

Institut Polytechnique Lasalle Beauvais – Esitpa
3, Rue du Tronquet – 76134 Mont Saint Aignan Cedex

« 2015-2016 »

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du titre d'Ingénieurs en Agriculture

« Diagnostic du réseau de piégeage de la Pyrale du maïs dans les Pays de la Loire et son amélioration par la communication, l'essai et la mise en place de nouveaux pièges »

« Anna Le Ruz »

« Encadré par »

« Adeline Chastrusse – Conseillère en Agronomie/Productions Végétales et Animatrice
SBT filière Grandes Cultures des Pays de la Loire »

« Marie Benoit – Enseignant-chercheur en agroécologie »

Institut Polytechnique Lasalle Beauvais – Esitpa
3, Rue du Tronquet – 76134 Mont Saint Aignan Cedex

« 2015-2016 »

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du titre d'Ingénieurs en Agriculture

« Diagnostic du réseau de piégeage de la Pyrale du maïs dans les Pays de la Loire et son amélioration par la communication, l'essai et la mise en place de nouveaux pièges »

« Anna Le Ruz »

« Encadré par »

« Adeline Chastrusse – Conseillère en Agronomie/Productions Végétales et Animatrice
SBT filière Grandes Cultures des Pays de la Loire »

« Marie Benoit – Enseignant-chercheur en agroécologie »

Remerciements

Tout d'abord je souhaite remercier Adeline Chastrusse, ma tutrice de stage, qui m'a engagé dans ce projet et qui m'a fait partager son immense passion pour l'agronomie et l'agriculture. Je la remercie pour son aide et sa motivation toujours au rendez-vous pour chaque nouveau projet.

Remerciement aux gestionnaires du plan Écophyto, qui grâce à la mission de Surveillance Biologique du Territoire, m'a permis de travailler pour cette étude.

Je remercie également les différents partenaires de la Chambre d'Agriculture que j'ai pu contacter au fil de ce stage et qui ont partagés avec moi leurs connaissances et leurs compétences avec toujours beaucoup de gentillesse et de bonne humeur.

Enfin, je remercie l'ensemble des salariés de la Chambre d'agriculture de Loire-Atlantique et plus particulièrement ceux de l'Antenne d'Erdre et Loire (à Ancenis) pour leur aide et leur bonne humeur en toutes circonstances !

Sommaire

Introduction.....	3
I. Contexte.....	7
1) Les Pays de la Loire	7
2) Le maïs.....	9
3) La pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>).....	15
a. Cycle de vie.....	15
b. Préjudices provoqués.....	21
c. Moyens de lutte.....	23
4) Piégeage de la pyrale	29
5) Réseau de piégeage des Pays de la Loire	33
II. Matériels et méthodes.....	37
1) Réseau d'observateurs.....	37
2) Mise en place de l'essai.....	39
a. Fabrication du piège nasse	39
b. Protocole de comparaison.....	41
i. Principe	41
ii. Gestion	43
i. Localisation géographique	45
3) Test piège lumineux et connecté	47
a. Piège lumineux.....	47
b. Piège connecté	47
4) Bilan climatique de la campagne 2016	49
5) BSV.....	51
6) Analyse des données.....	53

III.	Résultats.....	55
1)	Pièges à phéromone.....	55
a.	Campagne de piégeage 2015 des Pays de la Loire.....	55
b.	Campagne de piégeage des régions voisines.....	55
c.	Campagne de piégeage 2016 des Pays de la Loire.....	59
i.	Résultats du BSV.....	59
ii.	Résultats par zones géographiques.....	59
d.	Impact du suivi des pièges.....	61
e.	Résultats des essais.....	63
i.	Différence inter pièges par parcelle.....	63
ii.	Impact de la position des pièges par parcelle.....	63
i.	Comparaison globale.....	65
2)	Pièges lumineux.....	67
a.	Résultats 2016 comparés avec les autres années.....	67
b.	Campagne de piégeage des régions voisines.....	69
c.	Piège connecté.....	69
IV.	Discussion.....	71
1)	Réseau de piégeage des Pays de la Loire.....	71
2)	Essais.....	75
3)	Pièges lumineux et connecté.....	85
V.	Conclusion.....	93
VI.	Bibliographie.....	97
VII.	Liste des tableaux.....	105
VIII.	Liste des figures.....	107
IX.	Table des sigles.....	113
X.	Table des matières.....	115
	Annexes.....	119

Introduction

Le plan Écophyto 2018 est une mesure qui a été engagée par l'État afin de réduire progressivement l'utilisation des produits phytosanitaires en France tout en maintenant à niveau les performances économiques des exploitations agricoles. Cette initiative a été engagée en 2008 suite au Grenelle de l'Environnement et est pilotée par le Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (Alim'agri, 2015).

L'une des missions du plan Écophyto est la Surveillance Biologique du Territoire (SBT). Des réseaux d'observateurs sont organisés dans chaque région et font remonter leurs données terrain à un référent. Ces réseaux sont multi-partenariaux ; les observateurs sont issus des chambres d'agriculture, des coopératives ou encore de négoce. Le référent de chaque région est ensuite chargé de rédiger chaque semaine le Bulletin de Santé du Végétal (BSV). Cet hebdomadaire régional a pour but d'alerter les agriculteurs sur l'arrivée et l'évolution d'une maladie ou d'un ravageur et ainsi de limiter certains traitements préventifs. Le BSV est utilisé comme un outil de conseil et d'aide à la décision.

Dans les Pays de la Loire, plusieurs BSV sont réalisés. Il en existe un pour chaque grand type de production existant dans la région : arboriculture, arboriculture-fruits transformés, grandes cultures, ornement, maraîchage, viticulture et zones non agricoles.

Or, ces dernières années, des difficultés se sont fait ressentir sur l'une des thématiques du BSV grandes cultures, et plus particulièrement sur l'un des ravageurs du maïs : la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*).

La pyrale du maïs est un papillon dont la larve vit et se nourrit à l'intérieur des cannes de maïs. Ces larves affaiblissent la structure de la plante, pouvant mener à des verses, créer des portes d'entrée pour certains champignons (fusariose) et provoquant des chutes de rendement plus ou moins importantes. Pour éviter ces désagréments il existe deux solutions : une lutte biologique (par l'intermédiaire de trichogrammes) ou une lutte chimique (insecticide/larvicide). Toutefois, pour lutter

efficacement contre la pyrale, ces deux types de traitement doivent être mis en place au moment le plus opportun. Cette période se définit grâce au suivi de la dynamique de vol du papillon, déterminée grâce aux piégeages de la pyrale (Karlson et Lüscher, 1996).

Malheureusement, le réseau chargé de piéger la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire n'a pas été en mesure de donner des résultats pleinement satisfaisants quant à la détermination de cette dynamique de vol.

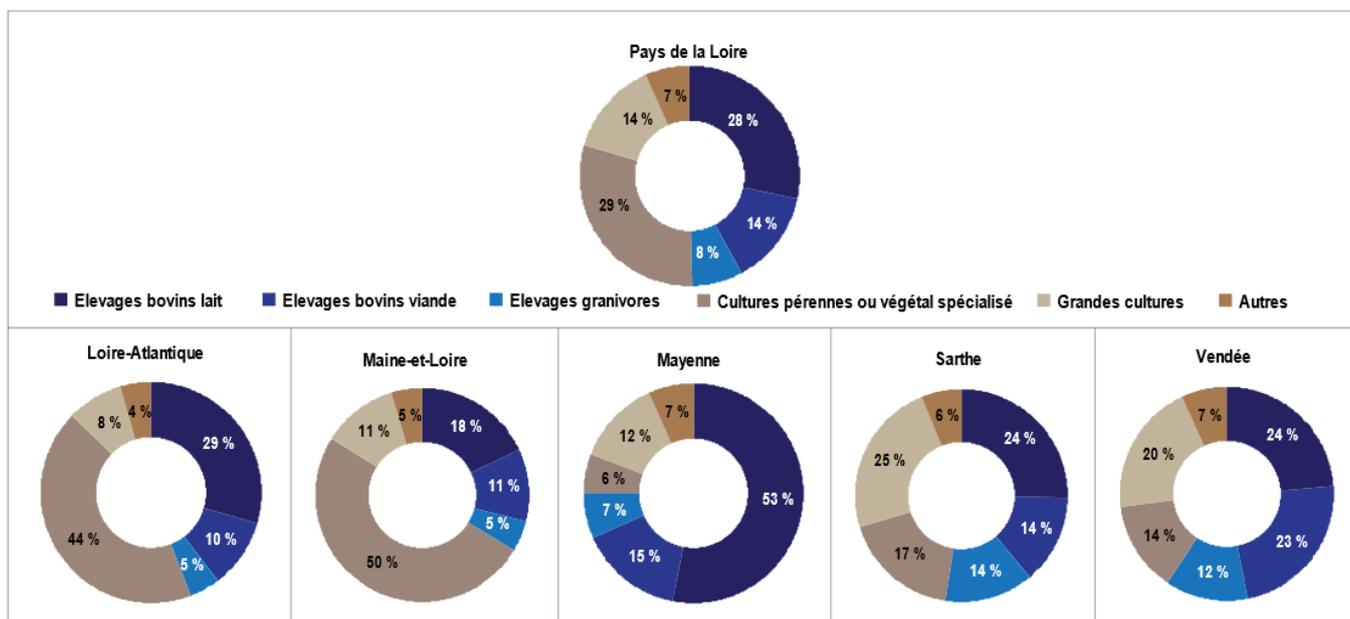
C'est dans ce contexte que des recherches plus approfondies sur la pyrale du maïs et sur son piégeage sont aujourd'hui nécessaires.

Les objectifs de la présente étude ont donc été de réaliser un diagnostic du réseau de piégeage de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire afin de l'améliorer par la communication, l'essai et la mise en place de nouveaux pièges.

Tableau 1 : Caractéristiques générales des exploitations des Pays de la Loire selon leur type d'organisation

	nombre d'exploitations	% exploitations	SAU	SAU (%)	UTA	UTA (%)
Ensemble des exploitations	34 358	100 %	2 103 393	100 %	64 656	100 %
Petites exploitations	9 049	26 %	96 721	5 %	4 340	7 %
Exploitations hors petites	25 309	74 %	2 006 672	95 %	60 316	93 %
<i>Exploitations multi-ateliers de taille importante</i>	1 594	5 %	278 636	13 %	7 512	12 %
<i>Exploitations avec plusieurs productions animales</i>	3 685	11 %	277 604	13 %	7 512	12 %
<i>Exploitations avec dominance d'une production</i>	20 030	58 %	1 450 433	69 %	47 195	73 %

Source : Agreste - Recensement agricole 2010 - Traitement SRISE PdL



Source : Agreste - Recensement agricole 2010 - Traitement SRISE Pays de la Loire

Figure 1 : Répartition du temps de travail par atelier de production pour les exploitations agricoles des Pays de la Loire

I. Contexte

1) Les Pays de la Loire

Les Pays de la Loire ne rassemblent pas moins de 34 358 exploitations sur un total de 2 103 393 ha de SAU, comme nous pouvons le voir sur le tableau 1, ce qui positionne la région au 3^e rang national (Agreste, 2013). En Juillet 2016, la région se positionnait à la 7^e place dans la production de grandes cultures : céréales et oléo-protéagineux. La valeur de ces productions de grandes cultures a atteint les 899 millions d'euros en 2015, soit 13% de la valeur totale des biens agricoles produits dans les Pays de la Loire (Agreste, 2016).

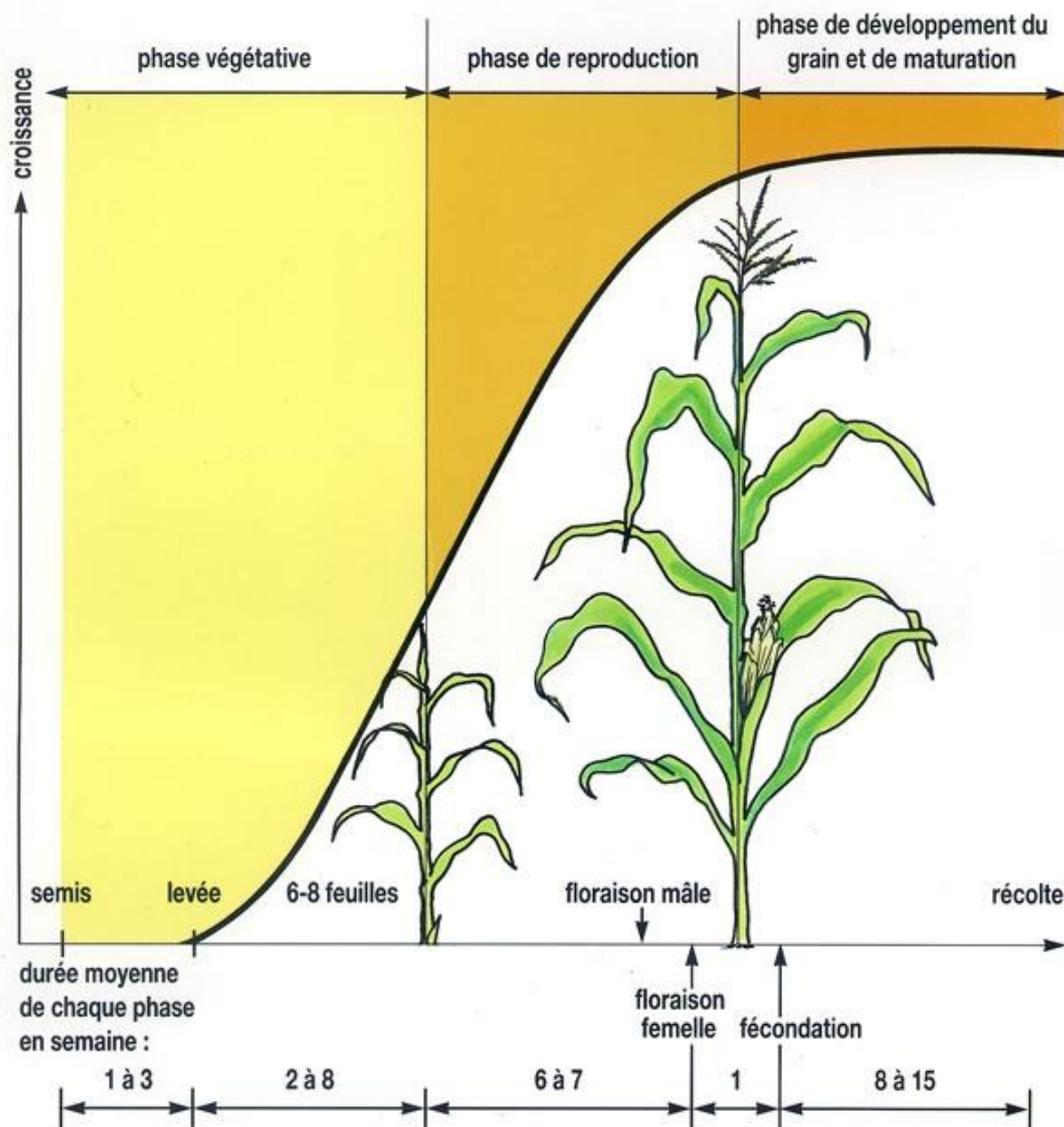
L'agriculture ligérienne est caractérisée par une large diversité de productions. À dominante bovins-lait (Agreste, 2013), les exploitations de type bovins viande et grandes cultures sont en seconde place, puis par ordre décroissant nous retrouvons les productions de :

- Viticulture et cultures légumières,
- D'horticulture et pépinière,
- Volailles et arboriculture fruitière
- Et enfin, de porcins et de caprins-ovins.

En règle générale, au sein d'une exploitation agricole des Pays de la Loire, c'est l'élevage bovin qui mobilise le plus de temps de travail : 42% contre 29% pour le végétal spécialisé et 14% pour les grandes cultures, comme visible sur la figure 1 (Agreste, 2013).

Pour la récolte de 2015, la production céréalière des Pays de la Loire a été réalisée sur une superficie totale de 714 900 ha pour une production de 53 353 000 quintaux. Parmi toutes les céréales, le maïs grain a été cultivé sur une superficie de 120 500 ha, qui avec un rendement moyen de 84,0 q/ha, a donné une production totale de 10 119 500 quintaux. La superficie de maïs grain représente donc presque 17% de la superficie totale des céréales pour pratiquement 19% de la production totale de céréales. Cette même année, 287 800 ha ont été cultivés en maïs fourrage (Agreste, 2015). Le maïs grain est produit à des fins de consommation ainsi que de production de semences, tandis que le maïs fourrage sert exclusivement en autoconsommation.

Figure 2 : Exemple de la diversité des variétés de maïs existant à travers le monde
 Source : Mais culture durable



Source : ARVALIS - Institut du Végétal

Figure 3 : Cycle de développement du maïs en semaine

2) Le maïs

Le maïs est une plante herbacée tropicale de la famille des Poaccées (graminées) et originaire d'Amérique centrale. On considère que le téosinte est l'ancêtre du maïs cultivé (Beadle, 1980). Croisé aux fils des générations, ses grains se sont multipliés et alourdis à tel point que sans l'intervention de l'homme les grains ne pourraient plus être disséminés naturellement. L'épi original mesurait en moyenne 2,5 cm. Aujourd'hui il mesure 30 cm (AGPM, 2016).

La culture du maïs fut introduite en Europe au XVI^e siècle. Cantonné dans un premier temps dans le Sud-Ouest du pays, l'arrivée de nouvelles variétés a rendu possible sa culture sur une plus large partie du territoire. Le maïs fait aujourd'hui partie des trois cultures les plus produites dans le monde (avec le blé et le riz) (Gnis pédagogie, 2016). Il existe un grand nombre de variétés de maïs à travers le monde, comme le prouve la photographie ci-contre (figure 2). La couleur, le volume et la constitution des grains varie énormément ainsi que la taille de l'épi, la taille des tiges (30-40 cm pour Gaspé à plus de 10 mètres pour des variétés de régions tropicales), mais également le cycle de végétation. Les variétés les plus précoces n'ont besoin que de 60 à 70 jours (Gaspé) tandis que les plus tardives nécessitent jusqu'à 10 à 11 mois (variété de régions tropicales) (AGPM, 2016).

Le maïs est une plante herbacée annuelle. Elle est monoïque, c'est-à-dire qu'on retrouve sur le même pied, mais positionnés à des endroits différents, les fleurs mâles et femelles. Malgré cela, dans 90% des cas, la plante est allogame, c'est-à-dire que la fécondation est croisée. Le maïs est également une plante en C4 grâce à son origine tropicale. Ce métabolisme lui permet un meilleur rendement pour la photosynthèse, donc une conversion de l'énergie lumineuse en matière organique plus importante que les plantes en C3, céréales que l'on cultive en France (Gnis pédagogie, 2016).

Le maïs est généralement semé entre le début avril et la fin mai. S'ensuivent les trois phases de développement suivantes (figure 3) :

- Phase végétative : levée puis croissance du végétal

- Phase de reproduction : formation de la panicule (fleur mâle) au sommet de la plante et transformation des bourgeons axillaires en épis (fleur femelle), puis apparition des soies au bout des épis.
- Et phase de développement du grain : brunissement des soies, qui est le signe de fécondation des ovules. Les grains se mettent à stocker de l'amidon, des protéines et des matières grasses en perdant de l'eau (passage d'un stade laiteux à vitreux).

La récolte se situe au mois de septembre pour le maïs fourrage et entre les mois d'octobre et de novembre pour le maïs grain. La récolte s'effectue en fonction de la teneur en matière sèche ou du taux d'humidité (AGPM, 2016) :

- Il faut une teneur en matière sèche de 32 à 35 % pour la plante entière pour le maïs fourrage
- Un taux d'humidité de 25 à 35 % pour le maïs grain (qui est ensuite séché jusqu'à 15 % d'humidité avant d'être commercialisé)
- Et un taux d'humidité de 70 à 72 % pour le maïs doux qui est consommé aussitôt ou transformé industriellement.

La culture du maïs est essentiellement utilisée pour la consommation animale. Près de 70% de la production mondiale sert à nourrir les animaux. Le reste est partagé entre la consommation humaine et les usages industriels qui peuvent prendre des formes multiples. En effet, dans les supermarchés, ¼ des produits non alimentaires contiennent du maïs (AGPM, 2016).

Comme toutes les cultures, celle du maïs n'échappe pas à diverses maladies et ravageurs qui lui sont, ou non, spécifiques.

Les maladies les plus fréquentes en France, et plus particulièrement dans les Pays de la Loire, sont les suivantes (Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2015) :

- Symptômes sur feuilles :
 - L'Helminthosporiose fusiforme (*Exserohilum turcicum*)
 - La Kabatiellose (*Kabatiella zaeae*)
 - La Rouille (*Puccinia sorghi*)
 - L'Anthracnose (*Colletotrichum graminicola*)



Cicadelle (Source : CRAPL)



Puceron (*Sitobion avenae*)
(Source : CRAPL)



Sésamie (Source : INRA)



Ver gris (Source : CA 85)



Chrysomèle (gauche : mâle, droite : femelle)
(Source : Arvalis)

Figure 4 : Représentation photographique de quelques un des principaux ravageurs du maïs

- Symptômes sur racines :
 - o Le Rhizoctone (*Rhizoctonia solani*)
 - o La nécrose racinaire
 - o La nécrose du mésocotyle
- Symptômes sur la plante :
 - o Charbon commun (*Ustilago maydis*)
 - o Coup de feu fusarien (*Fusarium section liseola*)
 - o Fusariose des tiges (*Fusarium graminearum*)
 - o Charbon des inflorescences (*Sphacelotheca reiliana*)
 - o Mildiou (*Sclerophthora macrospora*)
- Symptômes sur les épis
 - o Les fusarioses de l'épi de type *graminearum* (sommet de l'épi) ou de type *section liseola* (réparti sur tout l'épi).

Ces maladies, à part le rhizoctone, interviennent essentiellement en fin de cycle, quand les pieds de maïs sont trop hauts pour qu'un tracteur puisse intervenir dans la parcelle. Les maladies du maïs sont donc subies et aucun traitement fongicide n'est réalisé (sauf si traitement par hélicoptère). La seule maladie pour laquelle il est possible d'intervenir est le *fusarium*. En effet, ce champignon peut s'installer sur le maïs essentiellement grâce à la pyrale du maïs qui, en creusant des trous dans les tiges, lui crée des portes d'entrées. Outre la baisse de rendement provoquée par une telle maladie (pourrissement des grains, tiges vides), la fusariose peut également être à l'origine de la production de mycotoxine (le déoxynivalénol (DON) et/ou la zéaralénone) rendant la culture impropre à la consommation (Arvalis – Les Fiches Accidents, 2016). C'est l'une des raisons qui rend la régulation du ravageur si importante.

À l'inverse des maladies, les ravageurs sont les plus prolifiques au début du cycle du maïs (figure 4). Mise à part la pyrale, qui fait partie de la catégorie des foreurs, nombreux sont les ravageurs de la culture (Chambre d'agriculture des Pays de la Loire, 2015) :

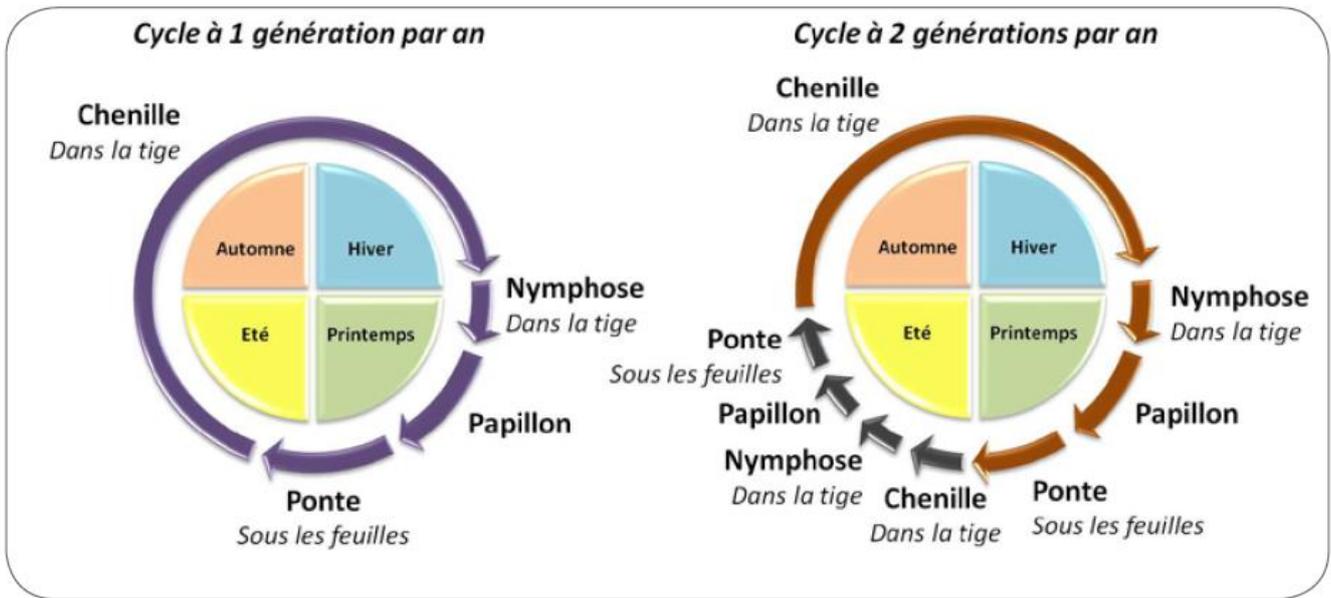


Figure 5 : Cycle de vie des pyrales. Le nombre de génération par an dépend de la localisation géographique des individus
Source : AuxiMore



Figure 6 : Représentation photographique de pyrale en milieu naturel : mâle à gauche et femelle à droite
Source : INRA

Tableau 2 : Caractéristiques générales des principaux ravageurs du maïs

Ravageurs	Dégâts occasionnés aux maïs
Taupin et Chrysomèle du maïs	Larves attaquent et consomment les racines
Altise du maïs et cicadelles	Abîment les feuilles les desséchant ou étant porteur de maladies : baisse de rendement
Noctuelles (dont le Ver gris)	Trouent les feuilles et creusent des galeries à la base des pieds
Certaines Mouches (larves) et Pucerons	Attaquent les grains : détérioration de la qualité et baisse de rendement
Foreurs : Pyrale du maïs et Sésamie	Larves creusent des galeries dans les tiges (vecteur de maladies) et peuvent s'attaquer aux grains : baisse de rendement

3) La pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*)

a. Cycle de vie

La pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis*, fait partie du genre Insecta et de la famille des Lepidoptera, Pyralidae. C'est un lépidoptère foreur de tiges. (Bodilis, 2014)

Il s'agit d'un papillon de nuit qui pond ses œufs sous les feuilles de maïs. Une fois écloses, les larves rongent, forent et perforent les tiges du maïs où elles se nourrissent et vivent protégées jusqu'à leur nymphose et leur « renaissance » sous forme de papillon (figure 5).

Le papillon adulte mesure entre 20 et 30 mm d'envergure. Ses ailes larges et fines (composées de deux parties : ailes antérieures et postérieures) sont assez caractéristiques du papillon car ornées de fines stries dentelées et transversales bien visible sur la figure 6 ci-contre. Les mâles se différencient des femelles par la couleur de leurs ailes, légèrement plus foncée (dans les tons gris-brun), ainsi que par la taille de leur corps, qui est plus fin et plus long (les derniers segments abdominaux dépassent le bord des ailes repliées) que celui des femelles plus épais et plus court (Simonneau et al, 2012).



Figure 7 : Représentation photographique d'ooplaques de pyrale du maïs : a. pontes fraîches, b. pontes de quelques jours (couleur crème), c. ponte « tête noire » prête à éclore et d. ponte éclosée.
Source : BSV Franche-Comté



Figure 8 : Photographie d'une larve de pyrale sortant d'un jeune épi de maïs.
Source : CA 44

Les pyrales adultes ont une espérance de vie comprise entre 18 et 24 jours. La période de préoviposition/pré-ponte de la femelle dure en moyenne 3,5 jours. Puis celle-ci est en mesure de pondre pendant approximativement 14 jours. Chaque jour, c'est entre 20 et 50 œufs qui sont pondus soit un total compris entre 400 et 600 œufs pondus pour une femelle pyrale lors de sa vie entière (Capinera, 2014).

Les papillons vivent en bordure des parcelles de maïs, dans des bandes enherbées où ils se nourrissent et s'accouplent (Pélozuelo et Frérot, 2005). Une femelle a besoin de plusieurs partenaires pour fertiliser l'ensemble de ses œufs, on parle de polyandrie. Fadarimo et Baker ont montré en 1999 que plus les accouplements étaient nombreux, plus la fécondité et la fertilité des œufs augmentait. En revanche, l'espérance de vie des mâles et des femelles diminue après chaque nouvel accouplement.

Les œufs pondus sont regroupés en ooplaques comprenant jusqu'à une vingtaine d'œufs. Un œuf mesure environ 1,00 mm de long et 0,75 mm de large. Les ooplaques sont déposées en général sur la face inférieure des feuilles de maïs (figure 7). Les œufs éclosent au bout de 4 à 9 jours. La température ne doit pas descendre en dessous de 15°C pour le bon développement des larves (Capinera, 2014).

La larve de la pyrale, d'une couleur brune est reconnaissable grâce à ses multiples points dorsaux répartis sur tous ses segments et par sa petite tête toute noire, comme visible sur la figure 8. La larve suit normalement six stades de développement où elle passe d'une taille d'environ 2 mm à 20 mm à la fin de sa croissance. Cette période s'étale sur une durée moyenne de 50 jours (Capinera, 2014) (Ephytia, 2016).

La température est un facteur important à prendre en compte dans la durée du développement larvaire. Certains modèles de degrés-jour, établis pour surveiller la croissance de la larve, supposent même une relation linéaire entre la vitesse de développement et la température (Got et al, 1991) (Trnka et al, 2007). En effet, les larves sont poïkilothermes, c'est-à-dire qu'en tant qu'animaux 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).



Figure 9 : Symptôme « coup de fusil » sur une feuille de maïs
Source : CA 44

Figure 10 : Point d'entrée d'une larve de pyrale à l'intérieur de la canne de maïs caractérisé par la présence de sciure
Source : CA 44



Dès leur éclosion les larves pénètrent rapidement à l'intérieur du cornet de feuilles du maïs, provoquant les « coups de fusil » : des perforations caractéristiques qui signalent la présence de larves et visibles plus tard sur les feuilles déroulées (figure 9). Les larves rentrent ensuite dans la tige au niveau de l'aisselle des feuilles : présence de sciure à l'endroit où la larve pénètre dans la tige (figure 10). Une fois à l'intérieur, elles creusent des galeries jusque dans l'épi et s'alimentent au dépend de la plante hôte (Ephytia, 2016).

Selon les régions, deux possibilités s'offrent à la larve en fin de développement. Dans les régions les plus au nord, la température ne permet pas au papillon de réaliser 2 générations en une année. La larve entre donc en diapause pour passer l'hiver (Beck, 1982 et Beck, 1985). Fait remarquable, les larves ont acquis la particularité de migrer dans les cannes de maïs sous la hauteur de coupe de la moissonneuse-batteuse, à la fin de l'été avant la moisson. Elles restent donc à l'abri dans les cannes, qui restent sur les parcelles, pour passer tout l'hiver.

Si les températures le permettent la larve passe directement au stade nymphe. Ce stade dure entre 15 et 20 jours et donne lieu à un nouvel adulte sous forme de papillon (Simonneau et al, 2012).

Ainsi, certaines régions de France voient se succéder deux générations de pyrales par an, notamment dans le sud du pays. On parle dans ces cas-là, d'un cycle multivoltin. Le premier vol se situe généralement entre mai et début juillet au plus tard avec un second vol au mois d'août. En revanche, dans le nord du pays, une seule génération se développe chaque année. C'est un cycle univoltin avec un seul vol qui se réalise entre les mois de juin et de juillet. La limite entre ces grandes zones se situerait sur un axe Niort-Lyon. La région des Pays de la Loire est située à la limite de la frontière (légèrement au-dessus de la ligne de démarcation). Les résultats obtenus jusqu'à présent n'ont jamais permis d'établir avec certitude le nombre de générations effectives pour les pyrales de la région. (Thibord, 2016).

La mortalité larvaire est assez importante lors de la première génération et peut atteindre 41% de la population. La mortalité diminue quelque peu pour la seconde génération atteignant jusqu'à 33% de la population (Coll et Bottrel, 1992). Cette mortalité se concentre essentiellement durant les deux premiers stades du développement larvaire. Elle est majoritairement due à des prédateurs bien qu'il

existe d'autres causes encore indéterminées. Les principaux prédateurs sont des carabes, des coléoptères, des fourmis, des araignées, certains champignons et même des oiseaux (Coll et Bottrel, 1992).

b. Préjudices provoqués

La pyrale du maïs est un ravageur pouvant occasionner de forts dégâts, directs ou indirects, sur les cultures, et induisant une perte de rendement plus ou moins importante (Malvar et al, 2007) en fonction de la pression du ravageur. Il faut savoir que les pertes de rendement peuvent se chiffrer jusqu'à 30% en cas de forte infestation. (Ephytia, 2016). Ces dégâts se chiffrent sur le maïs grain dont la fin de cycle plus tardive est plus propice aux dommages. Le maïs fourrage, dont la récolte est plus précoce, est moins concerné par le ravageur et les préjudices qu'il provoque.

La présence du ravageur sur une parcelle peut-être assez localisée. Ainsi, Derridj et al en 1988 ont montré qu'un seul côté d'une parcelle de maïs avait été infesté, ce côté étant limitrophe d'une parcelle cultivée en maïs l'année précédente et qui avait été fortement touchée par le ravageur.

La pyrale peut s'attaquer aussi bien aux tiges du maïs qu'à l'épi lui-même. Elle creuse des galeries entravant le courant de la sève et lésant tous les organes végétatifs, ce qui entraîne la baisse de rendement (tiges plus courtes, feuilles et épis plus petits). Indirectement, la pyrale peut également véhiculer des spores de fusarioses. Mais surtout, les lésions qu'elle cause à la plante, notamment lorsqu'elle se nourrit des grains tendres, sont des voies d'entrées pour les champignons, facilitant grandement leur installation en favorisant la production de mycotoxines (Blandino et al, 2008 et Scarpino et al, 2015).

Les dégâts engendrés par les larves sont visibles sur une parcelle, ils se traduisent par (Ephytia, 2013, Ephytia, 2016 et Arvalis – Les Fiches Accidents, 2016) :

- Des perforations des feuilles (aspect « coup de fusil »)
- Des retards de croissance,
- Des dépérissements localisés, et même généralisés dans certains cas entraînant la mort du pied de maïs,
- Des jaunissements du feuillage,

- Des panicules cassées,
- Des tiges qui cassent ou qui versent sous l'action du vent au niveau d'une galerie,
- ou encore des chutes d'épis.

La chenille affaiblit donc la plante, engendrant une diminution du poids unitaire du grain et une dégradation de sa qualité (maladie) d'où les pertes de rendement.

c. Moyens de lutte

L'un des premiers moyens pour lutter contre la pyrale du maïs est le broyage des résidus du maïs, où la larve de la pyrale s'installe pour passer l'hiver à l'abri. C'est la lutte prophylactique. Elle consiste à limiter les populations larvaires pendant l'inter-culture (Thibord, 2016). Cette méthode de lutte ne profite pas qu'à la parcelle dont les résidus sont broyés, mais également à toute la petite région agricole alentours.

D'autres traitements existent pour minimiser l'implantation de cette chenille lors du développement de la culture et limiter les pertes de rendement à la récolte. Actuellement, les agriculteurs ont le choix entre deux méthodes : une lutte chimique ou une lutte biologique.

- Lutte chimique

Les traitements chimiques existant aujourd'hui contre la pyrale du maïs sont essentiellement des larvicides. Il faut donc les appliquer lors d'une période bien précise du stade de développement du papillon pour avoir l'effet escompté. Ce type de produit est donc à utiliser après le début de la ponte du papillon mais avant la limite de passage du tracteur au champ (c'est-à-dire avant que les épis ne deviennent trop hauts, empêchant le passage des engins agricoles, seuls les producteurs de maïs semence sont équipés d'enjambeurs permettant de passer).

Les produits les plus utilisés sont composés de la substance active chlorantraniliprole (ou RynaXypyr®). Il s'agit d'un modulateur des récepteurs à ryanodine ; cette substance va activer les récepteurs à ryanodine des larves. Or, ces récepteurs ont pour rôle la contraction des muscles du ravageur par la libération vers le cytoplasme du calcium stocké dans les cellules musculaires. Une fois la chlorantraniliprole fixée

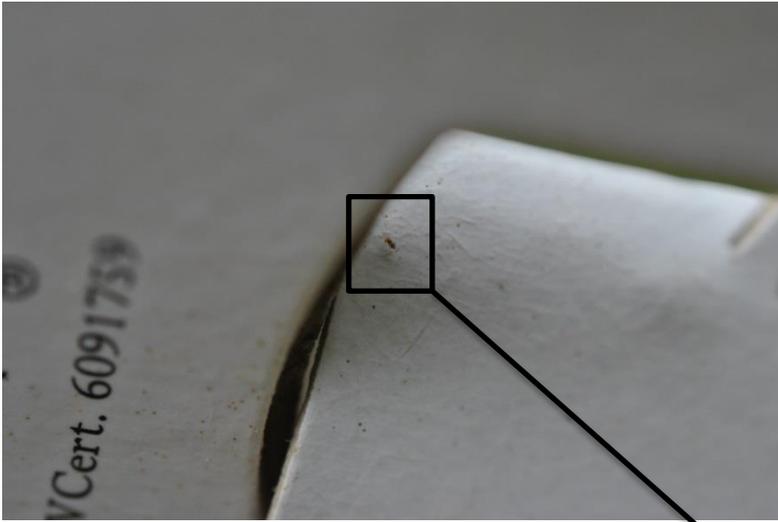


Figure 11 : Photographie d'un trichogramme sur son « diffuseur »
Source : CA 44



sur les récepteurs, elle provoque une libération importante des ions Ca^{++} jusqu'à l'écoulement complet du stock. Les insectes se retrouvent dans l'incapacité de contracter leurs muscles. Paralysés, les larves arrêtent rapidement de s'alimenter et entrent en léthargie avant de mourir (Dupont, 2012).

Une autre substance active peut être utilisée pour lutter contre la pyrale, il s'agit de la deltaméthrine. Ses propriétés neurotoxiques agissent comme un répulsif sur les insectes adultes (INRS - Fiche toxicologique n°193, 2007).

- Lutte biologique

Il s'agit d'un traitement ayant recours aux trichogrammes. Ces petits insectes (1/2mm) pondent leurs œufs dans ceux de la pyrale. Les larves se nourrissent ainsi des œufs du papillon, empêchant leur développement jusqu'au terme (Encyclopédie de l'Agora, 2012).

Les trichogrammes sont donc des insectes entomophages, prédateurs et parasitoïdes oophages. Ce sont des micro-Hyménoptères Chalcidiens de la famille des *Trichogrammatidae* (figure 11). Aujourd'hui 132 espèces sont connues (Hawlitzky, 1992).

La larve du parasite se développe à l'intérieur de l'œuf de l'insecte hôte (la pyrale du maïs). L'embryon est tué plus ou moins tôt. Ce sont ces tissus désintégrés et le vitellus qui serviront d'alimentation à la larve du trichogramme et assureront son développement jusqu'à sa métamorphose. Devenu adulte, les parasites passeront leur vie à s'accoupler, et les femelles à trouver de nouveaux œufs de pyrales pour y déposer leurs pontes. Au stade adulte les trichogrammes se nourrissent de matières sucrées (miellat de pucerons) ou de substances protéiques (comme le pollen des fleurs) (Hawlitzky, 1992). Ils n'ont donc pas d'impact négatif sur la culture du maïs.

La lutte biologique utilisant les trichogrammes s'est largement développée ces dernières années en France (Frandon et Kabiri, 1998). Ce type de lutte permet d'éviter le recours aux insecticides chimiques qui ont des actions néfastes sur la faune auxiliaire (Lors et Guy, 1997). Ils ont également l'intérêt d'éliminer le ravageur avant que celui-ci ait commencé à faire des dégâts, contrairement aux larvicides (Hawlitzky, 1992).

Cycle d'utilisation du trichogramme

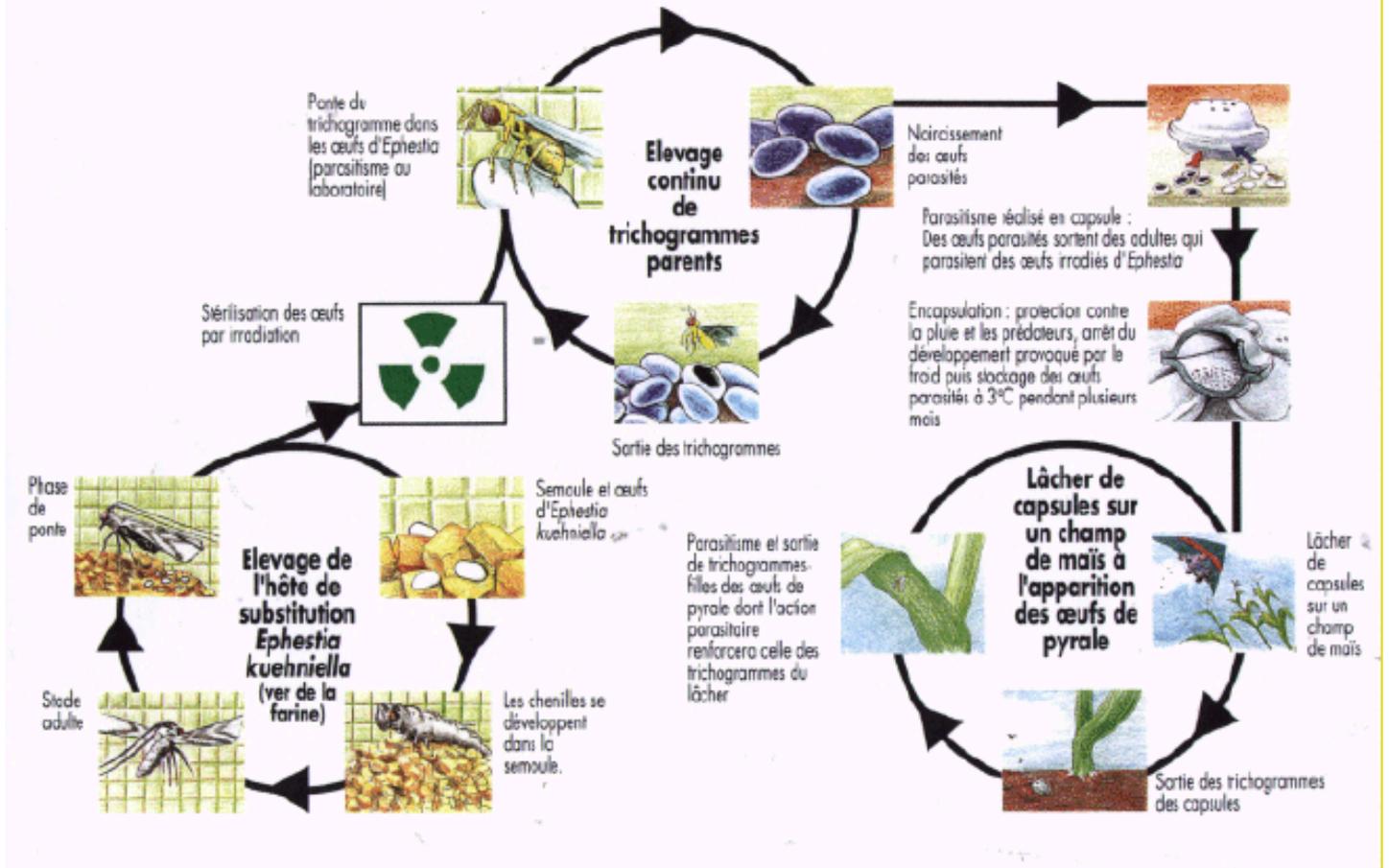


Figure 12 : Schéma de production des trichogrammes
Source : Hawlitzky, 1992



Figure 13 : Diffuseur de trichogramme installé sur une parcelle de maïs
Source : CA 44

Mais pour que le parasite ait un impact décisif sur la population du ravageur, des lâchers de masse sont nécessaires. Ils doivent être synchronisés avec le début de la période de ponte de la pyrale pour une efficacité optimale (Hawlitzky, 1992) (Frandon et Kabiri, 1998).

Pour obtenir suffisamment d'individus, les trichogrammes sont élevés en masse grâce à des hôtes de substitution. Ces derniers sont la pyrale de la farine (*Anagasta kuehniella*) et l'alucite des céréales (*Sitotroga cerealella*) dont l'élevage est plus facile que celui de la pyrale du maïs et est réalisable en toute saison. La production de trichogrammes passe donc tout d'abord par la production des hôtes de substitution (cf. : le schéma de production des trichogrammes sur la figure 12). Une fois que les œufs de trichogrammes sont obtenus, ceux-ci peuvent être utilisés directement aux champs (ils sont frais) ou ils peuvent être stockés à 3°C (arrêt de l'activité) pendant plusieurs mois au stade pré-nymphe (Hawlitzky, 1992).

Pour augmenter l'efficacité des trichogrammes, un lâcher d'insectes comprend trois vagues d'émergence :

- Les « immédiats » dont l'émergence est programmée environ deux jours après le lâcher
- Les « retards » dont l'émergence se fait environ une semaine après le lâcher
- Et les « super-retards » avec une émergence établie environ 15 jours après le lâcher.

Un lâcher de trichogrammes permet donc une couverture globale de trois semaines. Par la suite, les générations filles suivantes prennent le relais (Frandon et Kabiri, 1998).

Les lâchers de trichogrammes s'effectuent par l'intermédiaire de petites capsules installées dans des « diffuseurs » en carton. Un diffuseur contient trois types de capsules permettant les trois vagues successives d'émergence. Les diffuseurs sont ensuite fixés sur une tige en bois pour être facilement positionnés dans les champs (figure 13). Il faut environ 33 diffuseurs répartis sur 1 hectare (Frandon et Kabiri, 1998). Le taux de trichogrammes doit être suffisamment important pour obtenir une bonne efficacité de parasitisme (Hoffmann et al, 2006).



Figure 14 : Piège lumineux installé en bordure d'une parcelle de maïs et fourni par l'entreprise Dupont
Source : CA 44

Ce travail s'effectue à la main et nécessite environ une heure de travail pour trois hectares, mais il n'est à réaliser qu'une seule fois par an et à un moment où le maïs est généralement encore bas, permettant l'intervention à pied.

En définitive, quel que soit le traitement utilisé (biologique ou chimique), il doit être réalisé au bon moment pour une efficacité maximale. L'un des moyens utilisés pour déterminer la période optimale de traitement est le piégeage du papillon.

Le piégeage du papillon permet de suivre le stade de développement biologique du ravageur. Combiné à un modèle basé sur le nombre de degrés-jours, il permet de prévoir grosso modo la date des premières pontes puis des premières éclosions. Grâce à ces renseignements ainsi qu'à une bonne connaissance du cycle du ravageur, les périodes optimales d'intervention en fonction du mode de protection utilisé pourront être définies.

4) Piégeage de la pyrale

Il existe deux grandes catégories de pièges permettant de capturer les pyrales : les pièges lumineux et les pièges à phéromone.

Les pièges lumineux fonctionnent grâce à une ampoule qui, allumée toute la nuit, va attirer tous les insectes volant des alentours. Les insectes se retrouvent pris dans un goulot qui les fait tomber dans une case où une plaquette insecticide les tue (figure 14). Ce piège a besoin d'une alimentation électrique.

Ce type de piège agit sans distinction, il capture aussi bien les pyrales mâles que femelles, mais attire également tous les autres types d'insectes : papillons, scarabées, coléoptères, carabes, moucherons... Un travail d'identification est nécessaire et peut-être, dans certains cas, source d'erreurs. Il est donc important de bien savoir différencier la pyrale des autres papillons lors de l'utilisation d'un tel piège.



Figure 15 : Piège delta classique fourni par Agro ressources
Source : Agro ressources

Unitrap (Universal Moth Trap)

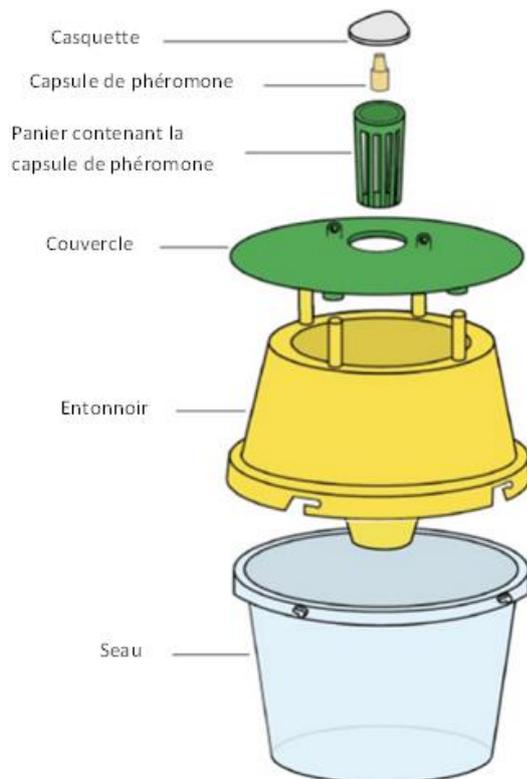


Figure 16 : Schéma d'un piège seau de type Unitrap
Source : Unitrap

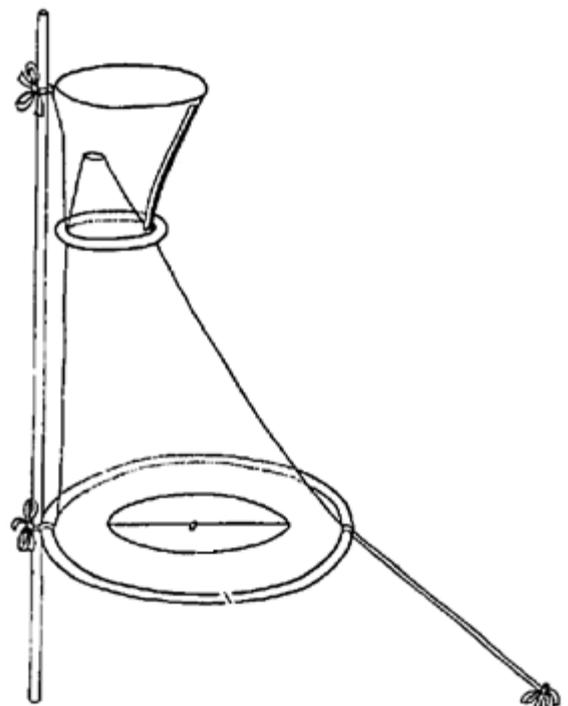


Figure 17 : Schéma d'un piège nasse
Source : Webster et al, 1986

Les pièges à phéromone sont plus simples d'utilisation d'un point de vue logistique. Ils fonctionnent sur le principe d'un piégeage sexuel. Les pièges sont équipés d'une capsule de phéromone artificielle reproduite à partir de la phéromone sexuelle de la pyrale femelle. La molécule de la phéromone, acétoxy-1-tétradécène 11 Z (Z11-TDA), a été identifiée dès les années 70 par Klun et Brindley (1970). Plus précisément, la phéromone est constituée d'un mélange des isomères Z et E (Z11TDA et E11-TDA) dans des proportions de 97% et 3% (Stockel et Anglade, 1977 et Pélozuelo et Frérot, 2001). Les mâles sont attirés par l'odeur émise par la phéromone. Ces pièges ne sont donc censés piéger que les pyrales mâles.

Il existe plusieurs types de pièges à phéromone (Pélozuelo et Frérot, 2005). Le plus commun et le plus utilisé en France est le piège delta (figure 15). Les pyrales mâles attirées par la phéromone se posent à côté de la capsule sur une plaque engluée qui les retient prisonnier. Différents modèles sont disponibles en France : avec ou sans ouverture latérale (fenêtres).

D'autres formes de piège à phéromone sont disponibles sur le marché, c'est le cas du piège seau de type Unitrap (figure 16) ou encore de type Multipher (construit sur le même modèle) (Pélozuelo et Frérot, 2005). Ces pièges attirent également les pyrales mâles, par l'intermédiaire de la phéromone, qui tombent à l'intérieur du seau où se trouvent soit des plaquettes insecticides, soit des plaques engluées, soit de l'eau savonneuse.

Le dernier type de piège à phéromone existant est le piège nasse, également appelé Scentry trap dans la littérature anglo-saxonne (figure 17). Ce piège fonctionne comme les nasses à poissons, les pyrales rentrent à l'intérieur attirées par le leurre phéromonal et n'arrivent pas à revenir en arrière (Pélozuelo et Frérot, 2005).

Tous ces pièges à phéromone ne possèdent pas la même efficacité. D'après Webster et al (1986), le piège nasse piégerait mieux que le piège delta. Les deux types de pièges attireraient autant de pyrales l'un que l'autre, mais la conception du piège nasse permettrait de retenir plus de papillons. De même, l'absence ou la présence d'ouvertures latérales dans le piège delta engendrerait des différences de piégeage : l'absence diminuerait le nombre de papillons retenus (INRA). Le design du piège serait donc un facteur clé pour attraper et contrôler la population de pyrale (Pélozuelo et al, 2006).

Dans tous les cas, le nombre de pyrales capturées par l'intermédiaire d'un piège à phéromone, n'est pas significatif de la pression du ravageur au champ (Stockel et al, 1984) :

- Un faible nombre de captures peut être dû à un nombre important de femelles vierges entrant en concurrence avec le(s) piège(s).
- Des captures plus importantes peuvent, au contraire, signaler une faible population où la phéromone chimique devient plus attractive pour les mâles présents (moins de femelles qui entrent en concurrence).

Les pièges à phéromone permettent simplement un suivi de l'évolution du vol (début, pic et fin de vol). Ils ne sont pas conçus pour donner le niveau de pression (Bodilis, 2014).

En revanche, les pièges lumineux sont plus représentatifs de la pression des ravageurs dans une zone donnée tout en permettant également de suivre l'évolution du vol (Bodilis, 2014).

Les pièges doivent être positionnés sur des zones précises. Comme vu précédemment dans le cycle de vie de la pyrale (cf. : II. partie 3) a.), celle-ci ne vit pas directement dans les parcelles de maïs, mais dans les bordures. Ces bordures sont généralement des bandes enherbées ou des prairies adjacentes. Les pièges doivent être placés idéalement dans des endroits où la végétation est dense et procure des feuilles larges où les pyrales peuvent se cacher la journée et s'accoupler la nuit. Ces endroits sont appelés des « zones d'agrégation » (Pélozuelo et Frérot, 2005).

5) Réseau de piégeage des Pays de la Loire

Dans les Pays de la Loire, le Bulletin de Santé du Végétal (BSV) grande culture est rédigé par l'animatrice de la filière, Adeline Chastrusse chaque semaine. Cet hebdomadaire a pour vocation, comme nous l'avons vu précédemment, d'alerter les agriculteurs sur l'arrivée et l'évolution d'une maladie ou d'un ravageur.

Pour le réaliser elle peut s'appuyer sur une centaine d'observateurs. Ces observateurs proviennent d'horizons variés : certains travaillent pour la chambre

d'agriculture, d'autres œuvrent pour des coopératives (TERRENA, CAVAC...), ou pour des négoce (ACTINEGOCE, AGRINEGOCE...), ou travaillent pour d'autres entreprises de conseil (ECLA), ou encore sont eux-mêmes agriculteurs. Toutes ces personnes sont réparties sur l'ensemble des 5 départements de la région des Pays de la Loire (à savoir la Vendée, le Maine et Loire, la Mayenne, la Sarthe et la Loire-Atlantique). Chaque observateur prend en charge une ou plusieurs parcelles de cultures similaires ou différentes.

Cette répartition du travail d'observation permet une plus grande couverture du réseau de surveillance. Malheureusement, cette fragmentation du travail est également source d'erreurs. Ainsi, le réseau de piégeage de la pyrale n'a jamais permis de déterminer correctement la dynamique de vol du papillon (sauf dans le Sud de la Vendée).

Afin de se rendre compte des conditions dans lequel le travail avait été effectué, une enquête a été réalisée sur la campagne de piégeage de 2015. Les questions de l'enquête portant principalement sur le positionnement du piège, la manipulation de la phéromone et le suivi réalisé.

Par rapport au nombre de réponses reçues, il est rapidement apparu que plus de 40% des pièges n'étaient pas bien positionnés et que plus de 50% des observateurs manipulaient mal la phéromone. Autant de mauvaises pratiques pouvant avoir un impact significatif sur les résultats (cf. : S1 : Résultats de l'enquête pyrale en annexe).

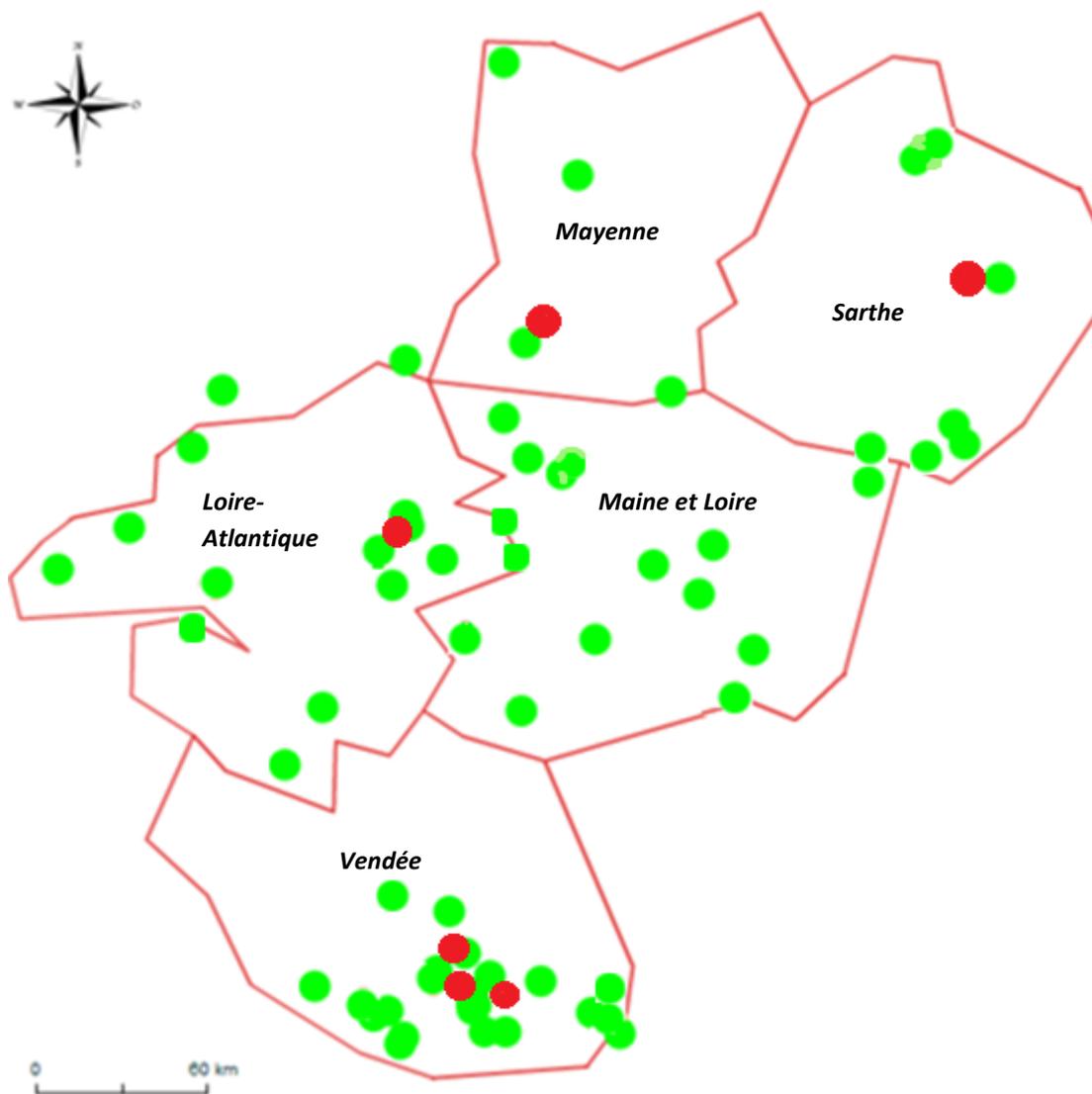


Figure 18 : Positionnement géographique des pièges à phéromone pour la capture de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire campagne 2016 (Légende : ● : position d'un piège à phéromone, ● : position d'un piège lumineux)

Source : VGObs - Surveillance Biologique du Territoire

II. Matériels et méthodes

1) Réseau d'observateurs

Cette année, les observateurs prenant en charge une ou plusieurs parcelles de maïs sont au nombre de 29. Nous avons un total de 67 parcelles et autant de pièges à phéromone pour capturer la pyrale du maïs, ainsi que 6 autres parcelles où sont positionnés des pièges lumineux (1 piège/parcelle). La position géographique des parcelles est visible sur la figure 18 ci-jointe.

Tableau 3 : Répartition des pièges et des observateurs par département

Départements	Nombre d'observateurs	Parcelles piège phéromone	Pièges lumineux
Vendée (85)	16	25	3
Maine et Loire (49)	7	16	1
Mayenne (53)	2	3	1
Sarthe (72)	8	8	-
Loire-Atlantique (44)	6	15	1
TOTAL	39	67	6

Afin de coordonner le réseau d'observateurs, les principaux responsables de chaque département ont été rencontrés. Ces rencontres avaient pour but, dans un premier temps de distribuer le matériel de piégeage : piège delta, plaques engluées et phéromones et dans un second temps, de faire un rappel sur les règles fondamentales du piégeur de pyrale.

Les points abordés lors de cette rencontre ont été repris sous forme d'un guide synthétique et distribué à chaque observateur (le guide est disponible en annexe, figure S2 et S3). Intitulé « Guide des bonnes pratiques d'utilisation du piège à phéromone Delta » il est constitué de cinq grandes parties relatives au bon fonctionnement du piège à phéromone.

Le guide rappelle :

- La structure du piège et son fonctionnement
- Où et comment positionner correctement le piège
- Comment stocker et manipuler la phéromone
- Comment suivre le piège tout au long de la campagne
- Et le planning à suivre pour la campagne de piégeage 2016.

2) Mise en place de l'essai

Afin de déterminer le piège à phéromone le plus susceptible d'apporter les meilleurs résultats, un essai a été mis en place pour comparer différents types de pièges. En tout, 5 pièges à phéromone vont être testés. Sur ces cinq pièges, quatre pièges sont issus du modèle delta tandis que le cinquième est un piège nasse.

a. Fabrication du piège nasse

Actuellement, aucun piège nasse n'est disponible sur le marché français, il faut les faire venir d'outre-Atlantique si l'on souhaite en acquérir. Pour des raisons budgétaires nous avons décidé de fabriquer nous-même nos pièges nasses.

Les plans du piège ont été réalisés à la suite de recherches bibliographiques (Webster et al, 1986) (Pélozuelo et al, 2006) et de conseils de quelques professionnels. Nous avons ainsi monté notre propre protocole de fabrication que vous retrouverez en annexe (S4).

Le piège nasse est composé en deux parties (cf. : figure 17). La partie inférieure forme un grand cône dans lequel les papillons s'engouffrent. Arrivés en haut, ils franchissent un goulot d'étranglement qui les conduit dans la seconde partie du piège : le sac de capture. Une fois dans ce sac il leur est impossible de retourner en arrière et ils se retrouvent piégés. Le sac de capture étant amovible, il permet de récupérer facilement les échantillons. Ce piège fonctionne grâce à la particularité du vol de la pyrale qui est de voler vers le haut.



Figure 19 : Pyrale posée sur la face inférieure d'une tige d'herbe le long d'une parcelle de maïs
Source : CA 44

Tableau 4 : Caractéristiques des pièges testés lors de l'essai

Nom	Caractéristiques
Nasse	Piège en forme de cône agissant comme une nasse
D1	Piège avec 1 plaque engluée et sans ouverture
D2	Piège avec 3 plaques engluées et sans ouverture
D3	Piège avec 1 plaque engluée et ouvertures latérales
D4	Piège avec 3 plaques engluées et avec ouvertures latérales

Un total de six pièges a été fabriqué. Quatre ont été placés en Loire-Atlantique afin de les tester en comparaison avec d'autres pièges à phéromone delta. Les deux autres pièges ont été envoyés pour l'un en Vendée et pour le second dans le Maine et Loire. Ces deux derniers pièges ont été positionnés sur la même parcelle qu'un piège delta (avec ouvertures latérales) afin de pouvoir les comparer eux aussi.

b. Protocole de comparaison

i. Principe

Le but de cet essai est de comparer les résultats de différents types de pièges et de déterminer celui ayant la meilleure efficacité et donc donnant des résultats à même d'améliorer les courbes de vol de la pyrale du maïs obtenues jusqu'à présent dans les Pays de la Loire.

Lors de cette comparaison, quatre modalités de piège delta sont étudiées (D1, D2 D3 et D4). Le premier type de piège delta comparé (le piège D1) est le piège qui a été utilisé jusqu'à présent dans la région (piège sans fenêtre). Nous sommes ensuite partis de ce piège et l'avons modifié de différentes manières afin d'essayer d'améliorer les performances du piège delta et de piéger plus de pyrales.

En effet, nous sommes partis du principe que le faible nombre de captures obtenues jusqu'à présent avec les pièges delta classiques pourrait provenir de sa conception (Pélozuelo et al, 2006). Ceux-ci ne seraient pas véritablement adaptés au vol de la pyrale, cette dernière ayant tendance à voler vers le haut et à se positionner préférentiellement sur la face intérieure des feuilles (cf. : figure 19). Des plaques engluées ont donc été positionnées sur les trois faces internes du piège (trois plaques en tout : une au sol comme sur le piège standard et deux plaques supplémentaires positionnées sur les côtés) pour les pièges D2 et D4 afin de voir si, grâce à l'augmentation de la surface collante, plus de papillons sont attrapés.

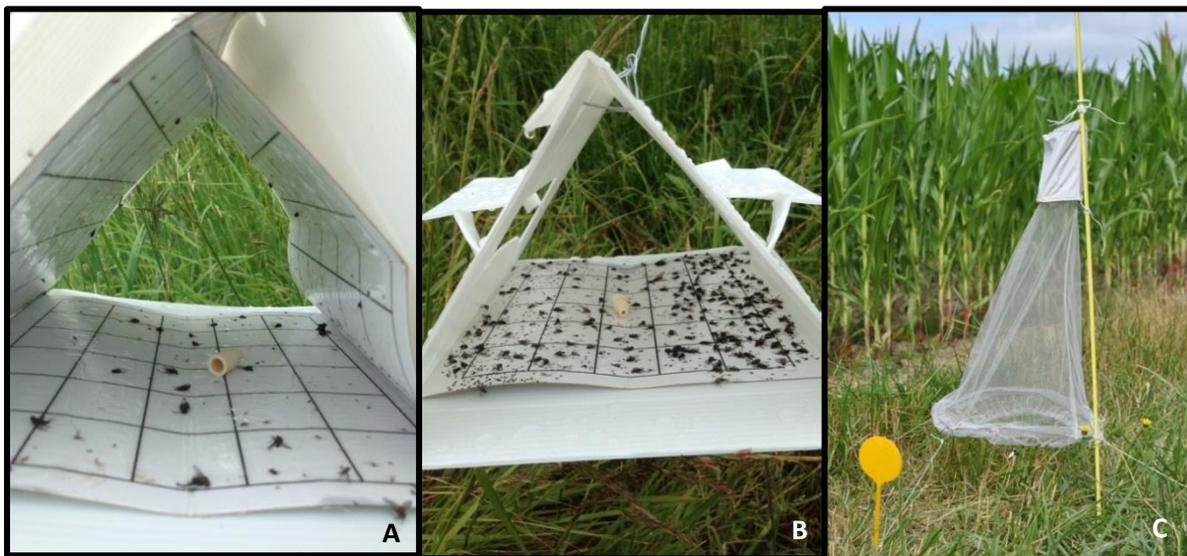


Figure 20 : Représentation photographique des pièges testés : A. piège D2, B. piège D3 et C. piège Nasse
Source : CA 44

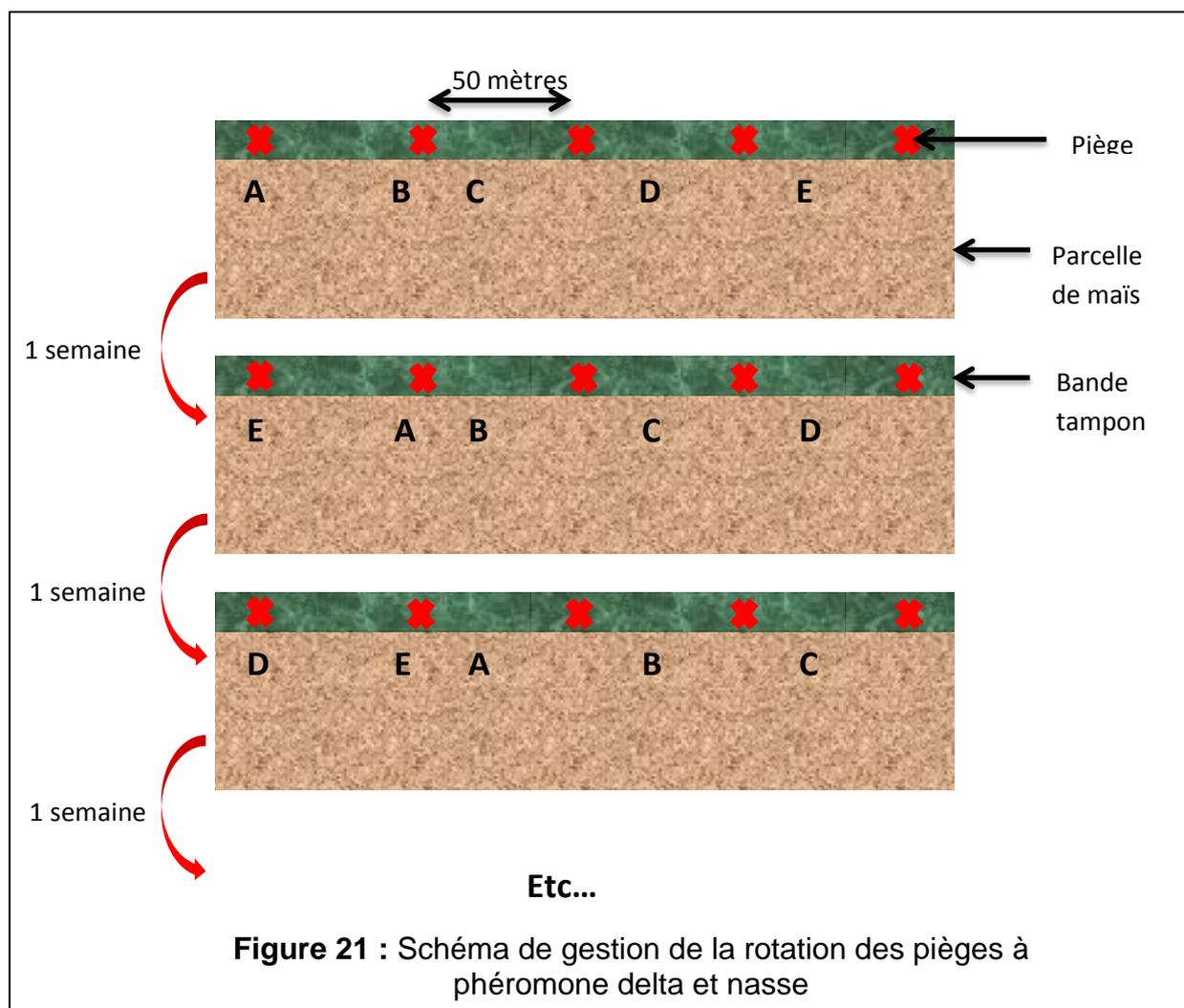


Figure 21 : Schéma de gestion de la rotation des pièges à phéromone delta et nasse

Les pièges D3 et D4 sont quant à eux pourvu d'ouvertures latérales (une ouverture/fenêtre de chaque côté). Leur réalisation a été grandement inspirée du piège Bioprox conçu par l'INRA et dont les mesures ont été reprises pour fabriquer nos propres fenêtres. Ces pièges étant utilisés par des régions voisines (Poitou-Charentes, Normandie et Franche-Comté) obtenant des courbes de vol plus convaincantes que celles des Pays de la Loire, il a été décidé de les tester et de vérifier si l'apport de ces fenêtres modifie, ou pas, le nombre de papillons capturés.

Ces quatre modalités relatives au piège delta seront également comparées à un autre type de piège : un piège nasse issu d'une fabrication maison (cf. : Partie 2) a.). Les caractéristiques de ces pièges sont rappelés dans le tableau 4 et illustrés, pour certains, sur la figure 20 ci-contre.

ii. Gestion

Quatre séries de cinq pièges (un piège de chaque modalité) sont réalisées et seront testées sur quatre parcelles de maïs différentes et non mitoyennes afin d'éviter tout biais.

Pour obtenir des résultats comparables, et éviter d'avoir des différences liées à la position du piège sur la bordure de la parcelle, des rotations seront mises en place. Ces rotations seront effectuées une fois par semaine. Ainsi, chaque semaine le piège A devra prendre la place du piège B qui prendra la place du piège C...etc. (figure 21).

Dans ces conditions, chaque piège sera confronté exactement aux mêmes conditions pédo géo climatiques que ses « concurrents ». Nous obtiendrons des résultats de comparaisons réalisées dans les conditions réelles, c'est-à-dire aux champs, et avec le moins de biais possibles.

Tous les pièges seront relevés deux fois par semaine (le lundi et le jeudi). Toutes les deux semaines, toutes les plaques engluées ainsi que toutes les capsules de



Légende :

- GAEC du Vieux Chêne
1 : Parcelles essaies
2 : Piège Lumineux
- GAEC de la Chauvelière
3 : Parcelles essaies
- GAEC des Trois Moulins
4 : Piège connecté
5 et 6 : Parcelles essaies

Figure 22 : Représentation cartographique de la localisation géographique des parcelles utilisées pour l'essai
Échelle au 1 :10000
Source : Mes P@rcelles

phéromone seront changés. Les plaques engluées pourront être changées plus régulièrement si on constate la présence de trop d'insectes collés.

Quand il y a capture de pyrales, celles-ci devront être comptabilisées, une vérification du sexe devra être réalisée, puis le papillon sera extrait du piège afin de ne pas le compter une seconde fois.

i. Localisation géographique

Les pièges sont localisés dans une zone assez restreinte afin de minimiser le biais induit par les conditions climatiques. En positionnant tous les pièges sur des parcelles issues d'exploitations de deux communes voisines, les risques de microclimat sont moins importants et nos résultats demeurent comparables.

Les quatre parcelles de maïs doivent présenter des bandes enherbées ou des prairies mitoyennes d'une longueur suffisante pour qu'il y ait un minimum de 50 mètres entre chaque piège. Cette distance est requise pour éviter les interférences entre chaque piège. En effet, la phéromone aurait un cercle d'action de 50 mètres de rayon. Il nous faut donc, au minimum, une bande enherbée de 200 mètres de long et en ligne droite.

Les parcelles sélectionnées pour cet essai possèdent donc toute une bordure avec une végétation permettant le positionnement de nos pièges. Mais elles ont également été choisies en fonction de la pression du ravageur ressenti l'année dernière sur les parcelles voisines de maïs.

Les quatre parcelles sélectionnées sont les suivantes (la localisation géographique des parcelles est visible sur la figure 22 ci-contre) :

- A Teillé :
 - GAEC du Vieux Chêne : une parcelle de maïs fourrage de 7,44ha (bande enherbée de 450 mètres).
- A Ligné :
 - GAEC de la Chauvelière : une parcelle de maïs grain de 20ha (bande enherbée de 250 mètres)



Figure 23 : Piège connecté utilisé pour le test
et installé sur une bande enherbée le long
d'une parcelle de maïs.
Source : CA 44

- GAEC des Trois Moulins : deux parcelles de maïs grain non mitoyennes : Rect. de 6,85 ha et Prof. de 10,44ha (respectivement bande enherbée de 200 et 460 mètres).

3) Test piège lumineux et connecté

a. Piège lumineux

Pour cette campagne 2016 de piégeage de la pyrale du maïs, un piège lumineux a été fourni par l'entreprise Dupont®.

Les pièges lumineux ont besoin d'une source d'énergie pour fonctionner (branchement, électrique, batterie ou panneaux photovoltaïques) ce qui rend plus délicat son utilisation. En effet, les parcelles de maïs proches d'un corps de ferme sont rares pour effectuer un raccordement électrique direct et une alimentation portable est source de convoitise (vol de matériels).

Néanmoins, le piège a été placé dans la même zone géographique que les pièges à phéromone de l'essai. Lui aussi sera donc relevé deux fois par semaine. Le piège lumineux est situé sur le GAEC du Vieux Chêne sur la commune de Teillé (cf. : figure 22).

b. Piège connecté

Cette année un nouveau type de piège lumineux a pu être testé. Il s'agit d'un piège connecté développé par la société Trapview, c'est-à-dire qu'il est possible de suivre les captures du piège à distance en se connectant au site internet de la société qui loue le piège.

Le piège connecté fonctionne sur le même principe que le piège lumineux. Des petites leds s'allument et s'éteignent à des heures programmées (de 21h jusqu'à 6h) attirant ainsi tous les insectes volant aux alentours. Les insectes se retrouvent piégés dans une boîte où ils finissent par se poser sur une plaque engluée qui les retient prisonniers. Le boîtier contenant les leds renferme également quatre objectifs photos capables de prendre plusieurs photographies puis de les transmettre au site internet (figure 23).

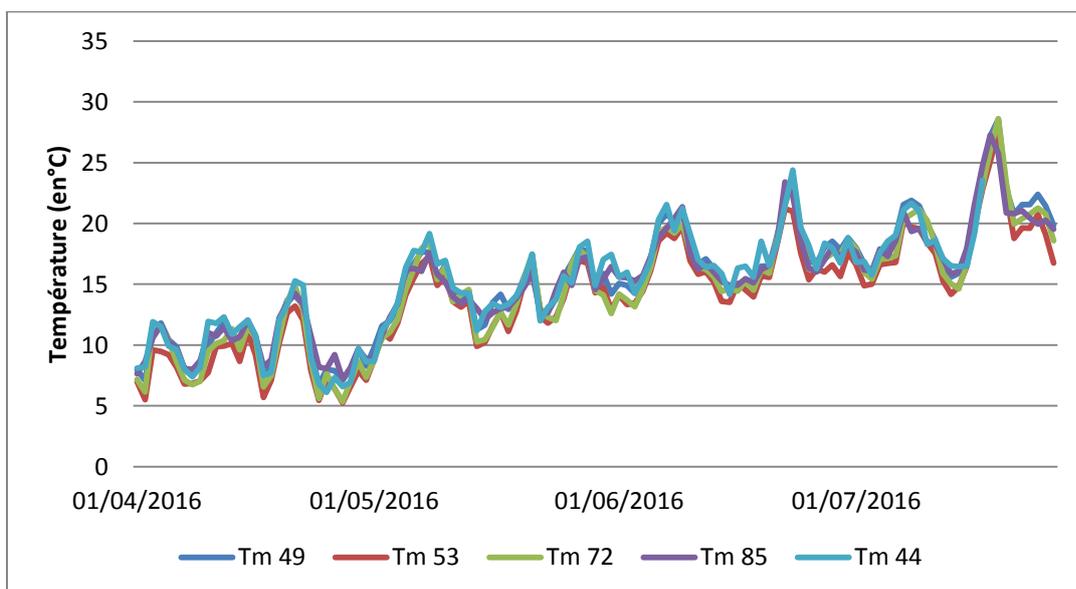


Figure 24 : Évolution de la température moyenne (Tm) en Maine et Loire (49), Mayenne (53), Sarthe (72), Vendée (85) et Loire-Atlantique (44) entre avril et juillet 2016

Les leds s'allument entre 21h et 6h du matin, soit une durée totale de 9 heures englobant le crépuscule et l'aurore. Deux clichés sont pris au cours de la nuit, l'un à 23h et le second à 6h juste avant l'extinction des lumières. Ces deux photographies ont été programmées ainsi afin de déterminer la zone horaire d'activité des pyrales du maïs, c'est-à-dire qu'elles ont pour objectif de définir s'il s'agit à priori plutôt de papillons crépusculaires ou de papillons s'activant de préférence avant le lever du jour.

Le piège est alimenté par deux petits panneaux photovoltaïques permettant de le placer où on le souhaite sans avoir de contraintes au niveau du branchement électrique. Ce piège a également pu être placé dans la même zone géographique que ceux de l'essai. Il sera donc lui aussi relevé deux fois par semaine. Le piège est positionné, le 06 juin, sur la bande enherbée d'une parcelle de maïs du GAEC des Trois Moulins situé sur la commune de Ligné (cf. : figure 22).

4) Bilan climatique de la campagne 2016

La pyrale du maïs se développant selon un nombre de degré jour spécifique les conditions climatiques, et tout particulièrement la température, ont été étudiées.

Sur le graphique ci-contre (figure 24), l'évolution moyenne de la température des cinq départements d'étude a été représentée entre avril 2016 et la fin du mois de juillet.

Les températures des cinq départements (Maine et Loire, Mayenne, Sarthe, Vendée et Loire- Atlantique) évoluent de la même manière. Début mai la température moyenne se situe aux alentours de 7°C. Plusieurs périodes un peu plus chaudes se succèdent avec des coups de froid. C'est le cas autour du 21 avril où les températures atteignent les 14 à 15°C pour redescendre entre les 6-7°C autour du 24 avril. Ce même schéma se retrouve début mai avec des températures sous les 10°C qui montent au-dessus des 15°C pour retomber quelques jours plus tard. Ces petits pics se succèdent également en juin et en juillet, avec un pic de grosse chaleur (plus de 25°C) sur plusieurs jours. Le mois de juillet se termine avec une température moyenne d'une vingtaine de degré Celsius.

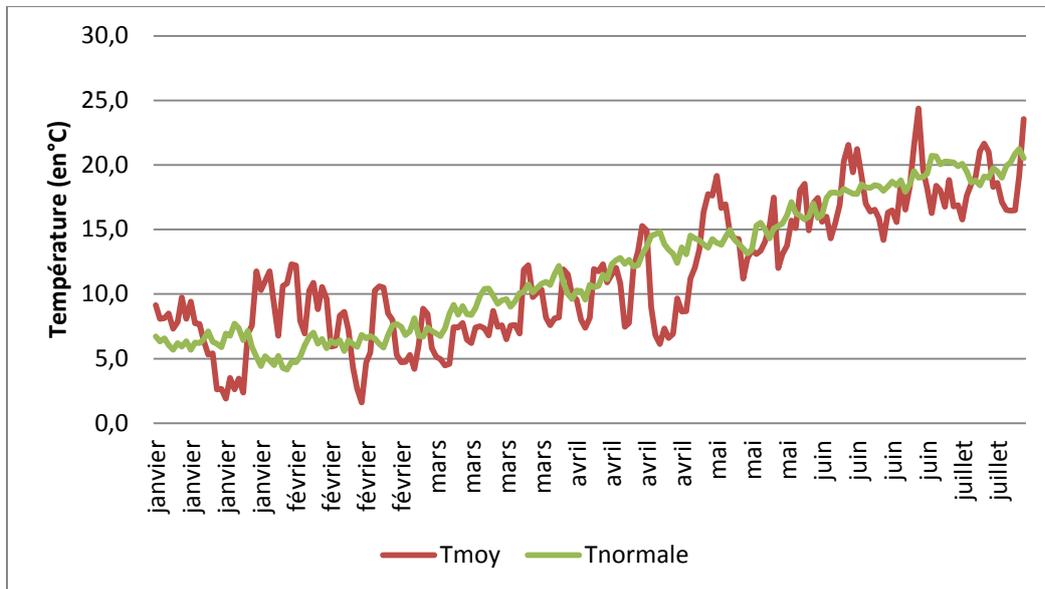


Figure 25 : Évolution de la température moyenne en Loire-Atlantique (Tmoy) entre janvier et juillet 2016 comparé à la normale établie entre 2003 et 2015 (Tnormale)

Toutefois quelques degrés d'écart persistent entre les différents départements. Ainsi, la Mayenne et la Sarthe ont généralement 1 à 2°C en moins que la Vendée et la Loire-Atlantique (le Maine et Loire se situe au milieu).

Le second graphique ci-contre (figure 25), permet de visualiser l'évolution de la température de cette première moitié de l'année dans le département de la Loire-Atlantique avec les normales de températures obtenues entre 2003 et 2015 pour le même département. Or, à part quelques jours plus cléments entre la mi-janvier et la mi-février, les températures moyennes du département se trouvent globalement sous les normales de saisons (entre 1 à 4°C de moins en moyenne).

5) BSV

Chaque semaine, les observations effectuées par l'ensemble des observateurs du réseau sont rassemblées et traitées pour être diffusées dans le BSV (Bulletin de Santé du Végétal) de la région.

Une partie du BSV est consacrée à la pyrale du maïs. Celle-ci est citée à partir du moment où les premières captures de papillons sont effectuées jusqu'à la fin juillet. Le BSV s'interrompt en août lors de la trêve estivale : quand il n'y a plus d'observateurs terrain et que la plupart des céréales ont été moissonnées (sauf le maïs qui de toute façon est arrivé à un stade où le tracteur ne peut plus passer au champ).

Le nombre de pyrales piégées dans les différentes parcelles de maïs suivies est indiqué dans le BSV, ces informations permettant de déterminer la dynamique de vol du papillon. Elles permettent de renseigner les agriculteurs sur la présence du ravageur aux alentours de chez eux, puis de leur stade de développement et donc de décider s'il faut traiter ou pas. Si le traitement est nécessaire, le BSV leur permet de définir le moment le plus opportun pour agir. En plus de l'évolution du nombre de captures réalisé dans la région, des indications sont données sur le repérage de la larve dans une parcelle par exemple, ou sur le contrôle des pontes (cf. : Annexe S5-S6-S7 : exemple du BSV pyrale).

6) Analyse des données

Les analyses statistiques ont été réalisées grâce aux logiciels R et Excel. Elles ont pour but de définir les différences significatives qu'il peut y avoir entre le piégeage réalisé par les différents types de pièges ainsi que l'influence de la position du piège le long d'une parcelle sur le piégeage. Les premières analyses ont été réalisées pour chaque parcelle, puis un cumul des captures a été réalisé par type de piège pour comparer les cinq types de pièges ensemble.

La normalité des jeux de données a été vérifié par l'intermédiaire du test de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Puis des tests d'homogénéité de la variance ont été réalisés avec le test de Bartlett ($p > 0,05$). L'homoscédasticité n'étant pas respecté, des tests non paramétriques ont été exécutés. Les comparaisons ont été effectuées grâce à des ANOVA ou à des tests de Student (pour les comparaisons des pièges nasse et delta en Vendée et dans le Maine et Loire). Des tests de Duncan ont été réalisés dans certains cas pour obtenir plus de précisions.

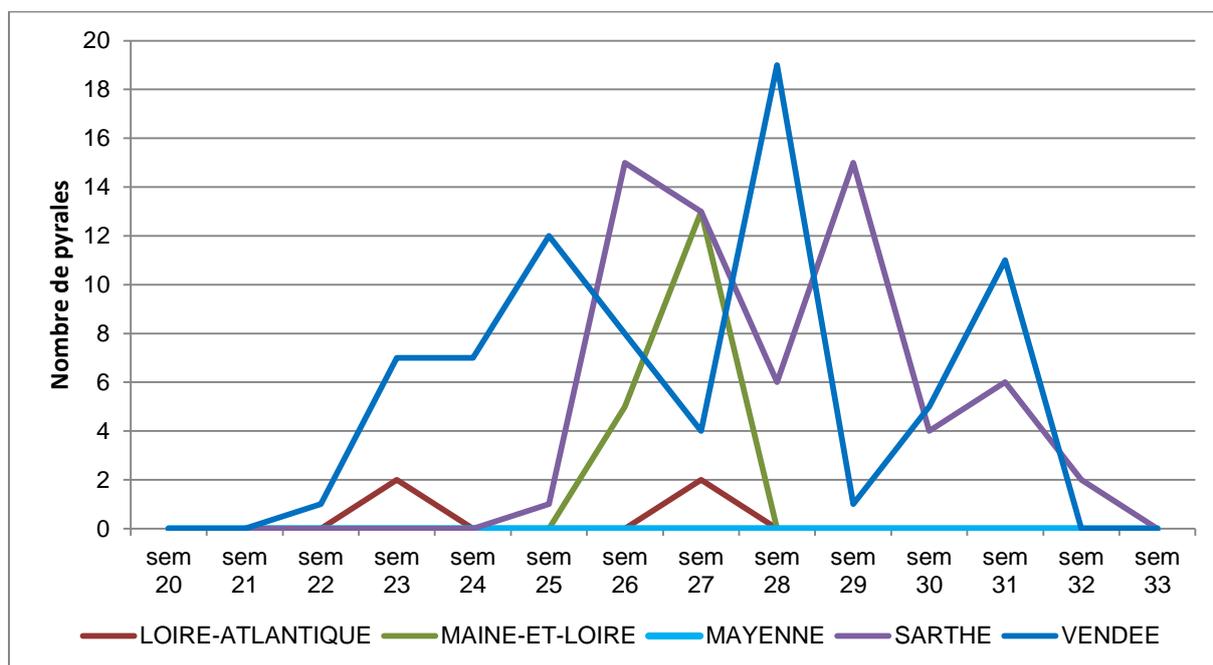


Figure 26 : Cumul des captures de pyrales hebdomadaires dans chaque département - pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire - 2015

III. Résultats

1) Pièges à phéromone

a. Campagne de piégeage 2015 des Pays de la Loire

Le résultat de la campagne de piégeage de 2015 des pyrales du maïs par piège à phéromone est visible sur le graphique ci-contre (figure 26). Les données ont été traitées département par département.

En Vendée, trois principaux pics de captures sont visibles lors des semaines 25, 28 et 31 avec respectivement 12, 19 et 11 pyrales capturées.

Très peu de captures ont été réalisées en Loire-Atlantique. Deux pyrales seulement ont été piégées pendant les semaines 23 et 27.

Pour le Maine et Loire : un pic en semaine 27 avec 13 captures sur l'ensemble du département.

Dans le département de la Sarthe, deux principaux pics sont visibles pendant les semaines 26 et 29 avec un total de 15 captures à chaque fois.

Enfin, aucune capture de pyrale n'a été enregistrée cette année 2015 en Mayenne.

b. Campagne de piégeage des régions voisines

Les courbes de vols obtenus par les Pays de la Loire ont été comparé nos courbes avec celles des régions voisines des Pays de la Loire ; le Poitou-Charentes, la Bretagne et la Normandie ainsi qu'une autre région, la Franche-Comté (cf. : courbe de vol en annexe figure S8 à S11).

Ces quatre régions arrivent à définir la dynamique de vol des pyrales grâce à leur piège à phéromone. Des renseignements ont donc également été pris sur leur méthode de fonctionnement.

Tableau 5 : Caractéristiques générales des réseaux d'observation de la pyrale du maïs dans d'autres régions de France

Régions	Nombre et type de piège	Observations	Phéromones	Plaques engluées	Autres
Poitou-Charentes	38 pièges delta Bioprox	Entre le 5 mai et le 21 juillet, 1 relevé par semaine	Consignes données pour la manipulation et le stockage. Changée toutes les 2 semaines	Changées toutes les 2 semaines	
Bretagne	12 pièges delta LE GALL (sans ouvertures latérales)	De début juin à début août, 1 relevé par semaine ou tous les 15 jours			Préoccupation encore minimale de la pyrale au vu de sa faible présence
Normandie	6 pièges delta Bioprox	De la mi-juin à fin juillet	Changée toutes les 2 semaines	Changées toutes les 2 semaines	
Franche-Comté	10 pièges delta Bioprox	Entre le 20 juin et le 15 août, 1 relevé par semaine	Changée toutes les semaines	Changées en fonction du temps et de la saleté de la plaque (en moyenne toutes les 2 semaines, mais peut varier entre 1 semaine et 1 mois)	Possède des cages à émergence ¹ et un modèle climatique (données sur 15 ans)

¹ Cage à émergence : Ce sont des cages d'élevage de larves de la pyrale du maïs. Des cannes de maïs abritant des larves sont récupérées après la récolte afin de suivre au plus près le stade de développement du ravageur (étude des chrysalides). Permet de définir la dynamique du vol de la pyrale sans avoir besoin d'effectuer une surveillance au champ.

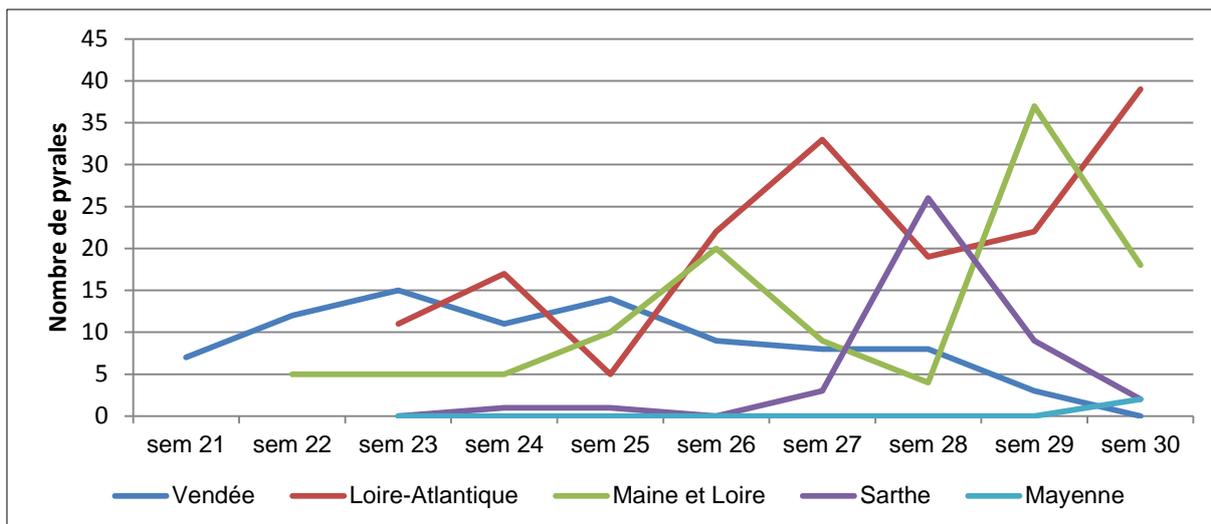


Figure 27 : Cumul hebdomadaire des captures de pyrales dans chaque département - pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

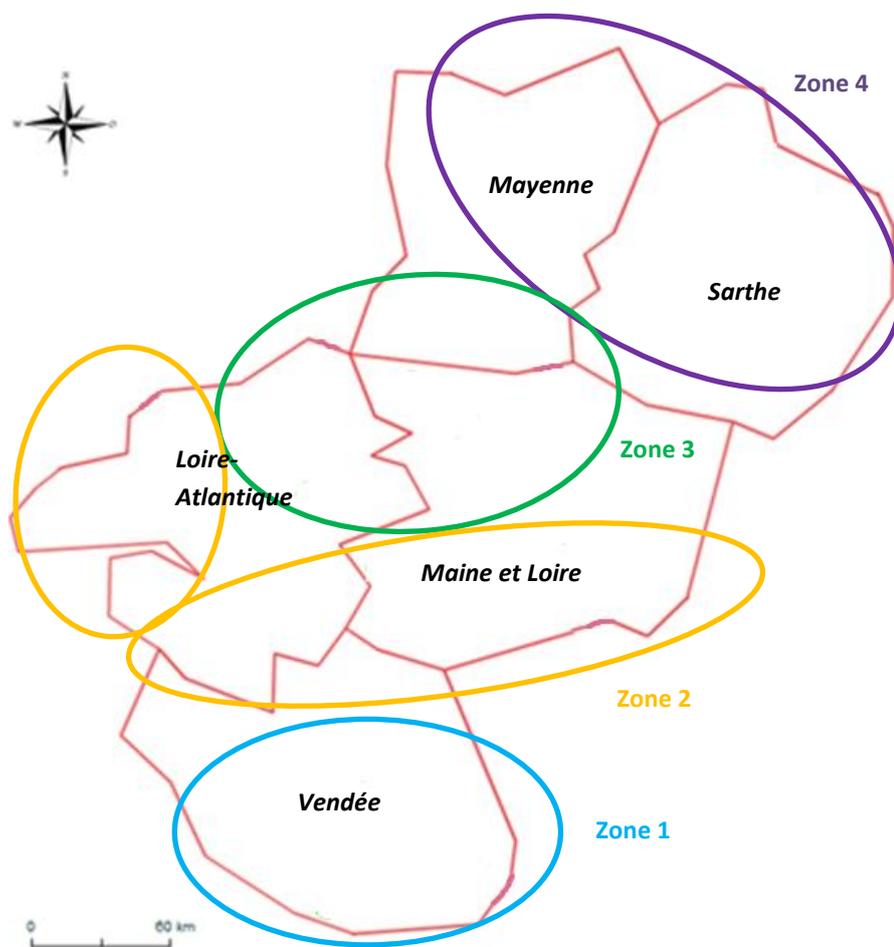


Figure 28 : Positionnement géographique des pièges à phéromone pour la capture de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire campagne 2016
Source : VGObs - Surveillance Biologique du Territoire

c. Campagne de piégeage 2016 des Pays de la Loire

i. Résultats du BSV

Fin Juillet 2016, lors de la rédaction du dernier Bulletin de Santé du Végétal (le mardi 26 Juillet, semaine 30) les différentes courbes de vol obtenues pour les cinq départements des Pays de la Loire sont représentées sur le graphique ci-contre (figure 27).

En Vendée, le nombre de captures de pyrales reste constant entre les semaines 21 à 28, avec un total de 10 à 15 pyrales piégées par semaine et sur l'ensemble des pièges du département.

Plusieurs pics de captures se succèdent en Loire-Atlantique. Le premier en semaine 24 compte une quinzaine de captures (sur l'ensemble des pièges du département), le second en semaine 27 atteint 33 captures, puis le dernier monte jusqu'à 39 captures lors de la semaine 30. Quoique inconstant, le nombre de captures ne descend pas au-dessous de 5.

Pour le Maine et Loire deux pics se distinguent : le premier lors de la semaine 26 avec 20 captures, puis lors de la semaine 29 avec un total de 37 captures sur tout le département.

En Sarthe, un seul pic de capture est enregistré lors de la semaine 28 avec 26 pyrales relevées sur l'ensemble des pièges. Les premières captures ont lieu dès la semaine 24 mais reste très faible jusqu'à ce pic.

Enfin, en Mayenne seul deux captures de pyrales sont effectuées lors de la dernière semaine de piégeage, la semaine 30.

ii. Résultats par zones géographiques

Pour essayer d'obtenir des courbes de vol plus lisibles et plus en adéquation avec la réalité, les pièges de la région ont été regroupés autrement que par rapport à leur département d'origine. Ce regroupement a été effectué par zone géographique où les tendances climatiques sont similaires (figure 28) :

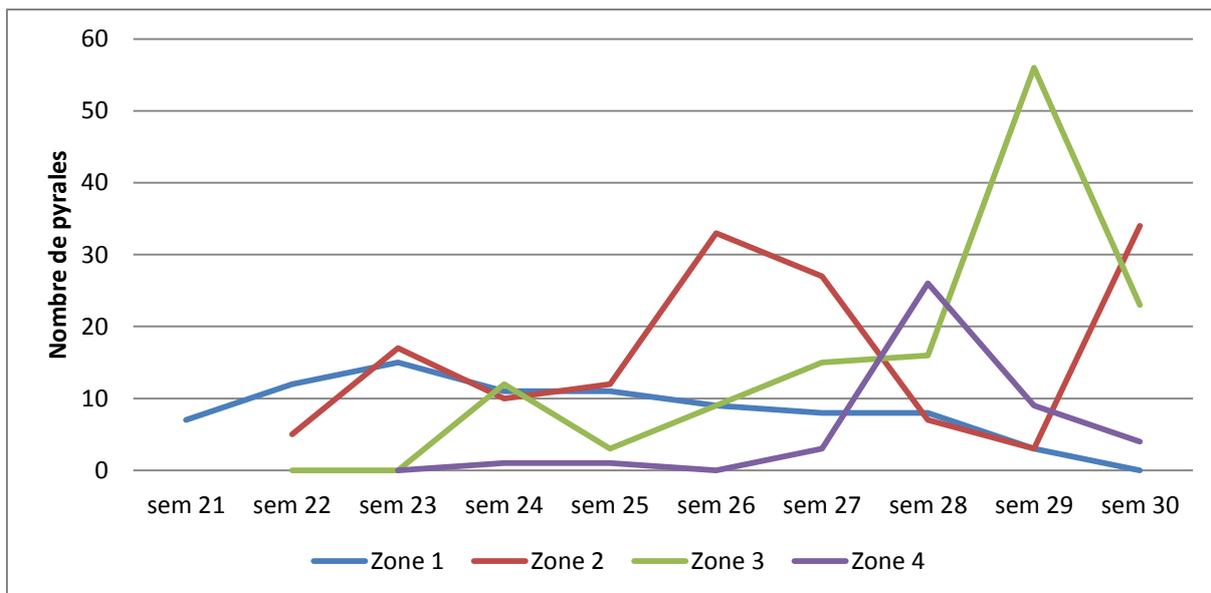


Figure 29 : Captures de pyrales hebdomadaires et par zone dans les pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

Légende :

- Zone 1 : Sud de la Vendée
- Zone 2 : Sud Loire de la Loire-Atlantique et du Maine et Loire ainsi que la façade Atlantique
- Zone 3 : Centre et Nord de la Loire-Atlantique et du Maine et Loire et le Sud de la Mayenne
- Zone 4 : Centre et Nord de la Mayenne et tout le département de la Sarthe

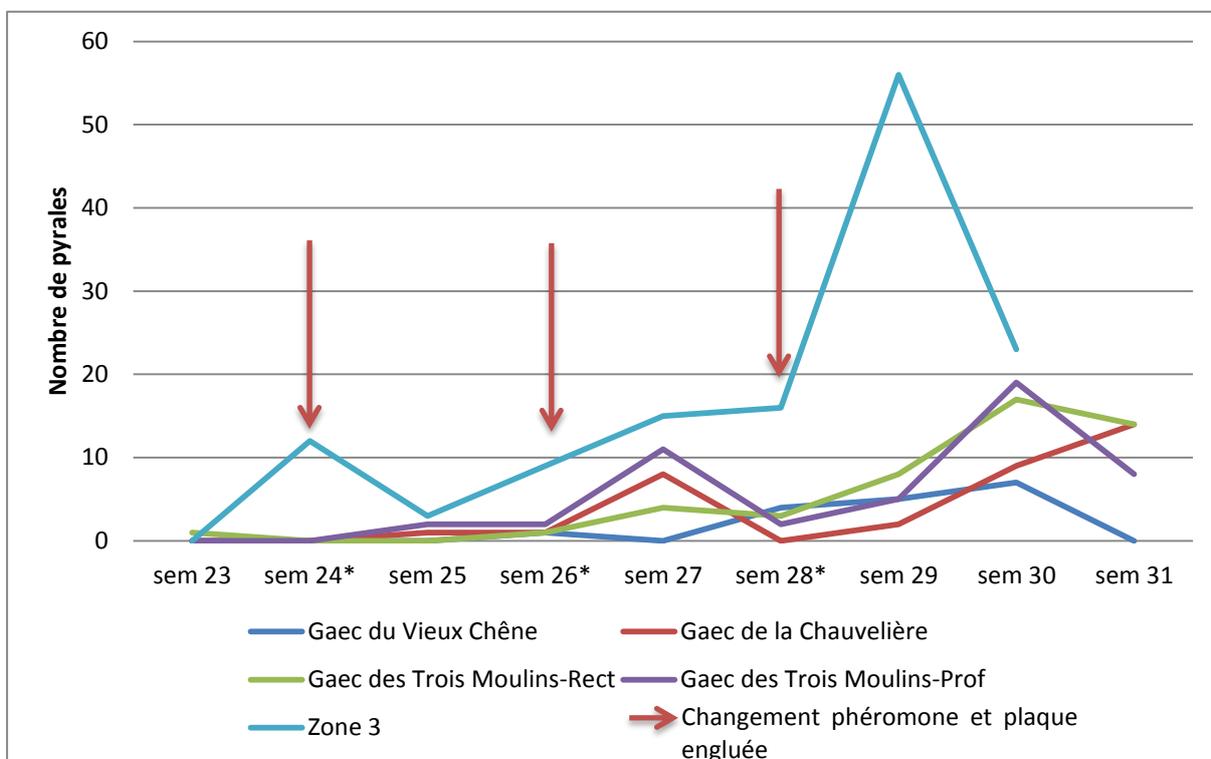


Figure 30 : Captures de pyrales bi-hebdomadaires sur l'essai, comparé avec la zone 3, en relation avec le changement des capsules de phéromone et des plaques engluées - Pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

- Zone 1 : Sud de la Vendée
- Zone 2 : Sud Loire de la Loire-Atlantique et du Maine et Loire ainsi que la façade Atlantique
- Zone 3 : Centre et Nord de la Loire-Atlantique et du Maine et Loire et le Sud de la Mayenne
- Zone 4 : Centre et Nord de la Mayenne et tout le département de la Sarthe

C'est ainsi que le graphique de la figure 29 est obtenu. Il n'y a pas de modification pour la Vendée, où les pièges sont exclusivement regroupés dans le sud du département. En revanche, l'on constate des pics de vol plus marqués pour les autres zones.

Pour la zone 2, le pic se situe autour de la semaine 26 avec une brusque remontée des captures pour la semaine 30. Dans la zone 3, 56 pyrales ont été capturées lors de la semaine 29. Enfin, nous avons un total de 26 pyrales piégées lors du pic de la zone 4 pendant la semaine 28.

Mise à part la fin de la campagne de piégeage pour la zone 2, ces nouvelles courbes de représentation des captures de la pyrale établissent plus distinctement la dynamique du vol du papillon.

d. Impact du suivi des pièges

Pour définir si les changements des plaques engluées et des capsules de phéromone, qui sont intervenus toutes les deux semaines, avaient un impact sur le piégeage du papillon, le nombre de pyrales capturées pendant l'essai a été comparé à ces dates clefs.

Les pièges nasses fonctionnant sans plaques engluées, les captures réalisées avec eux ont été supprimé des jeux de données afin d'obtenir des résultats comparables grâce à des pièges comparables.

Les plaques engluées et capsules de phéromone sont renouvelées en tout trois fois au cours de la campagne de piégeage : le 13 juin, le 27 juin et le 11 juillet.

La figure 30 montre la relation entre le changement des capsules de phéromone et des plaques engluées et le nombre de pyrales capturées. Les résultats de piégeage .

Tableau 6 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les pièges de la parcelle Prof.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	16,675	4	4,16875	2,9254386	0,0263822	2,493696
A l'intérieur des groupes	106,875	75	1,425			
Total	123,55	79				

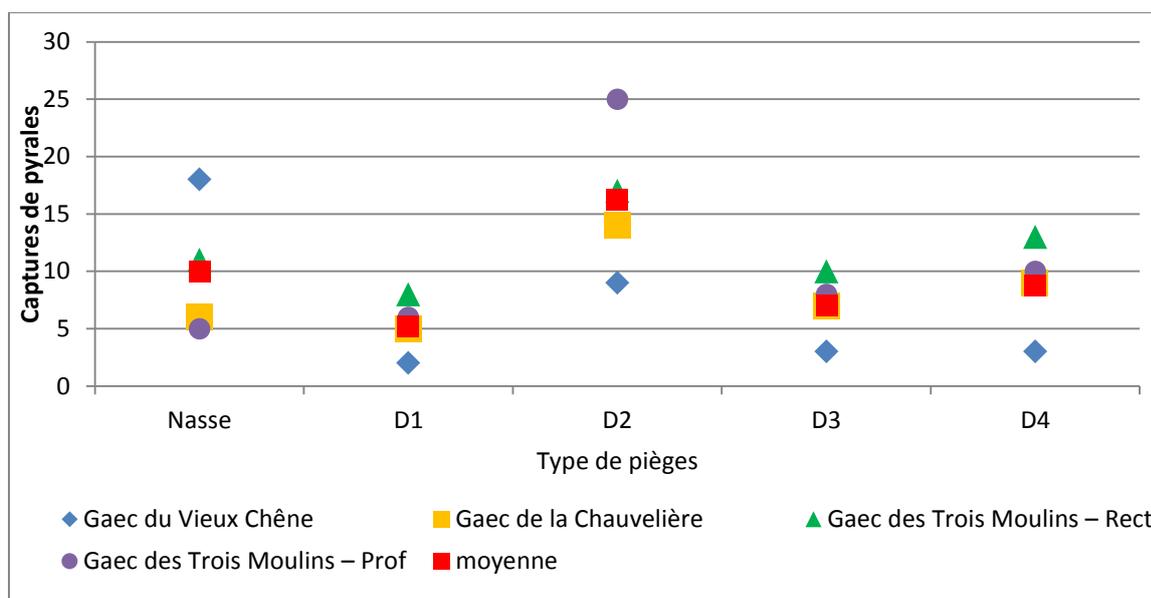


Figure 31 : Captures totales de pyrales par piège et par parcelle

Tableau 7 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les différents types de pièges

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F	Valeur critique pour F
Entre Groupes	282,7	4	70,675	3,1341463	0,0463706	3,0555683	3,4902948
A l'intérieur des groupes	338,25	15	22,55				3,2591667
Total	620,95	19					

de l'essai sont mis en relation avec les résultats de la zone 3, où sont situées nos parcelles d'essais. Le nombre de pyrales capturées sur une parcelle correspond à la somme des pyrales capturées dans tous les pièges delta présents sur la parcelle.

Suite au deuxième changement de phéromone et de plaques engluées (en semaine 26) un premier pic de pyrales est enregistré (semaine 27). Puis le nombre de captures décroît en semaine 28, qui est également une semaine de changement plaques/phéromones, avant de ré augmenter progressivement et d'atteindre un second pic en semaine 30, soit deux semaines après le changement.

e. Résultats des essais

i. Différence inter pièges par parcelle

Les calculs statistiques ont été réalisés sur l'ensemble du jeu de données et non sur un cumul de pyrales. Pour trois des parcelles où les différents types de pièges ont été posés il n'y a pas de différence significative entre le piégeage des 5 pièges testés ($p > 0,05$). Ces trois parcelles sont celle du GAEC du Vieux Chêne, celle du GAEC de la Chauvelière et la parcelle Rect du GAEC des Trois Moulins (résultats des tests en annexe, du tableau S1 au tableau S3).

En revanche, sur la parcelle Prof du GAEC des Trois Moulins l'un des pièges, le piège delta D2, a piégé significativement plus que les autres types de pièges expérimentés dans cet essai ($p < 0,05$) (tableau 6).

Les tests de comparaison effectués pour les pièges nasses situés en Vendée et dans le Maine et Loire n'ont également pas été significatifs ($p > 0,05$). Les deux pièges nasses étaient chacun comparés à un piège delta de type D3.

ii. Impact de la position des pièges par parcelle

Les calculs statistiques ont été réalisés sur l'ensemble du jeu de données et non sur un cumul de pyrales. La position des pièges sur la bande enherbée le long de la parcelle de maïs n'a pas d'impact significatif sur le piégeage des papillons ($p > 0,05$) (résultats des tests en annexe du tableau S4 au tableau S7). Ainsi, aucun type de piège n'a pas pu piéger plus de par sa position géographique dans la parcelle.

Tableau 8 : Résultat de l'analyse de variance à 2 facteurs pour la comparaison des captures accomplies par les différents types de pièges

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Lignes	74,55	3	24,85	1,1308305	0,3756514	3,4902948
Colonnes	282,7	4	70,675	3,2161547	0,0518606	3,2591667
Erreur	263,7	12	21,975			
Total	620,95	19				

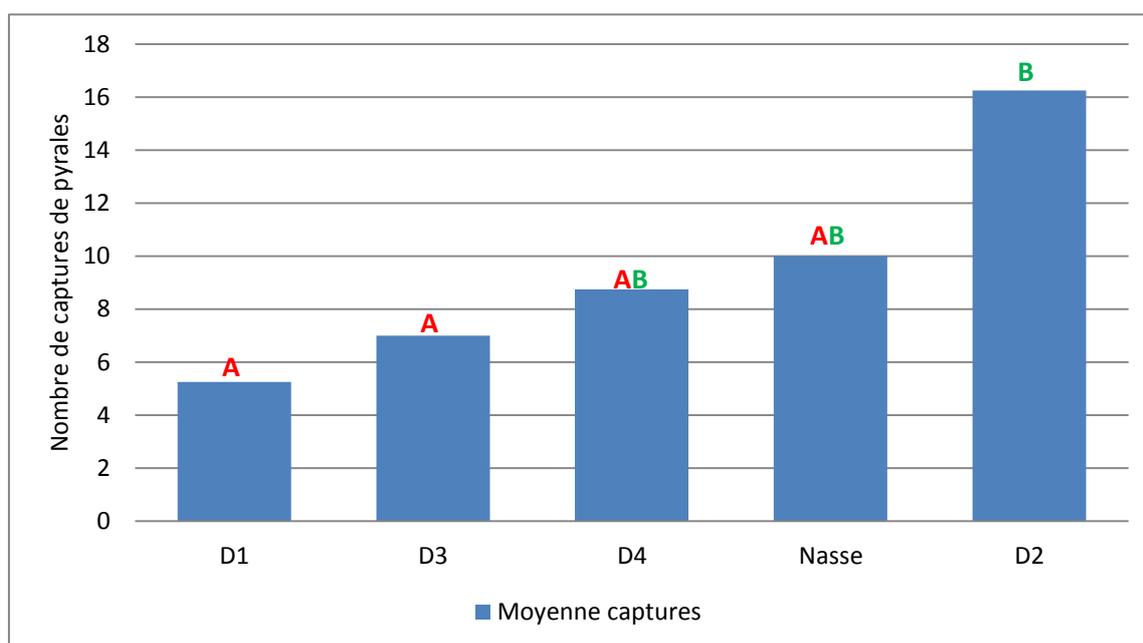


Figure 32 : Comparaison de la moyenne de pyrales capturées pour chaque type de piège sur l'ensemble des parcelles

Tableau 9 : Résultat de l'analyse de variance à 2 facteurs avec répétition d'expérience pour la comparaison des captures accomplies par les pièges à 1 ou 3 plaques engluées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	167,1875	3	55,729167	2,8306878	0,1063775	4,0661806
Colonnes	162,5625	1	162,5625	8,2571429	0,0207165	5,3176551
Interaction	26,1875	3	8,7291667	0,4433862	0,7285048	4,0661806
A l'intérieur du groupe	157,5	8	19,6875			
Total	513,4375	15				

i. Comparaison globale

Dans ce cas, les analyses statistiques ont été réalisées sur un cumul des captures de pyrales. La figure 31 représente la moyenne (de toutes les parcelles) de toutes les captures de pyrale par type de piège. La moyenne de capture la plus basse revient au piège D1 avec une moyenne de 5,21 pyrales capturées/piège sur toutes les parcelles tests, puis le piège D3 avec une moyenne de 7 pyrales/piège, le piège D4 avec 8,75 pyrales/piège, la piège nasse avec 10 pyrales/piège et enfin le piège D2 avec 16,25 pyrales/piège (jeu de données disponible en annexe : tableau S8).

Il semblerait que le piège D2 capture sensiblement plus de papillons que les autres types de pièges. Des analyses de la variance ont donc été réalisées : la première a un seul facteur (tableau 7) et la seconde à deux facteurs (tableau 8). L'ANOVA à deux facteurs a pour but de définir si la parcelle influe sur le nombre de captures. D'après l'ANOVA à 1 facteur il existe une différence significative entre le piégeage des différents pièges ($p < 0,05$). D'après l'ANOVA à 2 facteurs, le nombre de captures n'est pas influencé par le type de parcelle. En revanche, dans ce cas-là, la différence significative entre les différents types de pièges est moins flagrante car $p = 0,05$.

Afin de déterminer quels pièges sont différents, un test de Duncan est effectué pour les deux ANOVA (cf. : développement du test en annexe : tableau S9).

Les deux tests ont donné le même résultat qui est visible sur la figure 32. Il apparaît que le piège D2 capture significativement plus de pyrales que les pièges D1 et D3.

Mise à part le piège nasse, il semblerait également que les pièges D2 et D4, c'est-à-dire les pièges qui possèdent trois plaques engluées, capturent plus de pyrales que les pièges D1 et D3, qui ne possèdent qu'une seule plaque engluée.

Une analyse de variance à 2 facteurs avec répétition d'expérience est effectuée entre les pièges à une plaque engluée et les pièges à trois plaques engluées (le tableau de données ayant servi de base à cette analyse est disponible en annexe, tableau S10).

D'après l'ANOVA (tableau 9) la parcelle n'influence pas sur le nombre de papillons capturés. En revanche, les pièges possédant trois plaques engluées attrapent

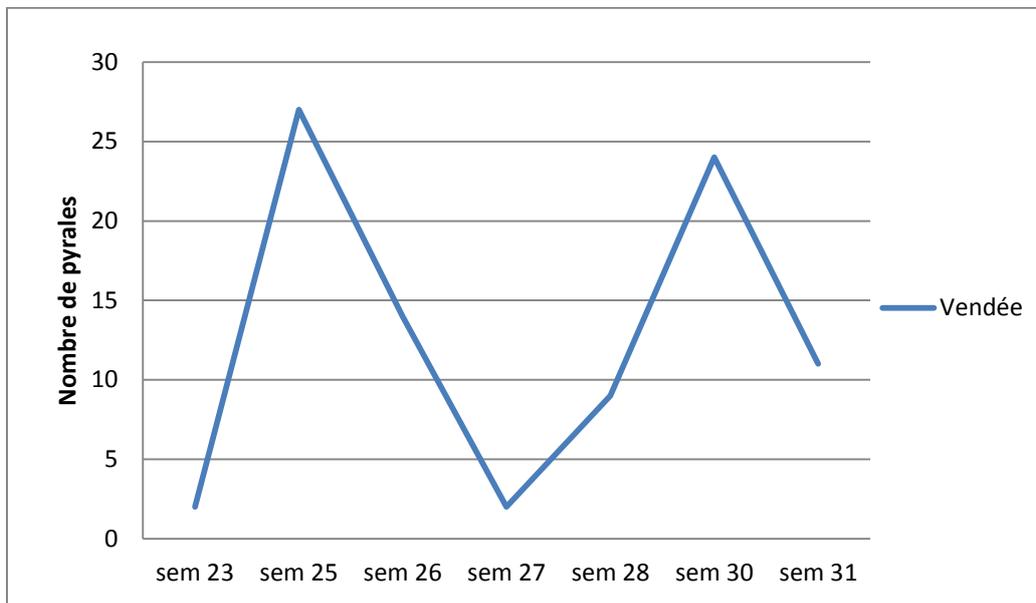


Figure 33 : Captures de pyrales hebdomadaires en Vendée - Pièges lumineux du réseau SBT Pays de la Loire – 2015

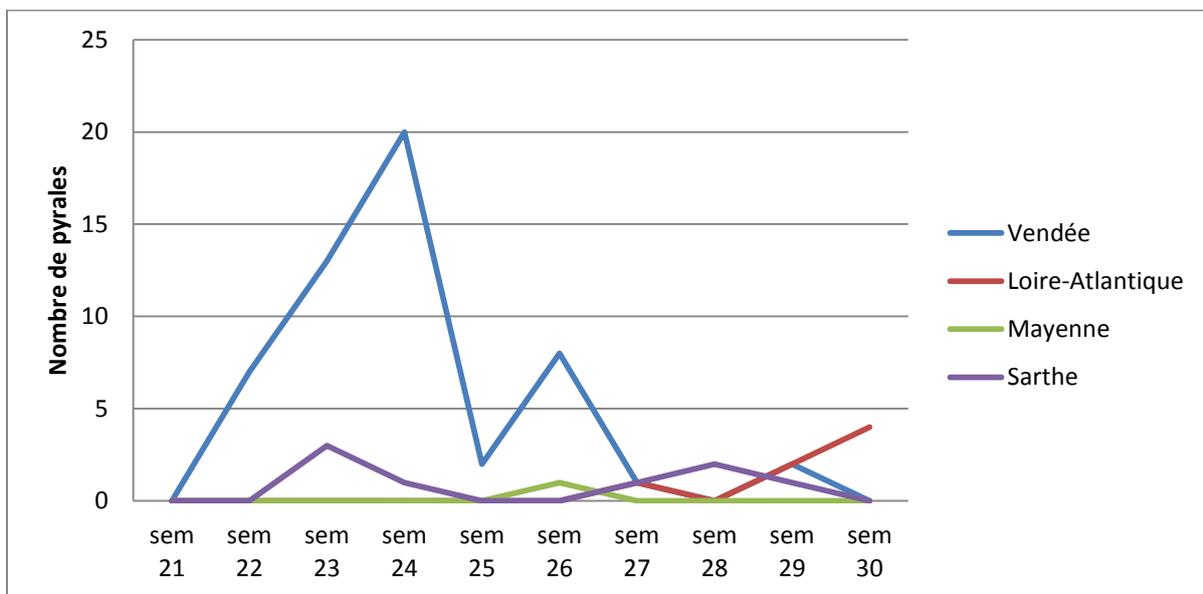


Figure 34 : Captures de pyrales hebdomadaires en Pays de la Loire- Pièges lumineux du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

significativement plus de pyrales que les pièges ne possédant qu'une seule plaque collante.

Le même type de test a été effectué entre les pièges avec et sans ouvertures latérales et les résultats ne sont pas significatifs (résultats disponibles en annexe, tableaux S11 et S12). Les ouvertures latérales ne semblent donc pas à l'origine d'une hausse significative de captures du ravageur.

2) Pièges lumineux

a. Résultats 2016 comparés avec les autres années

En 2015 le réseau de Surveillance Biologique du Territoire des Pays de la Loire ne comptait que deux pièges lumineux au sein de son réseau. Ces deux pièges étaient situés dans le Sud de la Vendée (sur les communes de Sainte-Pexine et Luçon) (cf. : figure 18 pour la localisation cartographique des pièges lumineux 2016).

Sur le premier graphique ci-contre (figure 33) on trouve les résultats du piégeage de ces pièges. Deux pics sont visibles, le premier pendant la semaine 25 (avec un total cumulé sur les deux pièges de 27 captures de pyrales) et le second pic qui s'est produit lors de la semaine 30 (avec un total de 24 papillons capturés).

En 2016, six pièges lumineux ont été disposés dans la région par le réseau de surveillance (trois pièges en Vendée, un en Loire-Atlantique, un en Mayenne et un en Sarthe). Les résultats de cette campagne sont visibles sur le second graphique ci-contre (figure 34).

Seuls les trois pièges de Vendée ont pu transmettre une dynamique de vol cohérente avec un pic de vol dans la semaine 24 et un total de 20 pyrales capturées. Le piège de Loire-Atlantique enregistre son premier piégeage pendant la semaine 27 avec une seule capture et monte jusqu'à quatre captures lors de la semaine 30. Sur toute la campagne de piégeage, le piège lumineux de la Mayenne n'a capturé qu'un seul spécimen dans la semaine 26. Enfin, le piège de Sarthe a attrapé trois papillons au

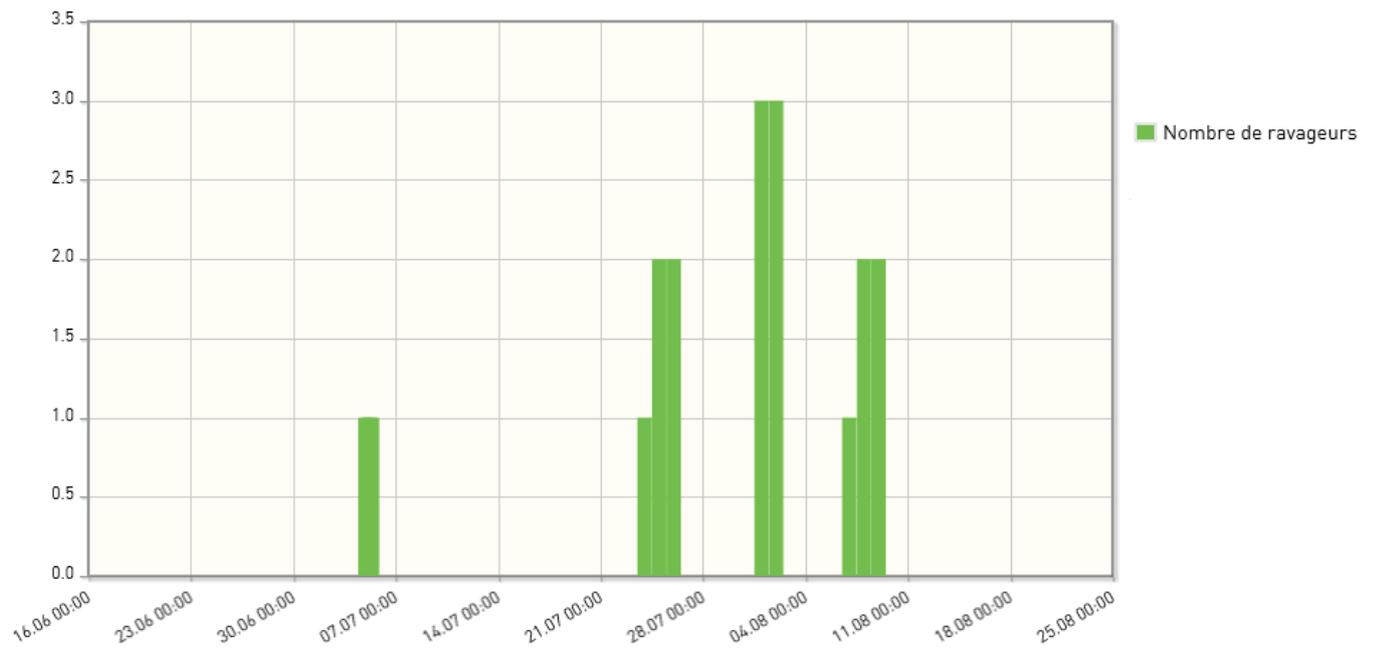


Figure 35 : Captures de pyrales réalisées par le piège connecté du réseau SBT Pays de la Loire – 2016
Source : Trapview

début de la campagne (semaine 23) puis quatre autres papillons autour de la semaine 28.

En 2015, il y a eu une moyenne de 48 pyrales piégées par piège et sur l'ensemble de la campagne (du 28 mai au 27 juillet) contre une moyenne de 11,5 pyrales/piège sur l'ensemble de la campagne 2016 (du 30 mai au 25 juillet).

Les pièges de 2015 étant tous positionnés en Vendée, si nous les comparons seulement avec les trois pièges situés dans le même département lors de la campagne de 2016 nous obtenons une moyenne de 17,7 pyrales/piège.

b. Campagne de piégeage des régions voisines

Sur les quatre régions utilisées pour comparer les résultats des Pays de la Loire avec les pièges lumineux, une seule région (la Normandie) ne possède aucun piège lumineux. La Franche-Comté n'utilise qu'un seul piège lumineux, tandis que la Bretagne en compte quatre et le Poitou-Charentes dix pièges (mais les dix pièges ne sont pas relevés chaque semaine).

Les graphiques présentant les résultats des captures de ces pièges se trouvent en annexe (figures S12 à S14). Le piège de Franche-Comté a très peu piégé et montre un pic en semaine 26 avec quatre captures de papillons. Les pièges du Poitou-Charentes indiquent clairement un pic de vol en semaine 27 avec 117 captures sur 6 pièges. Enfin, les pièges bretons présentent un pic de vol en semaine 28 avec un total de 35 captures sur les quatre pièges mis en place.

c. Piège connecté

Positionné début juin le long d'une parcelle de maïs, il aura fallu attendre début juillet pour avoir les premières captures de pyrales. Au total, onze pyrales auront été piégées par l'intermédiaire de ce piège entre le 4 juillet et le 8 août, avec une à trois pyrales par relevé (figure 35).

IV. Discussion

1) Réseau de piégeage des Pays de la Loire

L'un des premiers buts de cette étude était de définir les points négatifs du réseau de piégeage de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire pour leur trouver, si possible, des solutions ou du moins essayer de les améliorer.

Le premier grand point négatif résidait dans le non-respect des bonnes pratiques de piégeage de la pyrale et avait pour conséquence de très faibles captures du ravageur dans les pièges à phéromone. Les rappels dispensés sur le maniement de la phéromone, le placement et le suivi des pièges, entre autres, ainsi que la distribution des guides réalisés avant le début de la campagne de piégeage, ont permis de combler certaines lacunes des observateurs. C'est ainsi que le nombre de captures dans les pièges à phéromone est passé de 159 papillons en 2015 (pour 52 pièges) à 419 papillons en 2016 (pour 67 pièges). Le nombre moyen de pyrales capturées a évolué de 3,1 à 6,3 pyrales/piège, soit une quantité de ravageurs piégés qui a plus que doublé en l'espace d'un an. Mais cette augmentation de captures peut également être due à une augmentation du nombre de ravageur en 2016. Il faudra donc vérifier si dans les années à venir le taux de captures diminue à nouveau ou pas.

Dans tous les cas, la capture de ces pyrales ne permet aucunement de diminuer la population du ravageur, mais une augmentation de capture peut être synonyme d'un meilleur suivi du vol du papillon.

En effet, un autre point important résidait dans la lecture des graphiques obtenus par le nombre de pyrales piégées. Ces graphiques essentiels permettent de déterminer la dynamique de vol du papillon, élément indispensable pour définir le moment le plus opportun pour le traitement des parcelles de maïs.

La comparaison des graphiques représentant ces fameuses courbes de vol de la pyrale et obtenu par la région entre 2015 et 2016 nous montre une évolution positive. En effet, en 2015 le piégeage du papillon s'était révélé assez aléatoire. Plusieurs pics se succédaient en Vendée et en Sarthe, les captures réalisées dans la Loire-

Atlantique étaient minimales et il n'y en a pas eu une seule en Mayenne. Ces résultats permettaient difficilement d'établir la dynamique du vol du papillon et pouvaient même faire penser à une succession de deux générations de pyrales en Vendée. Des captures y ont effectivement été enregistrées sur plus de deux mois consécutifs (de la semaine 22 à la semaine 31).

Les résultats obtenus en 2016 sont moins aléatoires, même si deux pics successifs persistent pour la Loire-Atlantique et le Maine et Loire. Ces deux pics peuvent être une conséquence du manque de régularité des observateurs du réseau (dans le relevé des pièges), ou bien une deuxième émergence de la première génération de pyrale étant donné les conditions climatiques particulière de cette année. Le développement de la pyrale étant très dépendant des températures, comme nous avons pu le voir précédemment, nous avons décidé d'aborder le problème sous un autre angle.

C'est dans cette optique qu'il a été effectué une segmentation géographique différente de celle des limites départementales existantes pour présenter les résultats. Cette segmentation des résultats par régions climatiques permet l'obtention de courbes de vol plus à même d'être utilisées comme outil d'aide à la décision dans le traitement contre la pyrale du maïs. L'ensemble des courbes obtenues (à l'exception de la Vendée – Zone 1) se construit comme tel : un début de piégeage avec des captures relativement constantes, un pic de piégeage, puis une phase de capture décroissante.

Les captures réalisées dans la zone 1 (Sud Vendée), n'évoluent pas de la même manière. Le nombre de captures reste plus ou moins constant du début à la fin de la campagne de piégeage (nombre oscillant entre 7 et 15 captures/semaine sur l'ensemble des pièges delta relevés). Malgré tous les efforts mis en place sur la gestion des pièges, aucun pic de vol ne se distingue. De même, l'on peut voir une brusque remontée du nombre de captures réalisées dans la zone 2 (Sud Loire de la Loire-Atlantique et du Maine et Loire ainsi que la façade Atlantique) en semaine 30.

Ces aléas peuvent avoir plusieurs origines. La première concerne la régularité des observateurs. Il n'est pas rare que certains membres du réseau ne relèvent pas leur(s) piège(s) de manière très assidue. Ainsi, certaines semaines beaucoup de captures sont remontées, puis plus rien la semaine suivante. Les relevés de piège dépendent

également des jours de congé de chacun, par exemple le pont du 14 juillet a pu engendrer des baisses de captures pendant les semaines 28 et 29. Enfin, et malgré les guides d'identification de la pyrale fourni à tous les observateurs, des erreurs d'identification sont également possibles. Aussi, lors de captures de pyrales particulièrement importantes nous avons souvent été amenés à demander des photographies des échantillons piégés pour valider les captures et il est arrivé que ces échantillons ne soient pas des pyrales. Malheureusement la pyrale est un papillon de nuit qui possède peu de signes particuliers pour des yeux non avertis et les pièges à phéromone (delta et nasse confondus) piègent, malgré la phéromone spécifique à la pyrale, d'autres types papillons.

Le réseau a été notablement amélioré du point de vue du nombre de pyrales piégées ainsi que sur le rendu des courbes de vol du ravageur. Mais des efforts supplémentaires devraient être mis en place pour former correctement tous les observateurs à l'identification de la pyrale, avec par exemple l'intervention d'un entomologiste. Cette remise à niveau devrait cependant être effectuée tous les ans à cause du renouvellement fréquent des observateurs.

Les Pays de la Loire possèdent un réseau d'observateurs important et connaissant les enjeux liés au piégeage de la pyrale. Une bonne formation du réseau, initiée cette année, est certainement la clef de la réussite alliée à des pièges efficaces.

2) Essais

Lors des essais sur les différents types de pièges à pyrale il a été décidé de ne tester que deux des trois types de pièges existant : les pièges delta et les pièges nasses. Les pièges sceaux ont été mis de côté au vu de leurs résultats moins bons (Pélozuelo et Frérot, 2005). Ces pièges sont peu adaptés au vol de la pyrale en partie à cause de leur structure : le papillon doit se diriger vers le bas pour se retrouver piégé. En revanche, les pièges delta et surtout les pièges nasses ont des structures plus adaptées au vol du ravageur (Webster et al, 1986).

Suite aux calculs statistiques il est apparu que la localisation géographique n'avait pas d'impact sur le nombre de pyrales capturées. Ce résultat signifie que le type de

végétations, qui n'est pas forcément le même d'un endroit à l'autre de la bande enherbée, n'est pas responsable de la présence ou de l'absence du ravageur. Il n'y aurait apparemment pas de végétations préférées par les pyrales ; celles-ci s'accommoderaient de tous les types de plantes présentes dans une zone enherbées le long d'une parcelle.

Les résultats statistique ont également montrés que le piège de type D2 (trois plaques engluées sans ouverture latérale) piégeait significativement plus que les pièges de type D1 (une plaque engluée, pas d'ouverture latéral) et D3 (une plaque engluée avec ouvertures latérales).

Contrairement à nos attentes, ce n'est pas le piège nasse qui se démarque des autres pièges, mais le piège D2.

Or, Webster et al ont prouvé dès 1986 qu'il existait de grosses différences entre les pièges delta et les piège nasse. Ils ont comptabilisé le nombre de pyrales qui s'approchaient de chacun des pièges, puis le nombre de papillons qui entraient dans le piège et enfin le nombre de pyrales capturées. Ils ont pu définir que sur 18 mâles s'approchant à 25 cm d'un piège nasse, 15 entraient à l'intérieur du piège et que 13 d'entre eux se retrouvaient piégés. En revanche, sur 22 mâles s'approchant à 25 cm d'un piège de type delta, 16 pyrales entraient et seulement 3 se retrouvaient piégés avec une forte probabilité que 2 d'entre elles arrivent à s'échapper. Ainsi, si le nombre de pyrales entrant dans le piège est assez similaire dans les deux cas (83% pour les pièges nasses et 73% pour les pièges de type delta) le nombre de pyrales réellement capturées diffère énormément (72% pour les pièges nasses et seulement 14%, dans le meilleur des cas, pour les pièges de type delta).

Les essais réalisés cette année amènent donc à des résultats très différents de ceux obtenus dans d'autres études comme dans celle de Pélozuelo et Frérot en 2005, de Webster et al en 1986 ou que dans celle de Maini et Burgio en 1990.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences. Le tout premier est lié aux pièges nasses. De fabrication maison, ils sont quelque peu différents de ceux qui ont servi de base aux études de 1986, de 1990 et de 2005. De plus, quelques problèmes techniques sont apparus sur les pièges à cause du choix d'un matériel non adapté car ne résistant que faiblement aux conditions climatiques extérieures. Le velcro utilisé pour lier les deux parties du piège était un velcro autocollant. Or, il s'est révélé qu'au bout de quelques semaines passées en extérieur, l'autocollant ne colle plus aussi bien. Les pièges ont dû être raccommodés, mais des trous ont persisté permettant certainement « l'évasion » de quelques papillons.

Outre cet aspect technique, l'année 2016 a été une année climatique particulière comme nous avons pu le voir précédemment (cf. : III. 4). Bilan climatique de la campagne 2016). Les températures plus basses ont eu un impact direct sur le développement du ravageur et donc sur son vol.

Pour obtenir de nouveaux résultats, probablement plus fiables, il faudrait reprendre tous les pièges nasses pour changer la jonction entre les deux parties du piège, par du velcro à coudre par exemple, et refaire au moins une campagne de piégeage en comparant le piège nasse avec un piège delta.

En parallèle, la comparaison entre pièges delta, et plus précisément la comparaison entre les pièges delta pourvu de trois plaques engluées et ceux pourvus d'une seule plaque, a montré que les pièges à trois plaques captures significativement plus de pyrales que les pièges à une plaque.

Pourtant, sur l'ensemble des pyrales capturées par les pièges D2 et D4 (trois plaques), soit 99 captures sur la campagne 2016, seuls trois pyrales ont été piégées grâce à l'une des deux plaques positionnées sur l'une des faces internes et inclinées du piège. Même si un nombre de papillons moins négligeable (21 pyrales) ont été piégés dans un coin (entre deux plaques engluées) il n'est pas exclu qu'ils se seraient tout de même retrouvés immobilisés avec une seule plaque engluée (au sol).

En l'état actuel des connaissances nous ne pouvons qu'émettre des hypothèses sur l'efficacité de ce type de piège. Par exemple, peut-être que les pyrales se « collent »

légèrement sur les plaques situées sur les côtés, puis ne pouvant repartir normalement, finissent par tomber sur la plaque se trouvant au sol, augmentant ainsi le nombre de pyrales capturées.

Il serait intéressant de pouvoir tester ce type de piège dans un tunnel afin de pouvoir filmer, ou voir en direct, comment les pyrales interagissent avec le piège et se retrouvent piégées.

En ce qui concerne les tests réalisés entre les pièges delta possédant des ouvertures latérales et ceux n'en possédant pas, l'absence de résultat significatif a pu être induit par l'année climatique particulière qui vient de s'écouler. Il serait peut-être préférable de recommencer ces tests comparatifs afin de déterminer l'efficacité réelle des ouvertures latérales.

Pour les comparaisons effectuées pour les pièges nasses situés en Vendée et dans le Maine et Loire ; chaque piège nasse était comparé à un piège de type D3. En Vendée, le piège D3 a aussi bien piégé que le piège nasse. Ce dernier a peut-être rencontré quelques difficultés à cause d'un vent fort et souvent présent qui aurait pu impacter la structure du piège en aplatissant le tulle qui forme le premier grand cône. Un autre essai dans une zone abritée du vent serait recommandé. En Maine et Loire, en revanche, sur la parcelle de maïs d'essai, seul le piège nasse a capturé une fois (pour un total de deux pyrales). Le piège D3 n'a rien piégé de toute la campagne. Les pièges ont certainement été placés sur une parcelle avec une pression du ravageur minime et pas suffisante pour permettre une comparaison. Ici aussi un autre test serait préférable, de préférence sur une autre parcelle où une pression du ravageur plus importante a été notée les années passées, avant de pouvoir donner un avis définitif sur l'efficacité des pièges.

Pour valider, ou infirmer, les résultats actuels, il serait donc utile de refaire quelques tests l'année prochaine, notamment pour continuer les comparaisons entre les pièges delta classiques (sans ouverture latérale), les pièges delta de type Bioprox



Figure 36 : Exemple de l'état d'une plaque engluée
après deux semaines d'utilisation
Source : CA 44

(avec ouvertures latérales) et les pièges nasses (améliorés au niveau de la jonction autocollante).

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés au suivi des pièges delta et à l'impact du changement des capsules de phéromone et des plaques engluées sur le nombre de ravageurs capturés. Sur les trois changements qui ont eu lieu sur les pièges delta testés, le second changement (de plaques et de phéromone) semble avoir un réel impact sur les captures. En effet, les captures augmentent directement la semaine suivante puis baissent celle d'après. En revanche, si l'on regarde le troisième changement, l'augmentation des captures de pyrales est plus lente et atteint son apogée deux semaines après. En sachant que de nombreuses captures sont encore réalisées la semaine suivante, soit trois semaines après le dernier changement de plaques engluées et des capsules de phéromone.

Les suivis des pièges ne semblent donc pas avoir de réel impact sur le piégeage. Ce que confirme Pélozuelo et al en 2001 pour la phéromone. En effet, ils ont démontrés qu'une « vieille » capsule de deux semaines et utilisée en conditions normales a le même pouvoir attractif qu'une capsule neuve. Une capsule de phéromone pourrait ainsi être utilisée deux à trois semaines sans altérer la qualité du piégeage.

En revanche, pour les plaques engluées, mêmes si apparemment elles ne détériorent pas la qualité du piégeage au bout de deux semaines, les changer régulièrement est conseillée (une fois toutes les deux semaines). Malgré la présence de phéromone censée n'attirer que les pyrales mâles, d'autres insectes, moins chanceux, se retrouvent également immobilisés sur ces surfaces collantes. On y retrouve par exemple des mouches, des moucherons, des carabes et d'autres papillons, ainsi que des petits morceaux de végétations (feuilles, tiges, pollen...) amenés par le vent (figure 36). Tous ces insectes et autres débris réduisent la surface collante de la plaque et facilitent « l'évasion » de potentielles pyrales capturées. Il semble donc préférable de changer régulièrement les plaques engluées.



Figure 37 : Araignée mangeant une pyrale à l'intérieur
du sac de capture d'un piège nasse
Source : CA 44

Un autre facteur doit être pris en compte pour expliquer la fluctuation du nombre de captures de pyrales. Comme vu précédemment, la larve du ravageur possède un certain nombre de prédateurs naturels (cf. : II. 3) a. Cycle de vie). C'est également le cas du papillon adulte. Une fois le ravageur piégé, que ce soit sur une plaque engluée ou dans le sac de capture des pièges nasses, il est à la merci de ses prédateurs : oiseaux, fourmis, araignées... Ces dernières, profitent de la structure du piège delta pour y tisser leur toile par exemple, mais sont également capables de rentrer dans les pièges nasses pour attraper leur(s) proie(s) et les dévorer (figure 37).

Si les pièges ne sont pas relevés régulièrement, le ravageur peut entièrement disparaître, nous faisant perdre des échantillons ou rend difficile l'identification dans le cas où il y a des restes.

Ainsi, le nombre de captures de pyrales fluctue pour différentes raisons. La plus importante étant l'irrégularité de certains observateurs pour relever leur(s) piège(s). Les problèmes d'identification du ravageur peuvent également amener à des erreurs de dénombrement. Le suivi des pièges delta n'est pas censé altérer la qualité du piégeage, mais des plaques engluées laissées trop longtemps (plus de trois semaines) pourraient néanmoins réduire les chances de piéger le ravageur à cause de la réduction de la surface collante. Enfin, les prédateurs naturels de la pyrale peuvent se charger d'éliminer quelques échantillons, d'où la nécessité de relever le plus fréquemment possible les pièges et d'avoir des observateurs prêt à s'investir au maximum.

3) Pièges lumineux et connecté

La campagne de piégeage 2016 a été particulière pour les pièges lumineux. Contrairement aux années précédentes, et malgré une présence plus importante de pièges lumineux (six pièges en 2016 contre 2 seulement en 2015), le nombre moyen de pyrales/piège a chuté de $\frac{3}{4}$. En 2015, la moyenne était de 48 pyrales/piège, contre 11,5 pyrale/piège en 2016.



Figure 38 : Exemple de papillons de nuit piégés par un piège lumineux
Source : CA 44

En 2015, les deux pièges lumineux étaient situés exclusivement en Vendée. Aussi, en se focalisant uniquement sur les pièges lumineux situés en Vendée en 2016 (trois pièges au total) la prise moyenne de pyrales/piège est de 17,7 sur toute la campagne. Soit toujours un nombre bien en deçà de ce qui a été réalisé l'année précédente.

La première explication possible réside dans le positionnement des pièges. De plus, certains pièges ont pu être « victime de pollution lumineuse ». En effet, pour que le piège fonctionne, il doit être raccordé au réseau électrique. Or, malgré l'utilisation de rallonge électrique de plusieurs dizaines de mètres, la lumière des bâtiments, où sont branchées les rallonges, pourrait concurrencer l'attrait du piège pour les papillons de nuit. Pour valider cette hypothèse, il aurait fallu faire le tour de tous les pièges lumineux à la nuit tombée pour voir ce qu'il en était réellement.

Une autre explication réside dans l'identification du ravageur. Le nombre de papillons capturés par un piège lumineux est beaucoup plus important que par un piège à phéromone. De plus, les papillons capturés sont presque exclusivement des papillons de nuit présentant les mêmes teintes gris-brun et le même type de morphologie, comme nous pouvons le voir ci-contre (figure 38). Il est tout à fait possible de supposer que des erreurs d'identification ont eu lieu par le passé. L'amélioration des connaissances des observateurs sur ce ravageur, par l'intermédiaire des fiches d'identifications distribuées au début de la campagne, a pu réduire ce nombre d'erreurs, ayant pour conséquence la baisse du nombre de captures de pyrales dans les pièges lumineux. Mais des erreurs sont encore faites (au vu des échantillons reçus par certains observateurs) et les efforts de formations doivent continuer.

La dernière cause possible pouvant expliquer cette différence de piégeage entre 2015 et 2016 réside dans les conditions climatiques particulières qui ont eu lieu cette année.

Dans tous les cas, les pièges lumineux n'ont pas fourni suffisamment d'échantillons pour déterminer avec assurance le sex-ratio des populations de pyrales présentes sur les parcelles des pièges lumineux.



Figure 39 : Exemple de photographie fourni
par le piège connecté Trapview
Source : CA 44

Cette année a pu tester pour la première fois dans les Pays de la Loire un piège lumineux connecté (Trapview). Malheureusement, nous nous sommes rapidement rendu compte que l'identification de la pyrale allait être compliquée.

Malgré une bonne qualité des photographies, les couleurs ne ressortaient pas forcément bien et les photos étaient parfois floutées à cause de buée (figure 39). En conséquence de quoi les pyrales étaient souvent confondues avec d'autres papillons et certains de ces autres papillons étaient confondus avec la pyrale. De plus, la lumière attire toutes sortes d'insectes et autres papillons, il est donc nécessaire de se rendre au moins une fois par semaine (voire deux dans certain cas) jusqu'au piège afin de changer la plaque engluée.

Tout l'intérêt du piège de pouvoir surveiller à distance les populations de ravageur présent sur une parcelle s'en retrouve annihilé, ce type de piège nécessitant pratiquement autant de suivi qu'un piège lumineux classique.

Comble de malchance, un problème technique nous a empêché de recevoir les photographies entre le 7 et le 22 juillet puis de nouveau entre le 26 et le 30 juillet, soit au moment des premières captures de pyrales. Après ces difficultés techniques le suivi photographique au cours de la nuit (une photo en milieu de nuit puis une autre en fin de nuit) n'a pas pu être remis en place, nous empêchant ainsi de déterminer dans quelle partie de la nuit les pyrales étaient les plus actives.

Il serait intéressant de reprendre un piège connecté l'année prochaine pour justement essayer de déterminer la période d'activité de la pyrale. S'il était possible de définir de manière plus précise que la pyrale est un papillon crépusculaire ou au contraire, un papillon préférant la fin de la nuit, la minuterie des pièges lumineux pourrait être réglée en conséquence (pour l'allumage des ampoules) et potentiellement moins de papillons seraient attrapés, donc cela représenterait moins de problèmes d'identification.

Alors que la campagne de piégeage 2016 se terminait officiellement fin juillet, il a été décidé de continuer une surveillance de quelques-uns des pièges installés en Loire-Atlantique (six pièges à phéromone, le piège lumineux et le piège connecté). L'intérêt de cette surveillance concernait la détection de la présence d'une éventuelle deuxième génération de pyrale dans le département.

Or, entre les semaines 32 et 34, seulement 12 pyrales ont été capturées, dont la plupart ont été piégées au début du mois d'août, ce qui correspondrait à la fin de la vague de pyrales de la première génération. Les quelques pyrales piégées les semaines suivantes sont certainement des retardataires. Il n'y a pas eu assez de captures pour insinuer qu'une seconde génération du ravageur était en place en Loire-Atlantique. Cette expérience serait à renouveler l'année prochaine en Vendée, puisque le département, situé plus au Sud, affiche des températures un peu plus élevées.

L'amélioration des performances des pièges, qu'ils fonctionnent par l'intermédiaire de capsule de phéromone ou grâce à une ampoule électrique, va de pair avec les performances des observateurs du réseau. L'un ne peut aller sans l'autre si l'on souhaite améliorer durablement le réseau d'observation de la pyrale du maïs.

Cette recherche d'efficacité n'a qu'un seul but : aider les agriculteurs pour optimiser les dates de traitements des parcelles de maïs contre la pyrale.

V. Conclusion

La mise en place d'une communication plus poussée avec les observateurs de la pyrale du maïs des Pays de la Loire a considérablement amélioré les performances du réseau. Les observateurs ne connaissaient pas, pour la plupart, les bases du piégeage de la pyrale. Il en a résulté des mauvais placements de pièges et de gestion de la phéromone engendrant de faibles prises de pyrales. En effet, en l'absence d'un spécialiste du ravageur et/ou de recherches approfondies à son sujet, personne ne savait exactement comment faire. C'est ainsi qu'en reprenant simplement les règles de base nous avons obtenu une progression aussi rapide que spectaculaire avec une amélioration du nombre de pyrales capturées et un rendu des courbes de vol plus lisible.

L'utilisation d'un certain type de piège delta ayant été également remis en cause, des essais ont été réalisés pour comparer ce piège à d'autres modèles existant ou inventés. Malheureusement, les essais n'ont pas abouti à des résultats probants et nous n'avons pas réussi à obtenir les mêmes résultats que les essais scientifiques qui servaient de base à notre étude. L'année climatique 2016 ayant été un peu particulière et les pièges de fabrication maison n'ayant pas forcément bien résisté, de nouveaux essais pourraient être envisagés dans les années à venir afin de valider ou non l'hypothèse d'une meilleure efficacité du piège nasse ainsi que des pièges delta avec ouvertures latérales.

En revanche, le piège delta modifié à l'aide de trois plaques engluées a montré une réelle efficacité de piégeage. Comme nous ignorons pourquoi, il pourrait être intéressant de réaliser de nouveaux tests en laboratoire afin d'essayer de comprendre l'interaction des pyrales avec ce piège.

Un suivi régulier des pièges est nécessaire. Relever fréquemment les pyrales permet d'éviter les pertes d'échantillons dues aux prédateurs naturels du ravageur, qui sont à l'affût et n'hésitent pas à attaquer directement les spécimens piégés.

Cette année, les pièges à phéromone ont bien mieux fonctionné que les années précédentes à l'inverse des pièges lumineux. L'efficacité des premiers tient sa source dans la communication qui a été effectuée tout au long de la campagne de piégeage. La baisse d'efficacité des seconds reste un peu plus mystérieuse. Meilleure identification des ravageurs ? Année climatique particulière ? Seuls les résultats de la prochaine campagne pourront nous aider à comprendre.

L'efficacité des pièges, quels qu'ils soient, repose beaucoup sur l'efficacité des observateurs qui les gèrent. Outre un aspect technique qui mériterait certainement d'être un peu plus approfondi dans les années à venir (suite des comparaisons de pièges par exemple), l'aspect humain de la gestion d'un tel réseau est loin d'être négligeable.

VI. Bibliographie

AGPM (Association Générale des Producteurs de Maïs). 2016. Découverte du maïs. Site consulté le 25 juillet 2016.

http://www.agpm.com/mais_plante.php

AGPM (Association Générale des Producteurs de Maïs). 2016. Le maïs dans le monde. Site consulté le 25 juillet 2016.

http://www.agpm.com/dossier_cimais.php

Agreste 2013 (déc.). Typologie des exploitations agricoles des Pays de la Loire – Synthèse. Site consulté le 2 août 2016.

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R5213A44.pdf>

Agreste. 2015 (sept.). Pays de la Loire – Données mensuelles grandes cultures. Site consulté le 2 août 2016.

http://www.draaf.pays-de-la-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/StatPv_09_2015_v2_cle02618d.pdf

Agreste.2016 (juil.). Pays de la Loire – Fiche Filières : Grandes cultures (COP). Site consulté le 2 août 2016.

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R5216A28.pdf>

Alim'agri – Site du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. 2015 (oct.). Le plan Écophyto, pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires en France. Site consulté le 29 juillet 2016

<http://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-pour-reduire-lutilisation-des-produits-phytosanitaires-en-france>

Arvalis – Les Fiches Accidents. 2016. Fusariose épi *F. graminearum* (*Fusarium graminearum*). Site consulté le 29 juillet 2007.

http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=faetype_cul=3ettype_acc=9etid_acc=248

Arvalis – Les Fiches Accidents. 2016. Pyrale (*Ostrinia nubilalis*). Site consulté le 29 juillet 2007.

http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?mode=faetype_cul=3ettype_acc=3etid_acc=126

AuxiMore. Optimiser le contrôle biologique des bioagresseurs en systèmes de grandes cultures. Pyrale, pp. 1-4.

Beadle G.W. 1980. The Ancestry of Corn. pp. 96-103.

Beck S.D. 1982. Thermoperiodic induction of larval diapause in the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *J. Insect. Physiol.* Vol. 28, No. 3, pp. 273-277.

Beck S.D. 1985. Effects of thermoperiod on photoperiodic determination of larval diapause in *Ostrinia nubilalis*. *Journal of Insect Physiology.* Vol. 31, No. 1, pp. 41-46.

Blandino M., Reyneri A., Vanara F., Pascale M., Haidukowski M., Saporiti M. 2008. Effect of sowing date and insecticide application against European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on fumonisin contamination in maize kernels. *Crop Protection*. Vol. 27, pp. 1432-1436.

Bodilis A.M. 2014 (avril). Ravageurs du maïs, Observateurs BSV Pays de la Loire. Arvalis – Institut du végétal.

Capinera J. L. 2014. European Corn Borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Insecta: Lepidoptera: pyralidae). *Features Creatures from the Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension*

Chambre d'agriculture des Pays de la Loire. 2015 (nov.). Guide de l'Observateur Grandes Cultures – Surveillance Biologique de Territoire, pp 5-12 et pp 49-55.

Coll M., Bottrel D.G. 1992. Mortality of European Corn Borer larvae by natural enemies in different corn microhabitats. *Biological Control*. No. 2, pp. 95-103.

Derridj S., Lefer H., Augendre M., Durand Y. 1988. Use of strips of *Zea mays* L. to trap European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) oviposition in maize fields. *Crop Protection*. Vol. 7, pp. 177-182.

Dupont. 2012. La solution innovante pour contrôler durablement les seuls insectes nuisibles. Site consulté le 2 août 2016.
http://www2.dupont.com/Production_Agriculture/fr_FR/assets/downloads/Coragen_Mais_Notice.pdf

Encyclopédie de l'Agora – Pour un monde durable. 2012 (avril). Maïs. Site consulté le 26 juillet 2016.
[//agora.qc.ca/dossiers/Mais](http://agora.qc.ca/dossiers/Mais)

Ephytia – Identifier/Connaître/Maîtriser. 2013 (août). Lepidoptera – Importance économique et agronomique. Site consulté le 26 juillet 2007.
<http://ephytia.inra.fr/fr/C/7557/Insectes-Importance-economique-et-agronomique>

Ephytia – Identifier/Connaître/Maîtriser. 2016. *Ostrinia nubilalis* – Caractéristiques du ravageur et de ses dégâts. Site consulté le 26 juillet 2007.
<http://ephytia.inra.fr/fr/C/16556/hypp-Caracteristiques-du-ravageur-et-de-ses-degats>

Fadarimo H.Y., Baker T.C. 1999. Reproductive performance and longevity of female European corn borer, *Ostrinia nubilalis*: effects of multiple mating, delay in mating, and adult feeding. *Journal of Insect Physiology*. No. 45, pp. 385-392.

Frandon J., Kabiri F. 1998. La lutte biologique contre la pyrale du maïs avec les trichogrammes. Évolution de la technique pour une utilisation à grande échelle. *Le courrier de l'environnement de l'INRA*.

Gnis pédagogie. 2016. Le maïs : son origine et ses caractéristiques. Site consulté le 26 juillet 2016.
<http://www.gnis-pedagogie.org/mais-origine-et-caracteristiques.html>

Got B., Lacan G.F., Smits N., Stephan E. 1991. Validation d'un modèle de durée de développement larvaire de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* Hbn, Lepidoptera, Pyralidae, en France. *Agronomie*. No. 11, pp. 45-57.

Hawlitzy N. 1992. La lutte biologique à l'aide de Trichogrammes. *Le Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA*. No. 16.

Hoffmann M.P., Pitcher S.A., Cheever S.A., Gardner J., Losey J.E., Kuhar T.P., Laub C.A., Youngman R.R. 2006. Efficacy of inoculative releases of *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera : Trichogrammatidae) against European corn borer *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera : Crambidae) in field corn. *Biological Control*. No. 36, pp. 345-349.

INRS. 2007. Fiche toxicologique n°193 – Deltaméthrine. Site consulté le 3 août 2016. http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_193

Karlson P. et Lüscher M. 1996. Les phéromones aux champs. *Biofutur*, No. 154, pp. 15- 20.

Klun, J. A., Brindley T. A. 1970. Cis-11-tetradecenyl acetate, as sex stimulant for the European corn borer. *Journal of Economic Entomology*. No. 63, pp. 779–780.

Kocmánková E., Trnka M., Zalud Z., Semerádová D., Dubrovsky M., Muska F., Mozny M. 2008. Comparison of two mapping methods of potential distribution of pests under present and changed climate. *Plant Protection Science*. Vol. 44, No 2, pp. 49-56.

Lors C., Guy S. 1997. Impact des produits phytosanitaires sur la diversité spécifique et fonctionnelle de la microflore du sol. Cas du dinitro-o-crésol. Travaux Universitaires - Thèse nouveau doctorat. Université de Metz.

Maini S., Burgio G. 1990. Influence of trap desing and phenylacetaldehyde upon field capture of male and female *Ostrinia nubilalis* (Hb.) (Lepidoptera, Pyralidae) and other moths. *Boll. Ist. Ent. « G Grandi » Univ. Bologna*. No. 45, pp. 157-165.

Malvar R.A., Butrón A., Alvarez A., Padilla G., Cartea M.E., Revilla P., Ordás A. 2007. Yield performance of the European Union Maize Landrace Core Collection under multiple corn borer infestations. *Crop Protection*. No. 26, pp. 775-781.

Pélozuelo L., Frérot B. 2001. Lutte raisonnée contre la pyrale du maïs. Une phéromone de synthèse peut-elle séduire les mâles de pyrale de maïs ? *Phytoma - la Défense des Végétaux*. No. 535, pp. 28-32.

Pélozuelo L., Frérot B. 2005. Bien détecter les premiers vols de pyrale du maïs. Piégeage, trois règles pour un mode d'emploi. *Phytoma - la Défense des Végétaux*. No. 585, pp. 34-37.

Pélozuelo, L., Malosse C., Frérot, B. 2001. Piégeage sexuel pour la lutte raisonnée contre la pyrale du maïs. Les « vieilles » capsules peuvent-elles séduire les mâles ? *Phytoma - la Défense des Végétaux*. No. 540, pp. 23-24.

Pélozuelo L., Avand-Faghih A., Espahbodi A., Genestier G., Guénégo H., Malosse C., Frérot B. 2006. Efficiency of pheromone baited traps for monitoring of the European corn borer *Ostrinia nubilalis* (Lep. : Crambidae) in Mazandaran province. *Appl. Ent. Phytopath.* Vol. 73, No. 2, pp. 19-31.

Renac S. 2012. Physiologie et ravageurs du maïs. Formation Arvalis – Institut du végétal, pp 1-99.

Scarpino V., Reyneri A., Vanara F., Scopel C., Causin R., Blandino M. 2015. Relationship between European Corn Borer injury, *Fusarium proliferatum* and *F. subglutinans* infection and moniliformin contamination in maize. *Field Crops Research*. No 183, pp 69-78.

Simonneau D., Lorgeou J., Thibord J.B., Crosson P. 2012 (mars). Mode opératoire observation – Maïs Parcelles fixes complet. *Vigicultures*. No 6, pp 1-30.

Stockel J., Anglade P., 1977. Influence de la concentration en isomères cis- et trans- dans la phéromone sexuelle d'*Ostrinia nubilalis* Hb. sur le comportement d'orientation de cette espèce et sur celui de *Pyrausla aurata* Sc. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, Série. D, 25, 61-64.

Stockel J., Sureau F., Carles J.P. 1984. Signification et limites du piégeage sexuel de la pyrale du maïs, *Ostrinia nubilalis* Hb. (Lépid. *Pyralidae*) : recherche d'une relation entre captures de mâles et niveau de population. *Agronomie*. Vol. 4 (7), pp. 597-602.

Thibord J.B. 2016 (juin). Optimiser la lutte contre la pyrale grâce aux réseaux de surveillance. Site d'Arvalis – Institut du végétal. Site consulté le 18 juillet 2016.
<http://www.arvalis-infos.fr/optimiser-la-lutte-contre-la-pyrale-gr-ce-aux-reseaux-de-surveillance-@/view-10298-arvarticle.html>

Trnka M., Muska F., Semerádová D, Dubrovsky M., Kocmánková E., Zalud Z. 2007. European Corn Borer life stage model : Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling*. No. 207, pp. 61-84.

Webster R.P, Charlton R.E., Schal C., Carde A.T. 1986. High-efficiency pheromone trap for the European Corn Borer (Lepidoptera : *Pyralidae*). *Journal of Economic Entomology*. No. 79, pp. 1139-1142.

VII. Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques générales des exploitations des Pays de la Loire selon leur type d'organisation

Tableau 2 : Caractéristiques générales des principaux ravageurs du maïs

Tableau 3 : Répartition des pièges et des observateurs par département

Tableau 4 : Caractéristiques des pièges testés lors de l'essai

Tableau 5 : Caractéristiques générales des réseaux d'observation de la pyrale du maïs dans d'autres régions de France

Tableau 6 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les pièges de la parcelle Prof.

Tableau 7 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les différents types de pièges

Tableau 8 : Résultat de l'analyse de variance à 2 facteurs pour la comparaison des captures accomplies par les différents types de pièges

Tableau 9 : Résultat de l'analyse de variance à 2 facteurs avec répétition d'expérience pour la comparaison des captures accomplies par les pièges à 1 ou 3 plaques engluées

VIII. Liste des figures

Figure 1 : Répartition du temps de travail par atelier de production pour les exploitations agricoles des Pays de la Loire

Figure 2 : Exemple de la diversité des variétés de maïs existant à travers le monde
Source : Mais culture durable

Figure 3 : Cycle de développement du maïs en semaine

Figure 4 : Représentation photographique de quelques un des principaux ravageurs du maïs

Figure 5 : Cycle de vie des pyrales. Le nombre de génération par an dépend de la localisation géographique des individus

Source : AuxiMore

Figure 6 : Représentation photographique de pyrale en milieu naturel : mâle à gauche et femelle à droite

Source : INRA

Figure 7 : Représentation photographique d'ooplaques de pyrale du maïs : a. pontes fraîches, b. pontes de quelques jours (couleur crème), c. ponte « tête noire » prête à éclore et d. ponte éclosée.

Source : BSV Franche-Comté

Figure 8 : Photographie d'une larve de pyrale sortant d'un jeune épi de maïs.

Source : CA 44

Figure 9 : Symptôme « coup de fusil » sur une feuille de maïs

Source : CA 44

Figure 10 : Point d'entrée d'une larve de pyrale à l'intérieur de la canne de maïs caractérisé par la présence de sciure

Source : CA 44

Figure 11 : Photographie d'un trichogramme sur son « diffuseur »

Source : CA 44

Figure 12 : Schéma de production des trichogrammes

Source : Hawlitzky, 1992

Figure 13 : Diffuseur de trichogramme installé sur une parcelle de maïs

Source : CA 44

Figure 14 : Piège lumineux installé en bordure d'une parcelle de maïs et fourni par l'entreprise Dupont

Source : CA 44

Figure 15 : Piège delta classique fourni par Agro ressources

Source : Agro ressources

Figure 16 : Schéma d'un piège seau de type Unitrap

Source : Unitrap

Figure 17 : Schéma d'un piège nasse

Source : Webster et al, 1986

Figure 18 : Positionnement géographique des pièges à phéromone pour la capture de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire - Campagne 2016

Source : VGObs - Surveillance Biologique du Territoire

Figure 19 : Pyrale posée sur la face inférieure d'une tige d'herbe le long d'une parcelle de maïs

Source : CA 44

Figure 20 : Représentation photographique des pièges testés : A. piège D2, B. piège D3 et C. piège Nasse

Source : CA 44

Figure 21 : Schéma de gestion de la rotation des pièges à phéromone delta et nasse

Figure 22 : Représentation cartographique de la localisation géographique des parcelles utilisées pour l'essai

Échelle au 1 :10000

Source : Mes P@rcelles

Figure 23 : Piège connecté utilisé pour le test et installé sur une bande enherbée le long d'une parcelle de maïs.

Source : CA 44

Figure 24 : Évolution de la température moyenne (T_m) en Maine et Loire (49), Mayenne (53), Sarthe (72), Vendée (85) et Loire-Atlantique (44) entre avril et juillet 2016

Figure 25 : Évolution de la température moyenne en Loire-Atlantique (T_{moy}) entre janvier et juillet 2016 comparé à la normale établie entre 2003 et 2015 ($T_{normale}$)

Figure 26 : Cumul des captures de pyrales hebdomadaires dans chaque département - pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire – 2015

Figure 27 : Cumul hebdomadaire des captures de pyrales dans chaque département - pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

Figure 28 : Positionnement géographique des pièges à phéromone pour la capture de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire campagne 2016

Source : VGObs - Surveillance Biologique du Territoire

Figure 29 : Captures de pyrales hebdomadaires et par zone dans les pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

Figure 30 : Captures de pyrales bi-hebdomadaires sur l'essai, comparé avec la zone 3, en relation avec le changement des capsules de phéromone et des plaques engluées - Pièges à phéromone du réseau SBT Pays de la Loire – 2016

Figure 31 : Captures totales de pyrales par piège et par parcelle

Figure 32 : Comparaison de la moyenne de pyrales capturées pour chaque type de piège sur l'ensemble des parcelles

Figure 33 : Captures de pyrales hebdomadaires en Vendée - Pièges lumineux du réseau SBT Pays de la Loire – 2015

Figure 34 : Captures de pyrales hebdomadaires en Pays de la Loire- Pièges lumineux du réseau SBT Pays de la Loire - 2016

Figure 35 : Captures de pyrales réalisées par le piège connecté du réseau SBT Pays de la Loire – 2016

Source : Trapview

Figure 36 : Exemple de l'état d'une plaque engluée après deux semaines d'utilisation

Source : CA 44

Figure 37 : Araignée mangeant une pyrale à l'intérieur du sac de capture d'un piège nasse

Source : CA 44

Figure 38 : Exemple de papillons de nuit piégés par un piège lumineux

Source : CA 44

Figure 39 : Exemple de photographie fourni par le piège connecté Trapview

Source : CA 44

IX. Table des sigles

AGPM : Association Générale des Producteurs de Maïs

ANOVA : Analysis Of Variance (Analyse de la Variance)

BSV : Bulletin de Santé du Végétal

CA 44 : Chambre d'agriculture de Loire-Atlantique

CA 49 : Chambre d'agriculture de Maine et Loire

CA 53 : Chambre d'agriculture de Mayenne

CA 72 : Chambre d'agriculture de Sarthe

CA 85 : Chambre d'agriculture de Vendée

CAVAC : Coopérative Agricole Vendéenne d'Approvisionnement et de Vente de Céréales et Autres Produits Agricoles

D1 : Piège à phéromone delta avec 1 plaque engluée et sans ouverture

D2 : Piège à phéromone delta avec 3 plaques engluées et sans ouverture

D3 : Piège à phéromone delta avec 1 plaque engluée et ouvertures latérales

D4 : Piège à phéromone delta avec 3 plaques engluées et avec ouvertures latérales

DON : Déoxynivalénol

E11-TDA : acétoxy-1-tétradécène 11-E

ECB : European Corn Borer

ECLA : Élevage Conseil Loire Anjou

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

Ha : Hectare

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

SAU : Surface Agricole Utile

SBT : Surveillance Biologique du Territoire

UTA : Unité de Travail Annuel

Z11-TDA : acétoxy-1-tétradécène 11-Z

X. Table des matières

Introduction.....	3
I. Contexte	7
1) Les Pays de la Loire	7
2) Le maïs	9
3) La pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>).....	15
a. Cycle de vie.....	15
b. Préjudices provoqués.....	21
c. Moyens de lutte.....	23
4) Piégeage de la pyrale	29
5) Réseau de piégeage des Pays de la Loire	33
II. Matériels et méthodes	37
1) Réseau d'observateurs	37
2) Mise en place de l'essai.....	39
a. Fabrication du piège nasse	39
b. Protocole de comparaison.....	41
i. Principe	41
ii. Gestion	43
i. Localisation géographique	45
3) Test piège lumineux et connecté	47
a. Piège lumineux.....	47
b. Piège connecté	47
4) Bilan climatique de la campagne 2016	49
5) BSV.....	51
6) Analyse des données.....	53

III.	Résultats.....	55
1)	Pièges à phéromone.....	55
a.	Campagne de piégeage 2015 des Pays de la Loire.....	55
b.	Campagne de piégeage des régions voisines.....	55
c.	Campagne de piégeage 2016 des Pays de la Loire.....	59
i.	Résultats du BSV.....	59
ii.	Résultats par zones géographiques.....	59
d.	Impact du suivi des pièges.....	61
e.	Résultats des essais.....	63
i.	Différence inter pièges par parcelle.....	63
ii.	Impact de la position des pièges par parcelle.....	63
i.	Comparaison globale.....	65
2)	Pièges lumineux.....	67
a.	Résultats 2016 comparés avec les autres années.....	67
b.	Campagne de piégeage des régions voisines.....	69
c.	Piège connecté.....	69
IV.	Discussion.....	71
1)	Réseau de piégeage des Pays de la Loire.....	71
2)	Essais.....	75
3)	Pièges lumineux et connecté.....	85
V.	Conclusion.....	93
VI.	Bibliographie.....	97
VII.	Liste des tableaux.....	105
VIII.	Liste des figures.....	107
IX.	Table des sigles.....	113
X.	Table des matières.....	115
	Annexes.....	119

Annexes

S1 : Résultats de l'enquête pyrale

- 21 réponses
- Où est positionné le piège delta :
 - **43% dans la parcelle** ; 48% en bordure ; **10% dans une bande enherbée**
- Prise en compte du sens du vent :
 - 71 % de « oui »
- Manipulation et conservation de la phéromone :
 - Contact avec les doigts : **43% de « oui »**
 - Conservation au frigo : 95% de « oui »
- Changement plaque engluée :
 - Toutes les 2 semaines dans 90% des cas
- Si piège à sésamie, distance entre les 2 pièges (*16 personnes concernées*)
 - « < 10m » pour 25% ; **65% à plus de 50m**

Guide des bonnes pratiques d'utilisation du piège à phéromone Delta

Structure d'un piège Delta



Crédit photo : CHA

Les pièges à phéromone sont des piégeages sexuels. La phéromone utilisée est une reproduction chimique de celle utilisée par les femelles vierges pour attirer les mâles (*Z-11-tetradecenyl acetate* ou *Z11-14:OAc*). Seules les pyrales mâles seront donc attirées.

Le piège delta est composé d'un support cartonné et plié de façon à former un triangle. Sur le fond du piège est posée une plaque engluée où une capsule de phéromone est placée en son centre. (Attention : ne pas relever les deux petits bords à l'intérieur de la structure).

Afin d'améliorer l'efficacité du piège, vous devrez ouvrir deux fenêtres (à l'aide d'un cutter), une de chaque côté du piège (cf. photo ci-contre).

Où et comment le positionner ?

L'utilisation de piège à phéromone revient à manipuler le comportement sexuel des pyrales mâles. Leurs comportements doivent donc être pris en compte et les pièges placés dans les sites fréquentés pour l'accouplement. Or, celui-ci ne se produit pas dans les parcelles de maïs, mais dans des zones à proximité, où la végétation leur permet de rester cachés la journée et de s'accoupler la nuit.

Placer les pièges :

- Hors des parcelles, dans des zones où la végétation est dense et à feuilles larges de préférence (bordure de champ, fossé de drainage...)
- Dans des zones protégées du vent
- Entre 50 cm et 1 mètre de hauteur au maximum, légèrement au-dessus de la végétation. (La proximité d'un point d'eau serait un plus).

Hors des périodes de piégeage, conserver vos pièges delta à l'abri pour les réutiliser l'année suivante.



Crédit photo : CHA



Crédit photo : ANWJUS

Avril 2016

Figure S2 : Guide des bonnes pratiques d'utilisation du piège à phéromone Delta - Recto

Phéromone

Conservation de la phéromone :

Les phéromones sont à conserver au réfrigérateur (3 à 5°C pendant 2 à 3 mois maximum).

Éviter les chocs thermiques. Lorsque les températures extérieures sont élevées, sortir la phéromone du réfrigérateur 1 heure avant d'aller l'installer à l'extérieur. Éviter les « aller-retour » entre le réfrigérateur et l'extérieur.

Manipulation de la phéromone :

La phéromone doit être en contact avec le moins d'éléments possible. Le mieux étant de renverser l'emballage de la capsule directement sur la plaque engluée. Si cette manipulation n'est pas faisable, utiliser une pince, mais jamais les mains. Si la capsule touche les mains, la phéromone les imprègne et un simple contact sur le piège ou une autre structure, créera de nouveaux points d'attractions qui affaibliront l'attrait du piège.

De même, l'emballage des capsules de phéromone ainsi que les capsules usagées devront être manipulés avec soin, et ne devront surtout pas être laissés sur place.

Entretien des pièges

Changer les capsules de phéromones toutes les 2 semaines (manipuler à l'aide de pince).

Changer les plaques engluées toutes les 2 semaines, ou avant si besoin (détérioration à cause du mauvais temps, présences de trop d'insectes sur la plaque...).

Relevés des pièges

Relever au minimum 1 fois par semaine le lundi.

Pour les observateurs qui le peuvent, à l'approche du vol de la pyrale et pendant tout le phénomène, 2 observations par semaine (le lundi et le jeudi) seraient un plus. En effet, les pyrales piégées ne sont pas à l'abri d'être victimes d'autres prédateurs (fourmis, guêpes, oiseaux...). Des relevés plus fréquents donnent donc de meilleurs résultats et permettent une analyse des données plus fine.



Crédit photo : CA72

Après chaque relevé, retirer les papillons capturés.

Saisir les données recueillies le jour même dans Vgobs (le faire 2 fois par semaine si 2 observations). Ne pas oublier de remplir Vgobs même s'il n'y a pas eu de capture (indiquer 0) et signaler les changements de plaque et de capsule dans la zone de commentaire.



Crédit photo : INRA

Planning 2016

Loire-Atlantique, Maine et Loire, Mayenne et Sarthe :

- Installation des pièges le 30 mai
- Premières observations le 6 juin
- Dernier jour d'observation le 25 juillet

Vendée :

- Installation des pièges le 17 mai
- Premières observations le 23 mai
- Dernier jour d'observation le 25 juillet

Avril 2016

Figure S3 : Guide des bonnes pratiques d'utilisation du piège à phéromone Delta - Verso

S4 : Protocole de fabrication d'un piège nasse

Principe de fonctionnement :

Le piège nasse fonctionne sur le principe d'attraction sexuel des pyrales mâles grâce à la présence d'une capsule de phéromone fixé à la base du piège (cf. : schéma ci-dessous). Les pyrales attirées par la phéromone entrent dans le piège ; comme les pyrales ont tendance à toujours voler vers le haut, elles vont monter dans le haut du piège. Passé le goulot d'étranglement, les papillons ne pourront plus revenir en arrière et se retrouveront coincés dans le sac de capture. Ce dernier est amovible, permettant de relever le piège régulièrement et de compter les insectes ainsi attrapés.

Matériels utilisés :

- Tulle en fibre nylon avec des mailles de 1 x 2 mm de large
- Tissus imperméable gris clair
- Fils de fer de jardinage de 1 mm d'épaisseur
- Bande velcro autocollante blanche de 2 cm de large
- Ficelle blanche en nylon
- Pince note pour fixer la phéromone
- Fil blanc et aiguille
- 1 piquet pour supporter le piège (~1m50)

- 1 capsule de phéromone (à changer régulièrement)

Mesure du piège :

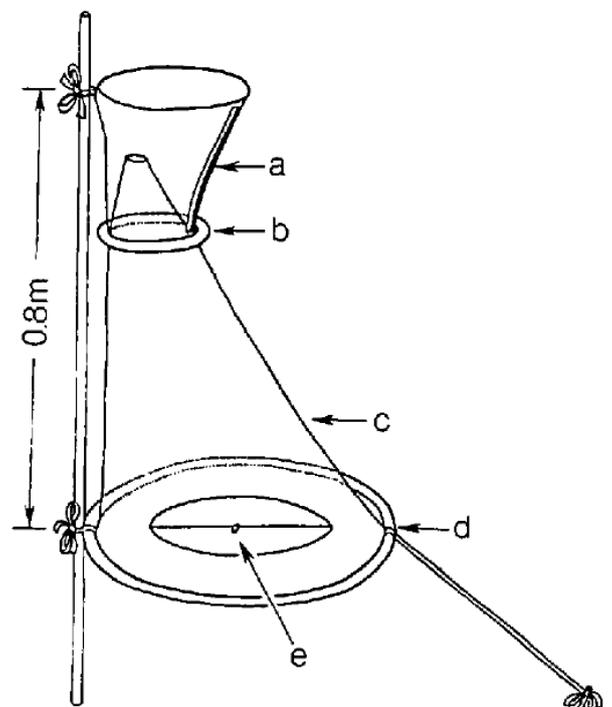
- Hauteur total du piège de 80 cm dont 60 cm pour la partie basse et 20 cm pour le sac de capture
- Diamètre d'ouverture en bas du cône :
 - de 50 cm à l'extérieur,
 - et de 30 cm à l'intérieur
- Diamètre du goulot d'étranglement (tout en haut du cône) de 5 cm
- La capsule de phéromone doit pendre de 1 à 4 cm sous l'entrée du piège

Schéma :

Figure 1 : Schéma de fabrication d'un piège nasse :

- a. Sac de capture
- b. Anneau de support supérieur
- c. Cône inférieur
- d. Anneau de support supérieur
- e. Entrée du piège avec la phéromone fixé au milieu

Source : Webster R.P., Charlton R.E., Schal C., Carde A.T. 1986. High-efficiency Pheromone Trap for the European Corn borer (Lepidoptera : Pyralidae). Journal of Economic Entomology, 79, page 1139-1142.





Pyrales

Observations et analyse du risque

Départements	Pièges phéromone		Pièges lumineux	
	Cumul* pyrales	Pièges positifs/ Pièges totaux	Cumul* pyrales	Pièges positifs/ Pièges totaux
Vendée	8	3/8	0	0/1
Loire-Atlantique	19	8/8	0	0/1
Maine et Loire	4	2/8	-	-
Sarthe	26	5/8	2	1/1
Mayenne	0	0/2	0	0/1

* Cumul sur la semaine à l'échelle du département

➤ Pièges à phéromone

En Vendée nombre de captures (8 pyrales piégées) et pourcentage de pièges positifs (~30%) similaires aux deux semaines précédentes. Ces captures confirment que le vol est très étalé cette année.

En Loire-Atlantique, les 8 pièges relevés sont positifs avec un total de 19 captures. Celle-ci sont réparties sur l'ensemble du département. Le vol est toujours en cours.

Diminution du nombre de captures (4 contre 9 la semaine précédente) et du pourcentage du pièges positifs (33 contre 50%) dans le Maine et Loire pour notre réseau. Vol toujours en cours.

Captures très importantes en Sarthe (26 pyrales piégées notamment dans le sud mais également dans le nord du département) avec 63% des pièges positifs. Le début de vol est confirmé.

Pas de capture en Mayenne dans notre réseau qui compte peu de pièges. Hors réseau, un piège phéromone situé en Mayenne a capturé 8 pyrales.

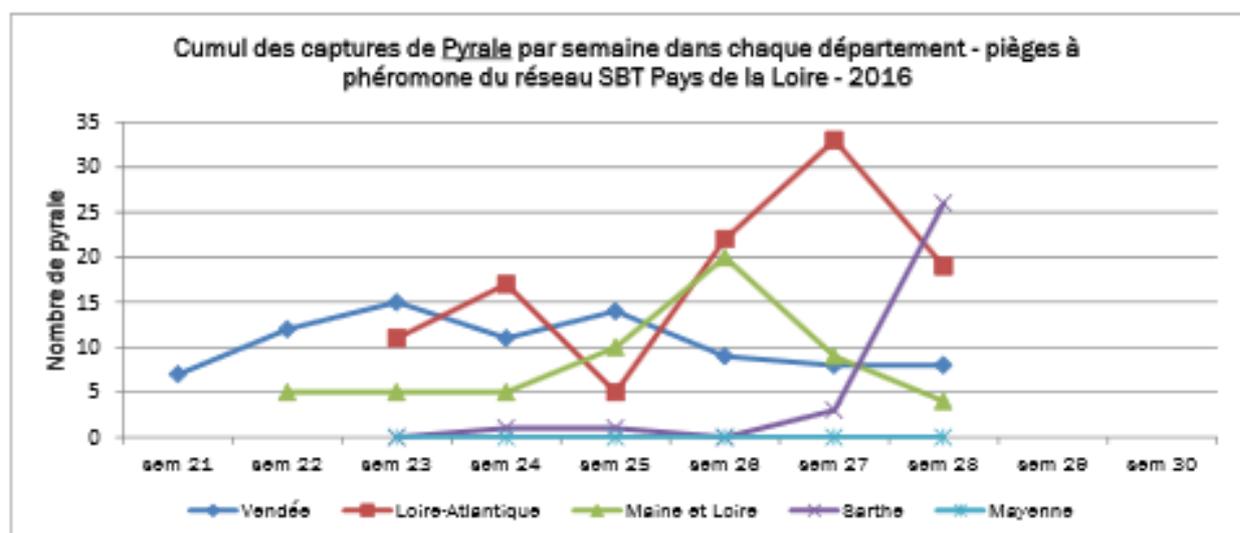


Figure S5 : Exemple de BSV des Pays de la Loire sur la partie pyrale – page 1

Source : BSV des Pays de la Loire



Pyrales (suite)

► Pièges lumineux

Seul le piège situé en Sarthe a capturé des pyrales confirmant le début de vol.

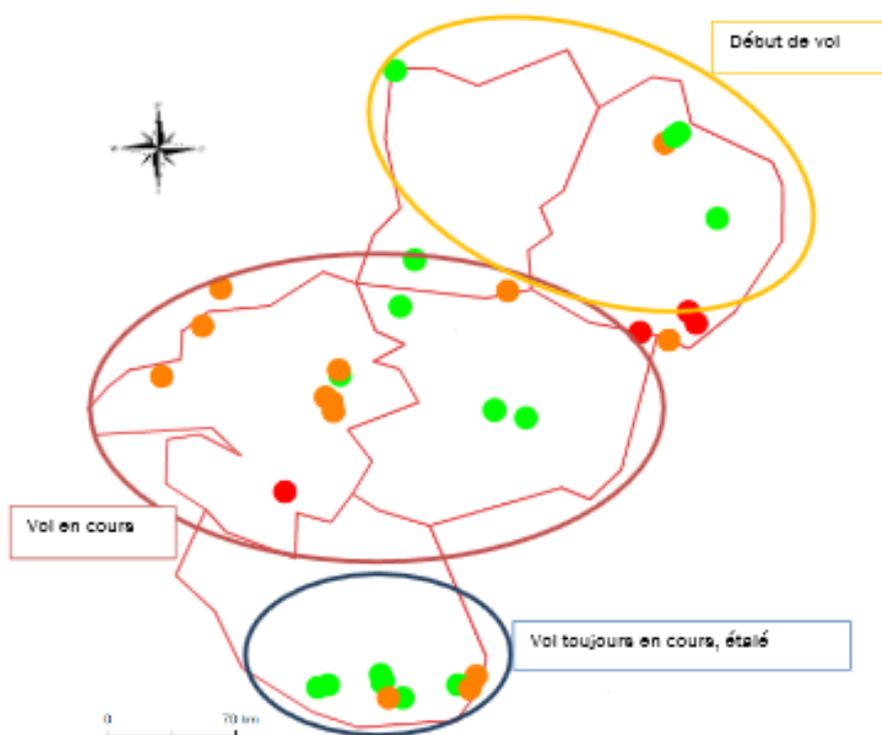
Le réseau de pièges lumineux Dupont montre une poursuite du vol de la pyrale en Vendée, en Loire-Atlantique et en Maine et Loire (nombreuses captures dans ce département). Le réseau a également enregistré des captures (de 3 à 8 pyrales/relevé/piège) dans les départements de la Mayenne et de la Sarthe (notamment dans le nord). Ces captures confirment le début de vol dans la Sarthe et indiqueraient la même chose pour la Mayenne.



- Les trichogrammes utilisent les œufs des pyrales pour y déposer leurs propres œufs. Le positionnement des capsules de trichogrammes doit se faire dès que le début de vol est confirmé.
- Dans les pièges à phéromone, seuls les mâles sont capturés
- Dans les pièges lumineux, le nombre de captures correspond à la fois aux individus mâles et femelles.

Cartographie des captures des pyrales dans les pièges à phéromone dans les Pays de la Loire

(Légende : vert : absence, orange : 1-4 pyrales, rouge : 5 et + pyrales)



Pour lutter efficacement contre la pyrale sans avoir recours aux insecticides, des méthodes de lutte alternative existent. C'est le cas du trichogramme, un petit hyménoptère qui détruit les populations de pyrale. Une méthode qui a fait ses preuves à grande échelle. Plus d'information sur : <http://grandes-cultures.ecophytopic.fr/node/2088>

Figure S6 : Exemple de BSV des Pays de la Loire sur la partie pyrale – page 2

Source : BSV des Pays de la Loire





Repérer dans la parcelle les traces du passage des larves

Symptômes de type « coup de fusil »





Passage de la larve dans la tige, présence de sciure

Larve de pyrale



Pour compléter votre analyse de risque, contrôler les pontes.

Pour cela, il suffit de regarder les faces inférieures de toutes les feuilles sur une cinquantaine de pieds. Les pyrales déposent leurs œufs le long de la nervure centrale.

Les pontes de pyrales (ou ooplaques) sont des sortes de plaquettes dans lesquelles les œufs se recouvrent les uns les autres. La taille d'une ooplaque est comprise entre 0,5 et 1 cm.

Pontes fraîches	Ponte de quelques jours couleur crème	Ponte « tête noire » prête à éclore	Ponte éclore	Ponte parasitée par trichogrammes
				

Source : BSV Franche Comté

Figure S7 : Exemple de BSV des Pays de la Loire sur la partie pyrale – page 3
Source : BSV des Pays de la Loire

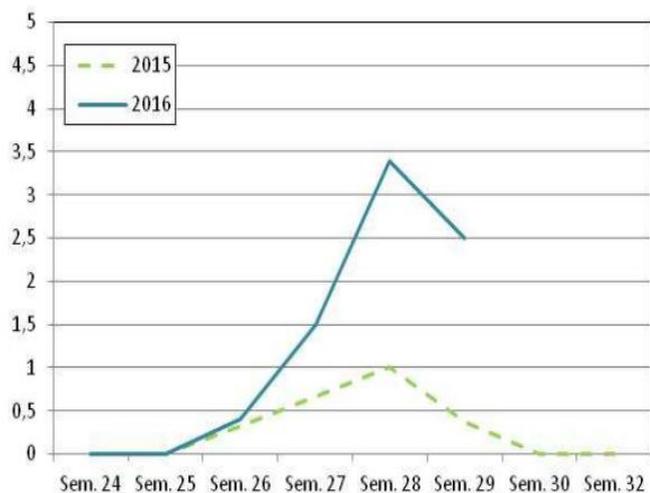


Figure S8 : Moyenne des piégeages hebdomadaire de pyrales par piège à phéromone en Bretagne
Source : BSV Breton

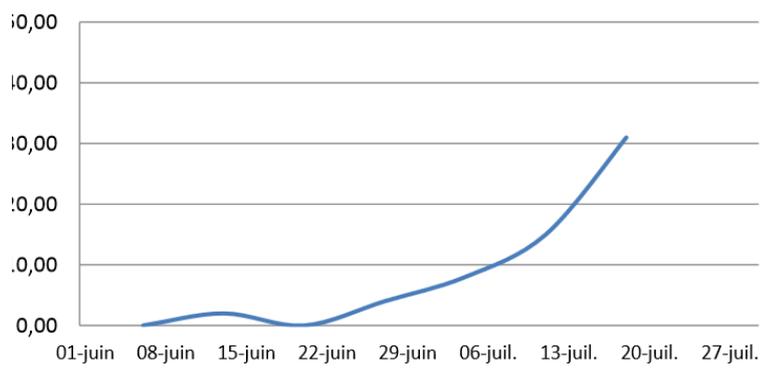


Figure S9 : Captures de pyrales en piège à phéromone en Franche-Comté
Source : BSV de Franche Comté

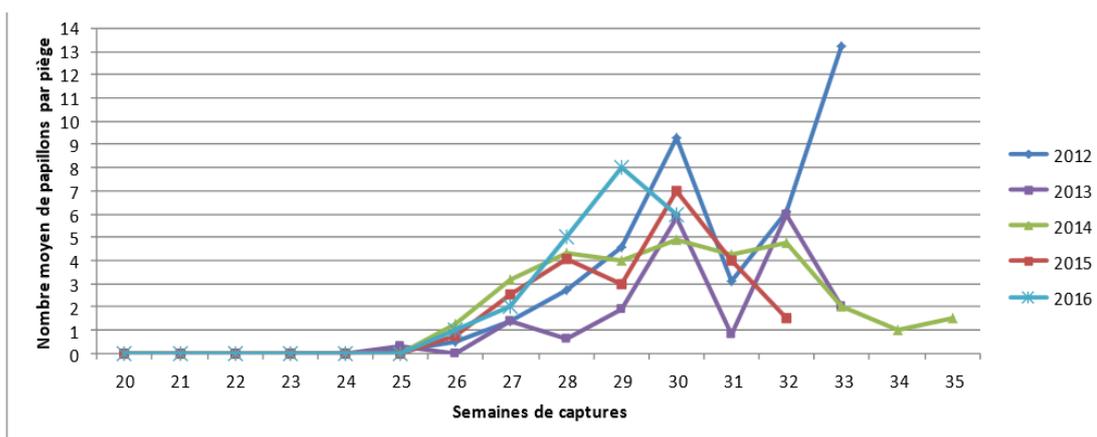


Figure S10 : Comparaison pluriannuelle de la dynamique des vols de pyrales en Normandie
Source : BSV de Normandie

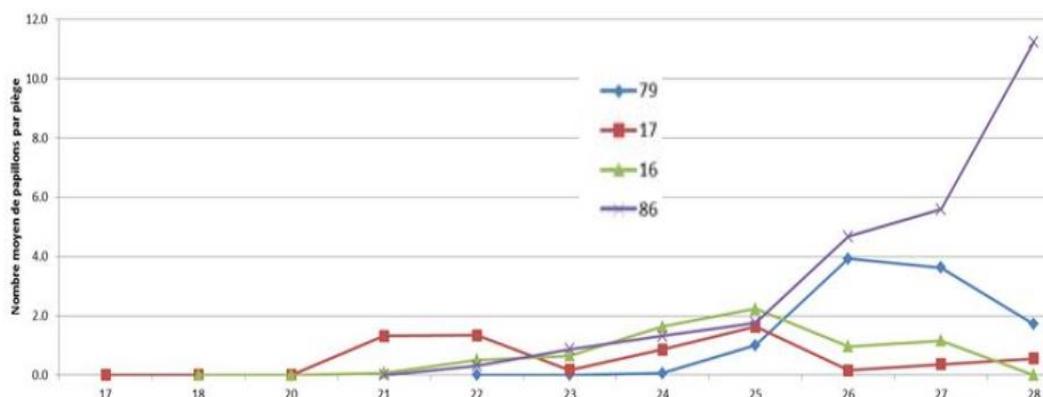


Figure S11 : Nombre moyen département de pyrale par piège à phéromone
Source : BSV de Poitou-Charentes

Tableau S1 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les différents pièges du Gaec du Vieux Chêne

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	11,375	4	2,84375	1,4380531	0,22978316	2,493696
A l'intérieur des groupes	148,3125	75	1,9775			
Total	159,6875	79				

Tableau S2 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les différents pièges du Gaec de la Chauvelière

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	3,175	4	0,79375	0,6703026	0,61461693	2,493696
A l'intérieur des groupes	88,8125	75	1,18416667			
Total	91,9875	79				

Tableau S3 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour la comparaison des captures accomplies par les différents pièges du Gaec des Trois Moulins – parcelle Rect

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	2,925	4	0,73125	0,37420043	0,82634744	2,493696
A l'intérieur des groupes	146,5625	75	1,95416667			
Total	149,4875	79				

Tableau S4 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour l'analyse de l'influence de la position des pièges dans la parcelle du Gaec du Vieux Chêne

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	8,375	4	2,09375	1,0377943	0,3934812	2,493696
A l'intérieur des groupes	151,3125	75	2,0175			
Total	159,6875	79				

Tableau S5 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour l'analyse de l'influence de la position des pièges dans la parcelle du Gaec de la Chauvelière

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	3,175	4	0,79375	0,6703026	0,61461693	2,493696
A l'intérieur des groupes	88,8125	75	1,18416667			
Total	91,9875	79				

Tableau S6 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour l'analyse de l'influence de la position des pièges dans la parcelle du Gaec des Trois Moulins - Rect

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	11,675	4	2,91875	1,58843537	0,18616373	2,493696
A l'intérieur des groupes	137,8125	75	1,8375			
Total	149,4875	79				

Tableau S7 : Résultat de l'analyse de variance à 1 facteur pour l'analyse de l'influence de la position des pièges dans la parcelle du Gaec des Trois Moulins - Prof

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	1,175	4	0,29375	0,18003064	0,9480625	2,493696
A l'intérieur des groupes	122,375	75	1,63166667			
Total	123,55	79				

Tableau S8 : Jeux de données utilisées pour la réalisation des analyses de comparaisons globales

	Nasse	D1	D2	D3	D4	moyenne
Vieux Chêne	18	2	9	3	3	7
Chauvelière	6	5	14	7	9	8,2
Rect.	11	8	17	10	13	11,8
Prof.	5	6	25	8	10	10,8
moyenne	10	5,25	16,25	7	8,75	

Tableau S9 : Test de Duncan pour l'Anova à 2 facteurs, puis à 1 facteur

Pièges	D1	D3	D4	Nasse	D2
Moyenne captures	5,25	7	8,75	10	16,25

Anova à 2 facteurs	Comparaison	d	R _k	Résultats
p=2	D1/D3	1,75	7,22	NS
	D3/D4	1,75	7,22	NS
	D4/Nasse	1,25	7,22	NS
	Nasse/D2	6,25	7,22	NS
p=3	D1/D4	3,5	7,56	NS
	D3/Nasse	3	7,56	NS
	D4/D2	7,5	7,56	NS
p=4	D1/Nasse	4,75	7,77	NS
	D3/D2	9,25	7,77	S
p=5	D1/D2	11	7,9	S

Anova à 1 facteur	Comparaison	d	R _k	Résultats
p=2	D1/D3	1,75	7,16	NS
	D3/D4	1,75	7,16	NS
	D4/Nasse	1,25	7,16	NS
	Nasse/D2	6,25	7,16	NS
p=3	D1/D4	3,5	7,5	NS
	D3/Nasse	3	7,5	NS
	D4/D2	7,5	7,5	NS
p=4	D1/Nasse	4,75	7,72	NS
	D3/D2	9,25	7,72	S
p=5	D1/D2	11	7,86	S

Tableau S10 : Jeux de données utilisées pour la réalisation de l'analyse de variance à 2 facteurs avec répétition d'expérience pour la comparaison des captures accomplies par les pièges à 1 ou 3 plaques engluées

	Piège 1 plaque	Piège 3 plaques
Vieux Chêne	2	9
Vieux Chêne	3	3
Chauvelière	5	14
Chauvelière	7	9
Rect.	8	17
Rect.	10	13
Prof.	6	25
Prof.	8	10

Tableau S11 : Jeux de données utilisées pour la réalisation de l'analyse de variance à 2 facteurs avec répétition d'expérience pour la comparaison des captures accomplies par les pièges avec ou sans ouvertures

	Piège sans ouverture	Piège avec ouvertures
Vieux Chêne	2	3
Vieux Chêne	9	3
Chauvelière	5	7
Chauvelière	14	9
Rect.	8	10
Rect.	17	13
Prof.	6	8
Prof.	25	10

Tableau S12 : Résultat de l'analyse de variance à 2 facteurs avec répétition d'expérience pour la comparaison des captures accomplies par les pièges avec ou sans ouvertures

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Échantillon	167,1875	3	55,7291667	1,51386531	0,283614	4,06618055
Colonnes	33,0625	1	33,0625	0,89813243	0,37102669	5,31765507
Interaction	18,6875	3	6,22916667	0,16921336	0,9141912	4,06618055
A l'intérieur du groupe	294,5	8	36,8125			
Total	513,4375	15				

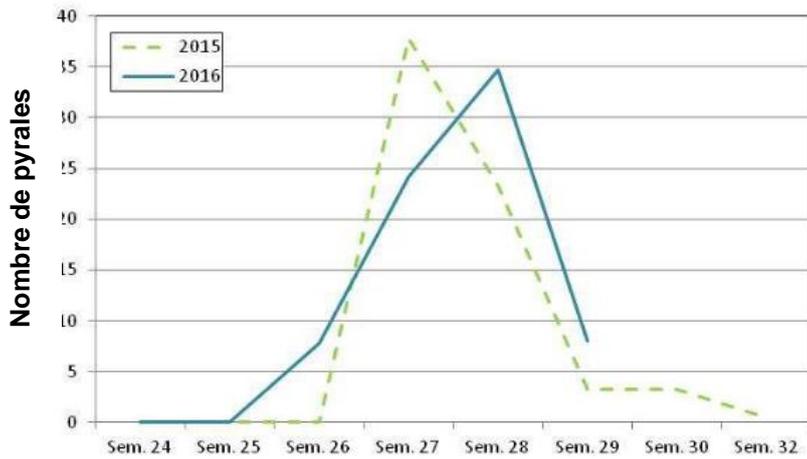


Figure S12 : Capture de pyrales hebdomadaire en Bretagne - Pièges lumineux
Source : BSV Breton

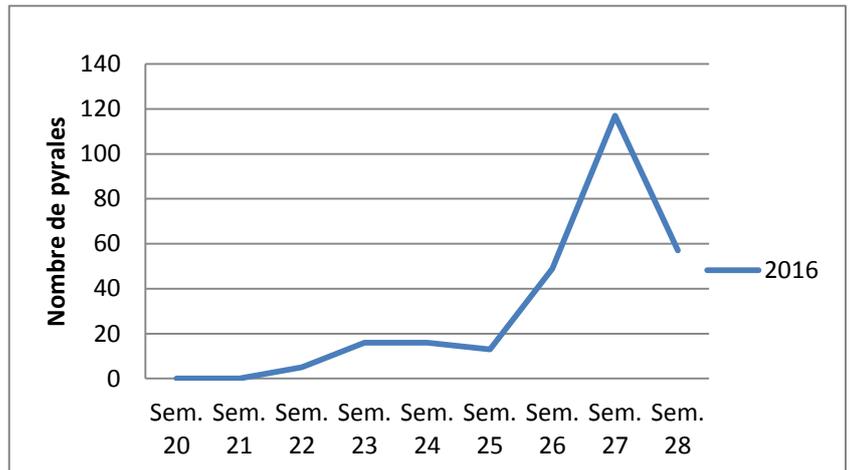


Figure S13 : Capture de pyrales hebdomadaire en Poitou-Charentes - Pièges lumineux
Source : BSV de Poitou-Charentes

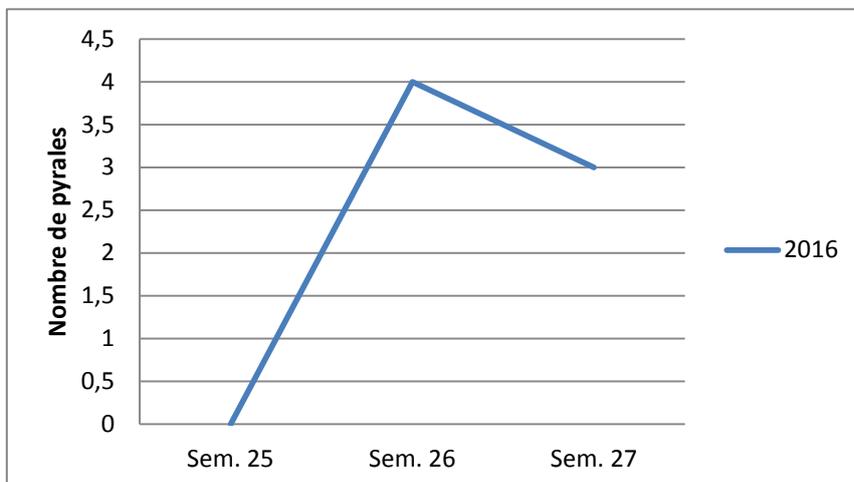


Figure S14 : Capture de pyrales hebdomadaire en Franche-Comté - Pièges lumineux
Source : BSV de Franche-Comté

Résumé

La pyrale du maïs fait partie des ravageurs redoutés par les maïsiculteurs. Au stade larvaire, la pyrale creuse des galeries dans les tiges et les épis du maïs pouvant amener à d'importantes pertes de rendement. Afin de combattre la larve de ce petit papillon de nuit, différents traitements existent : lutte chimique ou biologique (trichogrammes). Pour optimiser l'efficacité de ces traitements il faut définir les périodes optimales d'interventions. Celles-ci sont directement liées au stade de développement biologique du ravageur. L'un des moyens pour suivre ce développement est le piégeage du papillon adulte. Or, jusqu'à présent le réseau de Surveillance Biologique du Territoire chargé de piéger la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire n'a pas été en mesure de donner des résultats qui auraient permis d'établir la dynamique de vol du papillon.

C'est dans ce contexte que nous avons établi un diagnostic du réseau de piégeage de la pyrale du maïs dans les Pays de la Loire afin de trouver des solutions pour l'améliorer.

Les rappels effectués auprès des observateurs ont grandement amélioré les performances du réseau. Si les comparaisons entre pièges nasses et pièges delta n'ont pas entièrement confirmés les résultats d'autres études, un nouveau type de piège delta (avec trois plaques engluées) s'est révélé particulièrement efficace. Mais l'année 2016 ayant été un peu particulière, de nouvelles expérimentations devraient être réengagées.

Mots clés : Pyrale du maïs · piège delta · piège nasse · design des pièges · Pays de la Loire · observateurs

Abstract

European corn borer (ECB) is a formidable devastating of maize. At the larval stage, ECB bores into the stems and the ear of corn and induces significant losses. To fight the larva of this little moth some treatments can be possible: chemical treatment or biological treatment (with trichogramma). To maximize treatment efficiency, optimal periods must be defined for the intervention. The good period depends of the biologic development stage of the harmful. One way to follow this development is the trapping of the adult moth. But since now, the Biological Territory Observation network in charge to trap ECB in the region Pays de la Loire hasn't given satisfactory results to study flight dynamic of the moth.

It's in this context that we established a ECB trapping network diagnosis in the Pays de la Loire to find solutions to improve it.

Observers' training improved efficiently network performance. If comparisons between scentry trap and delta trap weren't entirely confirmed other studies results, a new trap delta (with three sticky plates) was especially efficient. But as year 2016 has few particular conditions, news testing should be done.

Keywords: European corn borer · delta trap · scentry trap · trap design · Pays de la Loire · observers