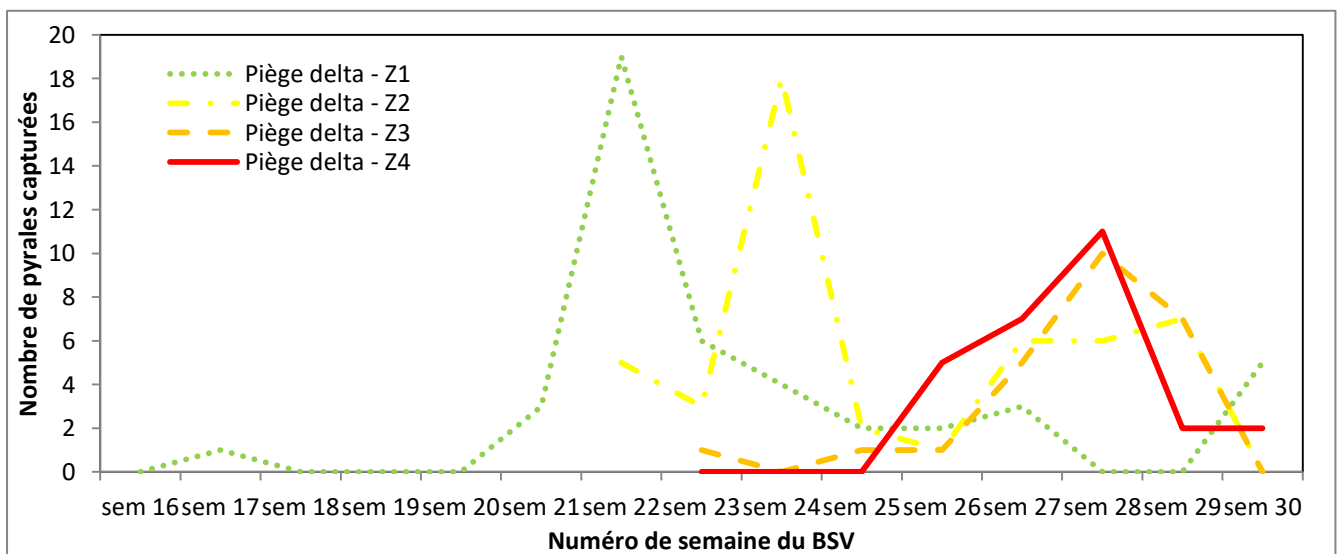
Annexe 9. Carte de localisation des pièges du réseau SBT Pays de la Loire



Annexe 11. Capture de pyrales selon différents pièges en zone 1 et 3



Annexe 10. Courbes de capture de la pyrale par les pièges à phéromone sur les quatre zones du réseau



Annexe 12. Présentation des données récoltées par le questionnaire sur le paysage

Nom	Prenom	Parcelle	Pyrales	Expovent	typeparcelle	ventsdo	labour	broyage	irrig	corag	Tric	voispré	voisbl	voismé	presp	BE	opebe	dateopebe	pointo	alimpoin
CHASTRUSSE	Adeline	Essai_1	14	Assez	Fermé	ouest	non	non	non	non	non	oui	non	non	non	oui	Fauchée	Fin mai	Ruisseau	
CHASTRUSSE	Adeline	Essai_2	10	Très	Ouvert	ouest	non	non	non	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	Fauchée	Début Juin	Ruisseau	Toujours en eau
TEMEN	Laëtitia	Cerizé	7	Assez	assez ouvert	Ouest	non	non	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui	oui	tondue	tous les 15j	non	/
HURTELOUP	Christian	Reserv	5	Face au vent	ouvert	Nord-est	oui	oui	oui	non	non	non	oui	oui	oui	non	Broyage	fin Juin	Réserve d	Toujours en eau
SARRAZIN	Cyril	La Mai	5	Assez	Fermé	ouest	non	NC	non	non	oui	oui	NC	NC	NC	oui	NC	NC	Fossé	Présence d'eau
BARRIER	Alexia	La Réo	5	Peu	Fermé	ouest	oui	non	oui	non	non	oui	oui	non	oui	oui	Fauche	Fin-juin	Ruisseau	Toujours en eau
CHASTRUSSE	Adeline	Essai_1	5	Assez	Fermé	ouest	non	non	non	oui	non	oui	oui	oui	non	oui	Fauchée	Mi-juin	Fossé	Sec en été
CHASTRUSSE	Adeline	Essai_2	4	Très	Ouvert	ouest	non	non	non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	Fauchée	Fin mai	Fossé	Sec en été
TIGNON	Emeline	Echass	4	Assez	Ouvert	NC	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	Broyée	une fois par a	2 étangs c	Toujours en eau
RICHARD	Justine	Les Lar	3	beaucoup	openfield	ouest	oui	oui	NC	oui	non	oui	non	oui	non	non	/	/	non	/
BODILIS	Anne-Moniqu	Barrièr	3	Moyennemen	Assez fermé	Ouest	non	oui	NC	NC	NC	non	non	non	non	oui	Broyage	printemps	non	/
JAULIN	JOELLE	Angles	3	Assez	Fermé	Ouest	oui	non	oui	non	non	non	oui	oui	oui	non	/	/	NC	/
RICHARD	Justine	La Peri	2	Très peu	openfield	est	oui	oui	NC	oui	non	non	oui	oui	oui	non	/	/	non	/
BODILIS	Anne-Moniqu	Charm	2	Assez	Assez ouvert	Ouest	non	oui	non	non	non	oui	oui	non	oui	oui	Broyage	printemps	Fossé	Toujours en eau
CHASTRUSSE	Adeline	Essai_1	2	Peu	Assez fermé	ouest	non	non	non	non	oui	oui	oui	non	oui	oui	Fauchée	Mi-juin	Fossé	
CHASTRUSSE	Adeline	Maïs N	2	Peu	Ouvert	ouest	non	non	non	non	non	non	oui	oui	oui	non	/	/	Fossé	Sec l'été
BARRIER	Alexia	GAEC G	1	Peu	Fermé	Ouest	oui	non	non	non	non	oui	non	non	oui	oui	Broyage	Début juillet	non	/
CHASTRUSSE	Adeline	Maïs N	1	Assez	Assez ouvert	ouest	non	non	non	non	non	oui	oui	non	non	/	/	/	Petit poin	En cas de pluie
LE GALL	Christophe	Derrièr	0	Assez	Fermé	Ouest	oui	oui	oui	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	Broyage	juin	non	/
BARRIER	Alexia	Maïs L	0	Assez	Assez fermé	Ouest	oui	non	non	non	non	oui	oui	oui	non	non	non	/	Fossé	En cas de pluie

Annexe 13. Décalage entre dates normales et dates observées

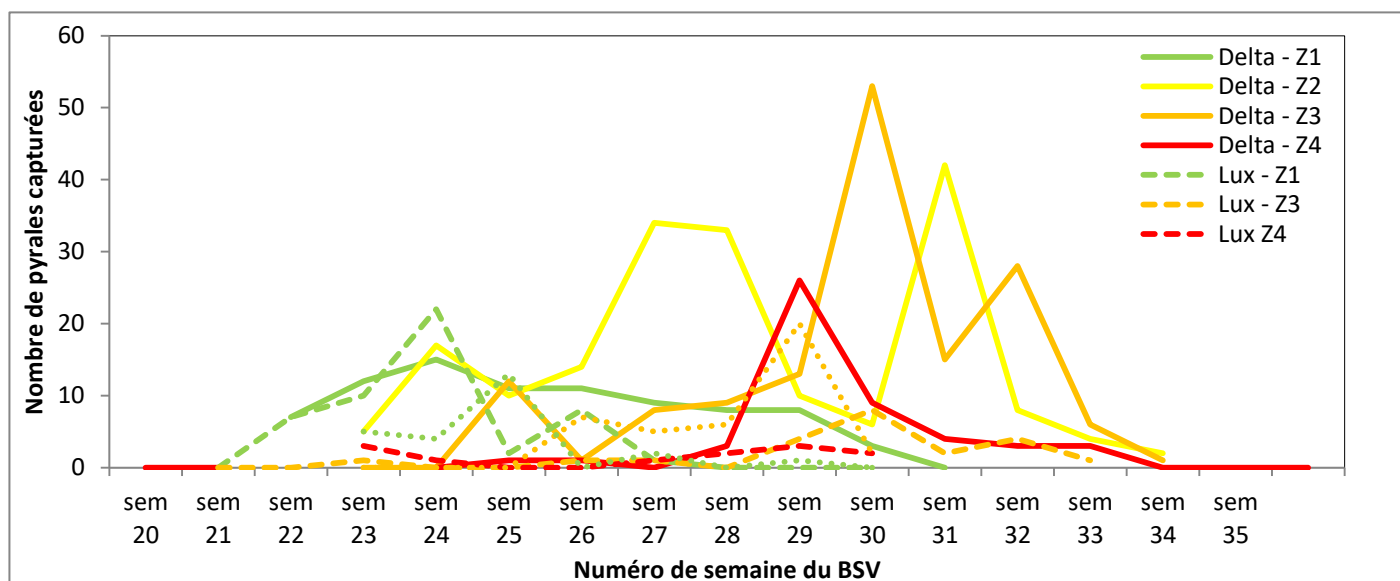
2016	Z1	Z2	Z3	Z4		2017	Z1	Z2	Z3	Z4		2018	Z1	Z2	Z3	Z4
100	7	6	7	10		100	-6	-3	-1	3		100	-14	-15	-15	-6
200	6	6	3	5		200	-7	-6	-10	-8		200	-9	-9	-13	-10
300	4	4	2	5		300	-13	-12	-13	-9		300	-12	-11	-16	-13
400	5	4	4	8		400	-12	-13	-13	-11		400	-12	-14	-14	-11
500	6	5	5	7		500	-15	-17	-17	-11		500	-12	-13	-14	-12
600	5	4	3	7		600	-13	-15	-16	-14		600	-15	-16	-16	-15
700	5	4	2	9		700	-15	-17	-18	-15		700	-16	-17	-19	-17
800	5	4	3	8		800	-17	-20	-19	-13		800	-19	-20	-21	-19
900	3	3	1	4		900	-17	-19	-19	-12		900	-21	-23	-24	-23
1000	1	0	-3	2		1000	-15	-16	-19	-13		1000	-23	-24	-29	-26
1100	-2	-4	-9	-2		1100	-17	-19	-25	-18		1100	-27	-29	-34	-33
1200	-6	-10	-16			1200	-22	-28	-32	-21		1200	-32	-36		
1300	-8	-15	NA			1300	-21	-30	NA			1300				
1400						1400	-45	NA	NA			1400				
						1500	NA	NA				1500				
	2	1	0	6			-17	-17	-17	-12			-18	-19	-19	-17

Période du vol univoltin estimée sur:
 une partie de la centaine de degrés-jour
 la totalité de la centaine de degrés-jour

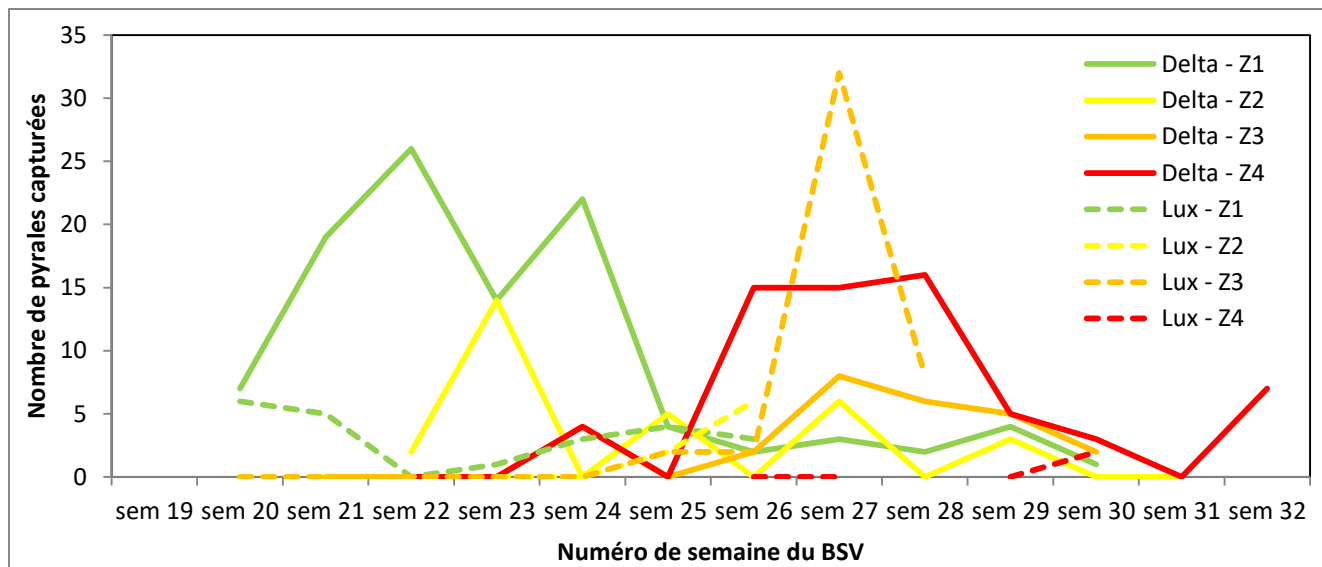
Annexe 14. Résultats statistiques (anova à un facteur) sur la position des pièges dans chaque parcelle

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
> anova(aovpos)							
Datapos\$Position	1	0.000	0.0000	0		1	Dupas
Residuals	28	8.167	0.2917				
> anova(aovpos)							
Datapos\$Position	1	0.0625	0.0625	0.558		0.463	Trichet
Residuals	23	2.5775	0.1121				
> anova(aovpos)							
Datapos\$Position	1	0.317	0.3173	0.759		0.389	Cantaloube
Residuals	36	15.051	0.4181				
> anova(aovpos)							
Datapos\$Position	1	0.05	0.05	1		0.331	Rupaud
Residuals	18	0.90	0.05				
> anova(aovpos)							
Datapos\$Position	1	0.000	0.00000	0		1	David
Residuals	28	1.867	0.06667				

Annexe 15. Courbes de vol de la pyrale en fonction du type de piège et de la zone en 2016



Annexe 16. Courbes de vol de la pyrale en fonction du type de piège et de la zone en 2017





VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études

SAGNIER Charles

Option : Concevoir et accompagner l'innov'action en agronomie
2017-2018

Amélioration du piégeage de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, en région Pays de la Loire

Structure d'accueil :

Chambre d'agriculture régionale Pays de la Loire (CAPDL) – Antenne d'Ancenis (44)

Encadrants :

Maître de stage : CHASTRUSSE Adeline

Tuteur pédagogique : NOWAK Benjamin

Résumé :

La pyrale du maïs est un lépidoptère dont la larve se nourrit des pieds de maïs pouvant occasionner des dégâts importants. Dans le cadre du Bulletin de Santé du végétal (BSV), ce ravageur est suivi par un piégeage à phéromone. L'amélioration du piégeage se traduit par une volonté d'affiner la fiabilité et la précision des résultats présentés aux agriculteurs afin d'optimiser les traitements (chimique ou biologique).

Une comparaison de différents pièges a été mise en place, tout en essayant d'observer l'impact potentiel du paysage sur le piégeage. Après comparaison des trois pièges à phéromones, le piège nasse apparaît plus efficace par rapport aux pièges deltas (à une et trois plaques engluées). Un piège lumineux et une cage à émergence ont également été testés en parallèle. Un phénomène de compétition entre les femelles et les pièges à phéromone se confirme grâce à l'identification du sexe des pyrales, capturées par le piège lumineux. Un pic dans la proportion de femelles se traduit avec une réduction de capture dans les pièges à phéromones. Le lien avec le paysage a été difficile à mettre en place et peu de conclusions ont pu être tirées, même si certains paramètres mériteraient de continuer les recherches. Après détection d'un vol supplémentaire cette année, une analyse complémentaire a permis de mettre en évidence que les races uni- et bivoltines semblent cohabiter sur une partie de la région Pays de la Loire.

Mots clés : Pyrale du maïs – *Ostrinia nubilalis* – Pièges à phéromone – Piège lumineux – Paysage – Voltinisme