

Programme ALTERPRO

Mise au point de stratégies de piégeage combinées pour la gestion de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, appliquées aux Zones Non Agricoles

Bilan 2013

Partenariat INRA – Plante&Cité – ONEMA – Plan Ecophyto



Rapport intermédiaire n°3 - 05/03/2014

Porteur du projet : Jean-Claude MARTIN – INRA UE 0348

Chargée de mission : Anne-Sophie BRINQUIN – INRA UE 0348

Stagiaire : Mathilde CHAMBRAS – INRA UE 0348

Unité Expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne

Domaine Saint Paul – Site Agroparc - CS 40509 84914 - AVIGNON cedex 9

DUREE 1^{er} semestre 2011 – 2^{er} semestre 2014**CONTEXTE ET ENJEUX DU PROGRAMME ALTERPRO**

La Processionnaire du Pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est une réelle problématique à laquelle doivent faire face les gestionnaires d'espaces verts en milieu urbain. En effet, les chenilles sont responsables de la défoliation des pins et cèdres, et causent également des problèmes d'ordre sanitaire du fait de la libération de poils urticants très allergènes. De plus, l'aire de répartition de ce nuisible ne cesse de s'étendre sur le territoire national depuis plusieurs années, facilitée notamment par le réchauffement climatique. Face à cette invasion, la lutte contre la Processionnaire du Pin est nécessaire en milieu urbain, la finalité étant de contrôler les populations à un niveau tolérable permettant de protéger au mieux les peuplements végétaux et la santé des hommes et des animaux.

Ainsi, le programme ALTERPRO, initié par Plante&Cité et l'INRA en 2011, et soutenu par l'ONEMA dans le cadre du Plan Ecophyto 2018 avec le pilotage du Ministère du Développement Durable et de l'Agriculture, permet d'élaborer des stratégies de contrôle de la Processionnaire du Pin en milieu urbain validées scientifiquement. Ce programme a pour but de mettre en évidence les configurations et dispositifs de piégeage les plus adaptés en Zones Non Agricoles. Cette mission est conduite à l'échelle nationale avec la participation de plusieurs communautés territoriales partenaires qui réalisent les tests de piégeage.

PRINCIPAUX OBJECTIFS ET FINALITES DU PROGRAMME

- **Objectif n°1 : Mettre en évidence les configurations et dispositifs de piégeage les plus adaptés en Zones Non Agricoles ;**
- **Objectif n°2 : Comparer l'efficacité des différents types de pièges et les différentes phéromones mis sur le marché ;**
- **Objectif n°3 : Réaliser un guide technique destiné aux gestionnaires d'espaces verts des collectivités territoriales ;**
- **Objectif n°4 : Développer des préconisations sur la lutte alternative en matière de piégeage des papillons mâles et de piégeage des chenilles, en Zones Non Agricoles.**

LES PARTENAIRES DU PROGRAMME**PARTIE I : Poursuite du programme ALTERPRO**

- Collectivités territoriales : Lamballe, Saint-Fargeau-Ponthierry, Obernai, Angers, Saint-Martin-de-Ré, Marennes, Lyon, Entraunes, Avignon, Nice, Toulon, Rennes, Arzon, Orléans, Joigny, Tours, Saint-Cyr-sur-Loire, Joué-lès-Tours, Vichy, Aix-les-Bains, Rodez, Bayonne.
- FECODEC 22, DSF Nord-Est, FDGDON 49, FDGDON 17, FDGDON 84, ONF Var/Alpes Maritimes.

PARTIE II : Tests pièges et phéromones

- Commune de Martigues

CONTENU SCIENTIFIQUE ET ACTIVITES PRINCIPALES LIEES AU PROGRAMME

Ce rapport rend compte du travail accompli au cours de l'année 2013. Trois activités principales ont été réalisées dans le but d'atteindre les objectifs.

- **Activité n°1 : Analyses des résultats obtenus grâce au programme ALTERPRO entre 2012 et 2013 ;**

Le programme a été conduit au sein de 22 collectivités territoriales situées dans l'aire de répartition de la Processionnaire du Pin et dans le site isolé d'Obernai (Alsace). Il a été demandé à ces collectivités d'identifier et de mettre à disposition des sites d'étude, afin d'appliquer le protocole de piégeage des papillons en été, et d'effectuer les dénombrements de nids de chenilles en hiver. Deux Journées du Réseau ont d'ailleurs été organisées les 19 et 21 mars 2013, respectivement à Tours et Aix-en-Provence, afin de réunir tous les partenaires et d'harmoniser au mieux le protocole dans le but d'optimiser la qualité des résultats du programme. Une mosaïque de configurations (arbres d'alignements ou îlots boisés) et de types de sites (abords routiers, parcs, jardins publics, carrefours giratoires, massifs forestiers) a ainsi été obtenue. Les analyses des résultats obtenus sont présentées dans ce rapport intermédiaire. En plus des Journées du Réseau, une journée technique a été organisée le 8 juin 2013 à Lyon avec la participation de la recherche, des instituts techniques, des firmes du biocontrôle et des gestionnaires. Le

transfert des résultats et des techniques de biocontrôle du ravageur s'est poursuivi avec la participation à plusieurs colloques, à des journées de formation, avec un stand au Salon International de l'Agriculture 2013 et 2014.

➤ **Activité n°2 : Répétition des tests pièges et des tests phéromones ;**

Deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place en 2013, sur deux sites différents. 110 pièges ont été posés sur le site d'étude de Carro dans le but de comparer 6 phéromones différentes et 6 pièges différents, avec 10 répétitions pour chacun. De même, 40 pièges ont été posés au Mont Ventoux dans le but de comparer 4 phéromones différentes, avec 10 répétitions pour chacune. Les résultats, traités statistiquement, ont permis de constater qu'aucune phéromone testée ne se différencie véritablement des autres en termes d'efficacité dans le nombre total de papillons capturés durant toute la saison de vol, à l'exception du diffuseur Biobest LL1 (test Mont Ventoux) qui sera commercialisé en 2014 sous le nom de « Process'Attract ». Cette étude confirme à nouveau la meilleure attractivité du piège Procex®.

➤ **Activité n°3 : Essais de confusion sexuelle en milieu forestier et en milieu urbain (confidentielle et non présentée dans ce rapport);**

Des essais de confusion sexuelle ont été réalisés en 2013 en milieu forestier (Massif de la Montagnette) et en milieu urbain (Avignon). Les résultats obtenus en grande surface (8 ha) montrent une efficacité de la confusion sexuelle comprise entre 40 et 90%. Pour des plus petites surfaces, cette méthode de lutte a montré une efficacité relative sur des bosquets et aucune efficacité sur des configurations en arbres d'alignement. Les doses et les techniques utilisées sont confidentielles jusqu'au dépôt de brevet par la firme.

PERSPECTIVES DU PROGRAMME

➤ **Perspective n°1 : Elaborer un guide technique destiné aux gestionnaires**

➤ **Perspective n°2 : Développer une application nomade Android et iPhone sur la Processionnaire du Pin**

Une application nomade Android et iPhone est en cours de développement sur la processionnaire du pin, en collaboration avec l'UMR Santé et Agroécologie du Vignoble de l'INRA de Bordeaux. Il s'agit de l'application « AGIIR » (Alerter – Gérer les Insectes Invasifs et/ou Ravageurs). Cette application est une aide à la décision concernant la lutte contre la processionnaire du pin, mais aussi un outil de science participative qui permettra de réajuster les dates de début de vol des papillons et de début de procession des chenilles en fonction des situations géographiques.

➤ **Perspective n°3 : Intégrer l'outil « processionnaire du pin » dans la plateforme Ephytia (site web)**

Les données saisies pour l'application nomade sont également en cours d'intégration dans la plateforme Ephytia de santé des plantes développée par l'INRA mettant ainsi l'outil à la disposition des personnes non équipées de smartphone.

➤ **Perspective n°4 : Expérimenter le couple le plus performant « piège-diffuseur de phéromone »**

Les excellents résultats obtenus avec la phéromone Biobest LL1 permettent de prévoir un test avec le couple piège-diffuseur de phéromone le plus performant. L'amélioration du prototype S sera aussi testée cette année. Ils seront réalisés sur le site du Mont Ventoux où les populations sont en pleine gradation.

➤ **Perspective n°5 : Répéter les essais de confusion sexuelle en 2014 en milieu forestier (les conclusions de ces essais seront données grâce aux dénombrements de nids réalisés en mars 2015).**

➤ **Perspective n°6 : Etudier la faisabilité de transfert des techniques de lutte contre la processionnaire du chêne, et initier la recherche sur les parasitoïdes oophages dans la lutte contre la processionnaire du pin.**

CONTACTS

Jean-Claude MARTIN – Porteur du projet INRA
Tel. : 04 32 72 29 11 / jean-claude.martin@paca.inra.fr

Caroline GUTLEBEN – Chargée de mission Plante&Cité
Tel. : 02 41 72 17 37 / caroline.gutleben@plante-et-cite.fr

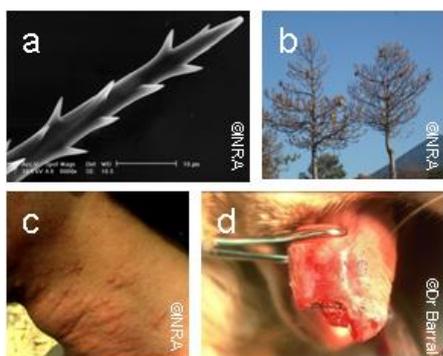
Anne-Sophie BRINQUIN – Chargée de mission INRA
Tel. : 04 32 72 29 30 / anne-sophie.brinquin@avignon.inra.fr

SOMMAIRE

Introduction et quelques rappels	5
PARTIE I :	
PROGRAMME ALTERPRO : BILAN 2012/2013	6
Matériel et méthode	7
1. <u>Rappels sur le protocole</u>	7
2. <u>Les partenaires du réseau Alterpro</u>	8
3. <u>Analyses statistiques</u>	9
Résultats et discussion	10
1. <u>Calcul des coefficients d'Henderson & Tilton</u>	10
2. <u>Analyse comparative des coefficients suivant divers paramètres</u>	14
a. <u>La configuration végétale</u>	14
b. <u>Le modèle de piège utilisé</u>	15
c. <u>Le nombre de pièges posés par hectare</u>	17
3. <u>Recherche de corrélations entre les différents paramètres</u>	18
4. <u>Les Journées « Ateliers du Réseau »</u>	19
5. <u>La Journée Technique Nationale sur la Processionnaire du Pin</u>	19
6. <u>Communication auprès des professionnels des espaces verts</u>	20
Perspectives	23
PARTIE II :	
TESTS PIEGES ET TESTS PHEROMONES	26
Objectifs	27
Matériel et méthode	27
1. <u>Lieux d'implantation des dispositifs : Carro et le Mont Ventoux</u>	27
2. <u>Matériel utilisé et contraintes particulières</u>	28
3. <u>Déroulement de la mission</u>	29
Résultats et discussion	30
1. <u>Dispositif de Carro</u>	30
a. <u>Résultats globaux</u>	30
b. <u>Comparaison de l'efficacité des pièges à phéromone sur la Processionnaire du Pin</u>	36
c. <u>Comparaison de l'efficacité des diffuseurs de phéromone sur la Processionnaire du Pin</u>	42
2. <u>Dispositif du Mont Ventoux</u>	43
Conclusion et perspectives	46
ANNEXES	47

Introduction et quelques rappels

La Processionnaire du Pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est un lépidoptère originaire du Bassin Méditerranéen, qui pose de véritables problèmes d'ordre sanitaire sur les peuplements végétaux et sur les populations humaines et animales. En effet, les chenilles se nourrissent essentiellement d'aiguilles de pins et de cèdres et sont ainsi responsables de la défoliation des arbres sur lesquels elles ont tissé leurs nids (Figure 1). Ces défoliations se traduisent essentiellement par une fragilisation des arbres et un ralentissement de leur croissance, sans entraîner pour autant leur mort. Néanmoins, ils deviennent beaucoup plus sensibles aux attaques d'autres insectes xylophages ainsi qu'aux stress hydriques et thermiques. De plus, les chenilles libèrent, lors du dernier stade larvaire,



animaux. Ces réactions se traduisent par des atteintes cutanées, oculaires ou respiratoires. La Processionnaire du Pin est donc une réelle problématique à laquelle doivent faire face les gestionnaires d'espaces verts en milieu urbain.

Figure 1 :
a) Poil urticant de Processionnaire du Pin (observé au microscope électronique, x6000);
b) pins défoliés par les chenilles ;
c) problèmes allergènes dus aux poils urticants ;
d) nécrose de la langue d'un chien en contact avec des chenilles.

Face à cette problématique, le programme ALTERPRO a été mis en place en 2011 par Plante&Cité et l'INRA. Ce programme, soutenu par l'ONEMA dans le cadre du Plan Ecophyto 2018 avec le pilotage du Ministère du Développement Durable et de l'Agriculture, et qui doit se terminer fin 2014, poursuit plusieurs finalités. En effet, il a pour but de mettre en évidence les stratégies adaptées aux configurations et aux dispositifs en Zones Non Agricoles, afin de contrôler les populations de Processionnaires du Pin et de protéger au mieux les peuplements végétaux et la santé des hommes et des animaux. Cette mission est conduite à l'échelle nationale avec la participation de plusieurs communautés territoriales partenaires qui réalisent les tests de piégeage. Le programme permettra ainsi de réaliser un guide technique destiné aux gestionnaires d'espaces verts des collectivités territoriales et de développer des préconisations sur la lutte alternative en matière de piégeage des papillons mâles et de piégeage des chenilles en Zones Non Agricoles.

Ce rapport rend compte du travail accompli au cours de l'année 2013. Dans une première partie, il sera question de faire le point sur les avancées du programme ALTERPRO et de présenter un premier bilan des résultats obtenus depuis 2011. La seconde partie sera consacrée aux tests pièges et tests phéromones réalisés par l'INRA sur la commune de Martigues et sur le Mont Ventoux.

PARTIE I

PROGRAMME ALTERPRO : BILAN 2012/2013

Matériel et méthode

1. Rappels sur le protocole

Le protocole se base principalement sur le cycle de vie de la Processionnaire du Pin, présenté dans la figure 1. Dans un premier temps, il est demandé aux collectivités territoriales partenaires du programme d'installer des pièges à phéromone sur les sites tests, vers mi-juin, avant le début de vol des papillons (1). Il est préconisé de poser 5 à 6 pièges par hectare sur les sites formant un îlot boisé, ou 1 piège tous les 25 mètres pour les arbres d'alignement. Ensuite, vers fin septembre, les partenaires doivent effectuer un dénombrement des papillons piégés durant tout l'été pour chaque piège (2). Enfin, afin de contrôler l'évolution des populations de chenilles Processionnaires du Pin, et donc de mettre en évidence l'effet du piégeage des papillons mâles sur les sites expérimentaux, il est demandé aux partenaires de réaliser, vers février ou mars, un dénombrement des nids de chenilles sur les sites tests et témoins (3). Durant toute la durée du programme, qui doit s'étendre jusqu'à fin 2014, aucun traitement chimique ni microbiologique ne doit être réalisé sur les sites expérimentaux.



Figure 1 : Déroulement du protocole Alterpro en fonction du cycle de vie de la Processionnaire du Pin.

2. Les partenaires du réseau Alterpro

Le programme ALTEPRO compte au total 22 collectivités territoriales partenaires (Figure 2). 10 ont intégré le programme en juin 2011 au moment de la pose des pièges à phéromone sur les sites tests (désignées par les ronds), et 12 l'ont intégré en janvier 2012 au moment du dénombrement des nids de chenilles sur les sites tests et témoins (désignées par les losanges). Ceci représente un panel de 40 sites tests et 21 sites témoins.



Figure 2 : Carte présentant le réseau des partenaires ALTERPRO.

Toutefois, pour la réalisation de nos analyses statistiques, seules 14 collectivités territoriales seront prises en compte. Les 8 collectivités mises de côté, désignées en bleu dans la figure 2, n'ont en effet pas suivi le protocole de façon suffisamment stricte pour nous permettre d'optimiser la fiabilité des résultats. Les raisons de ces écarts sont multiples. Certaines collectivités ont subi des changements de personnel sans en avertir l'INRA et les instructions concernant le protocole n'ont pas été transmises assez tôt pour assurer le bon déroulement du programme (Joigny, Toulon, Obernai). D'autres collectivités n'ont transmis aucune information à l'INRA concernant leur site témoin (Bayonne, Lyon), ou les résultats de dénombrement de nids (Joué-lès-Tours, Entraunes), malgré les nombreuses relances effectuées. Enfin, la ville de Lamballe a choisi un site témoin qui ne possède pas de Processionnaires du Pin, ce qui limite les possibilités de comparaison avec les sites tests. **Au total, 28 sites tests et 15 sites témoins seront pris en compte dans nos analyses.**

Enfin, les sites de Martigues et du Mont Ventoux, désignés par les étoiles roses sur la carte, sont les sites expérimentaux où ont été entrepris les tests pièges et les tests phéromones par l'INRA. Le protocole de cette expérimentation ainsi que les résultats seront présentés dans la deuxième partie de ce rapport.

3. Analyses statistiques

Les analyses ont été effectuées en trois phases distinctes.

Dans un premier temps, afin de mettre en évidence l'évolution des populations de Processionnaire du Pin entre 2012 et 2013 sur les sites tests en fonction de la dynamique naturelle du témoin, nous avons calculé les coefficients d'Henderson & Tilton (= % réajustement) à partir de la formule suivante :

$$\text{Réajustement \%} = \left(1 - \frac{n \text{ Zone Témoin avant traitement} * n \text{ Zone Test après traitement}}{n \text{ Zone Témoin après traitement} * n \text{ Zone Test avant traitement}} \right) * 100$$

(Avec : n = nombre de nids)

Cette formule permet de comparer le nombre de nids de chenilles sur les sites tests, avant et après la mise en place des dispositifs expérimentaux, et de réajuster ceux-ci en fonction de la dynamique naturelle du témoin au cours de cette même période. Le coefficient obtenu est un pourcentage positif lorsque le nombre de nids sur le site test a diminué par rapport au site témoin et inversement.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé les coefficients d'Henderson & Tilton obtenus selon divers paramètres :

- la configuration paysagère : arbres alignés, îlot boisé de moins d'un hectare, îlot boisé de plus d'un hectare.
- le modèle de piège utilisé : Procerex®, Trampa G, Mastrap L, Entonnoir, Mixte qui correspond à la mise en place de plusieurs des modèles de pièges précédemment cités.
- le nombre de pièges posés par hectare : moins de 5 pièges, entre 5 et 10 pièges, plus de 10 pièges.

Le choix des tests s'est porté sur des comparaisons de moyennes de coefficients d'Henderson & Tilton : ANOVA, ANOVA par permutation, test de Kruskal & Wallis. Afin de vérifier les conditions d'utilisation de ces tests, des tests préalables ont été réalisés (Figure 3). Les hypothèses nulles de chaque test utilisé sont présentées dans la

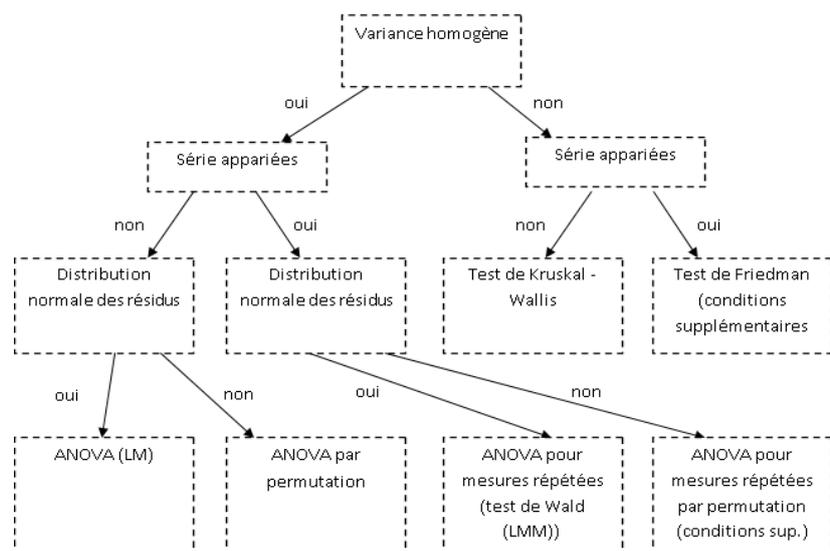


Figure 3 : Arbre de décision du test statistique à utiliser pour comparer plusieurs moyennes entre elles.

figure 4, le risque d'erreur étant fixé à 5%. Ainsi, la valeur de la p-value obtenue grâce aux tests utilisés doit être inférieure à 0,05 pour que l'hypothèse H0 soit rejetée.

Test	Hypothèse nulle « H0 »
Test de Grubbs	Il n'y a pas de valeurs aberrantes dans le jeu de données.
Test de Bartels	La série de données à un caractère simple et aléatoire.
Test de Bartlett	Les variances sont homogènes sur le jeu de données.
Test de Bartlett par permutation	Les variances sont homogènes sur le jeu de données.
Test de Shapiro-Wilk	Les résidus suivent une loi normale.
ANOVA	Les moyennes ne présentent pas de différences significatives.
ANOVA par permutation	Les moyennes ne présentent pas de différences significatives.
Test de Kruskal-Wallis	Les moyennes ne présentent pas de différences significatives.

Figure 4 : Présentation des tests qui ont été utilisés lors de l'analyse et de leur hypothèse nulle.

Enfin, dans une troisième et dernière partie, nous avons croisé les divers paramètres entre eux et ainsi évalué la corrélation entre la configuration et le nombre de pièges utilisés, le nombre de pièges utilisés et le modèle du piège ou encore l'efficacité de piégeage et le taux d'infestation. Pour cette partie, le choix des tests s'est porté sur les tests de χ^2 de Pearson. Le principe est d'analyser, à partir d'un tableau de contingence, l'indépendance ou non de deux variables qualitatives différentes. Dans ce but, deux hypothèses sont posées :

- ◆ Hypothèse nulle : « H0 = les deux variables sont indépendantes et n'ont pas d'influence l'une sur l'autre ».
- ◆ Hypothèse alternative : « H1 = les deux variables sont liées ».

Le risque d'erreur est fixé à 5%. La valeur de la p-value obtenue grâce au test de χ^2 doit être inférieure à 0,05 pour que l'hypothèse H0 soit rejetée et pour que l'on puisse conclure à une dépendance entre les deux variables qualitatives testées au risque de 5% de se tromper.

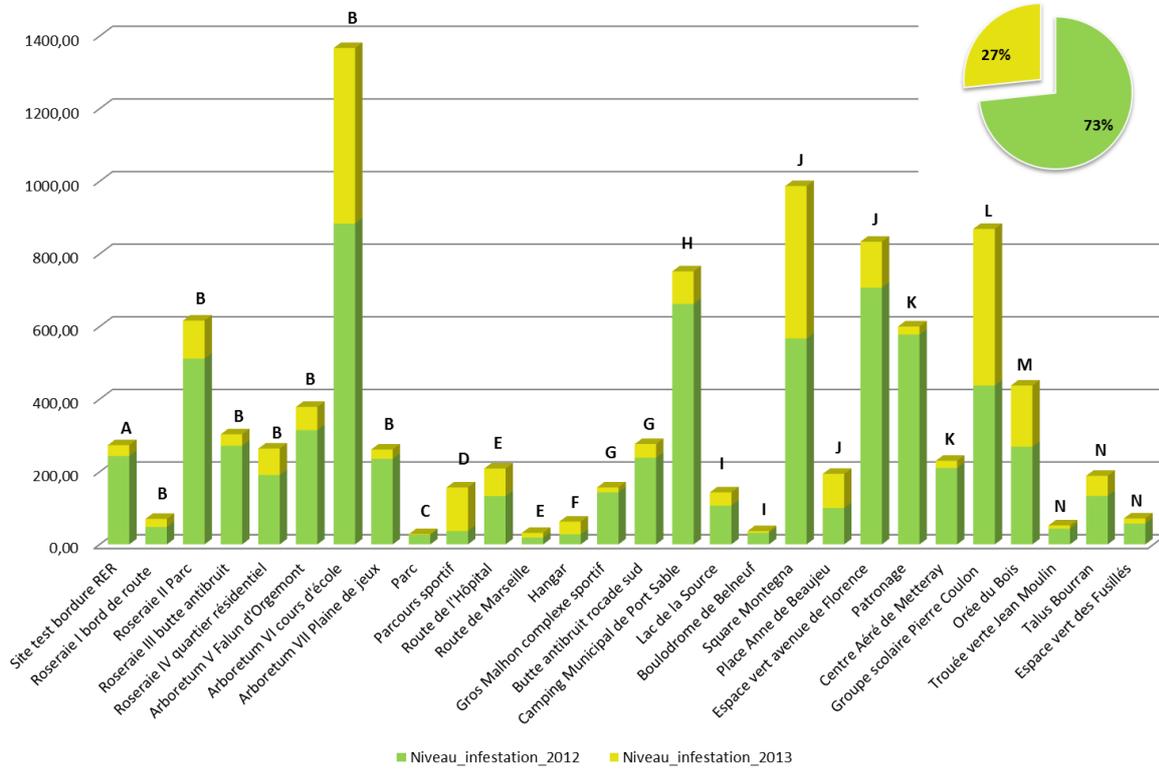
Résultats et discussion

1. Calcul des coefficients d'Henderson & Tilton

L'ensemble des résultats de dénombrement de nids de Processionnaires du Pin, sur les sites tests et témoins des 14 communes partenaires considérées dans notre étude, se trouve en Annexe 1. Seuls les résultats obtenus en 2012 et 2013 seront utilisés dans cette analyse, une partie des dénombrements de nids de 2014 n'ayant pas encore été obtenue à ce jour. Ces derniers résultats seront intégrés dans le rapport final.

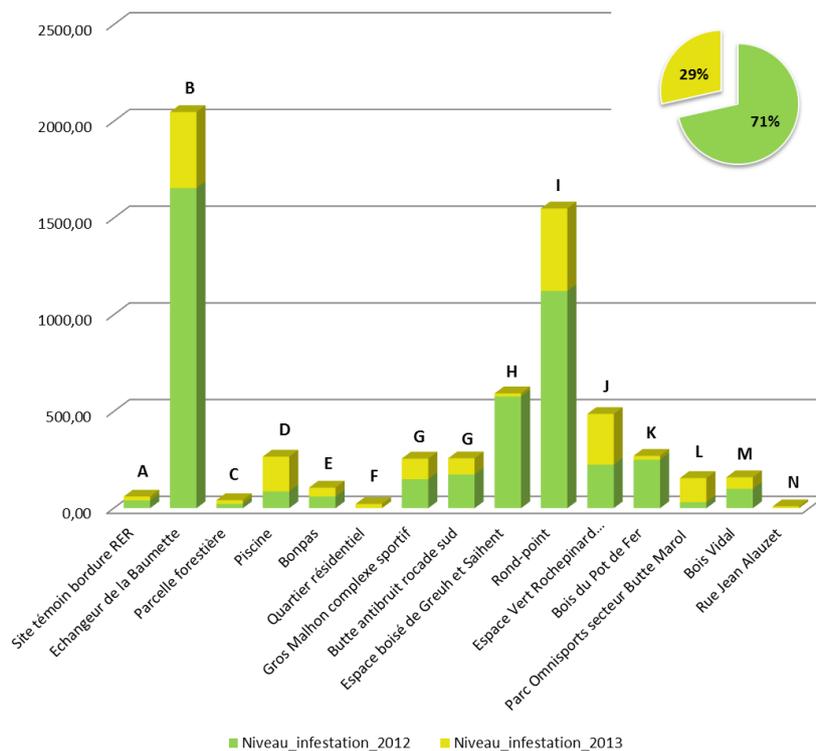
Les figures 5 et 6 présentent les niveaux d'infestation (\rightarrow nombre de nids pour 100 arbres) de 2012 et 2013 pour chacun des sites tests et témoins de nos communes partenaires.

Figure 5 : Niveaux d'infestation sur les sites tests des communes partenaires en 2012 et 2013



A = Saint-Fargeau-Ponthierry, B = Angers, C = Saint-Martin-de-Ré, D = Marennes, E = Avignon, F = Nice, G = Rennes, H = Arzon, I = Orléans, J = Tours, K = Saint-Cyr-sur-Loire, L = Vichy, M = Aix-les-Bains, N = Rodez.

Figure 6 : Niveaux d'infestation sur les sites témoins des communes partenaires en 2012 et 2013



Nous constatons que l'année 2013 a connu, d'une manière générale, une plus faible infestation par la processionnaire du pin que l'année 2012, quelles que soient la localisation géographique et la zone climatique des sites considérés. Nous retrouvons, en moyenne, les mêmes proportions d'infestation pour ces deux années d'expérimentation, que ce soit pour les sites tests et les sites témoins (71-73% en 2012 et 27-29% en 2013). Seule la commune D présente une augmentation du niveau populationnel sur tous ses sites. La commune F a vu aussi sa population de processionnaires du pin augmenter sur son site test, et la commune J sur son site témoin.

Nous observons également une grande hétérogénéité des niveaux d'infestation entre les sites choisis pour réaliser les expérimentations. Ces niveaux peuvent être d'ailleurs très différents entre les sites d'une même commune. Ainsi, en considérant la commune B, nous observons une très forte infestation sur le site témoin et sur le site test « Arboretum VI » en 2012 par rapport aux autres sites de cette même commune. Nous remarquons également que certaines communes ont choisi des sites témoins très faiblement infestés par la Processionnaire du Pin (communes F et N notamment). Ces choix ont été certainement réfléchis dans le but de faire courir le moins de risque possible au public, étant donné que les sites témoins ne doivent pas être traités contre la Processionnaire du Pin durant toute la durée du programme Alterpro.

A partir des résultats de dénombrements de nids, nous pouvons calculer pour chaque collectivité les coefficients d'Henderson & Tilton présentés dans la figure 7. Lorsqu'il y a plusieurs sites tests dans une même commune, les données présentées exposent la moyenne de tous les sites tests réajustés au site témoin. Les erreurs standards sont représentées pour illustrer les variations possibles.

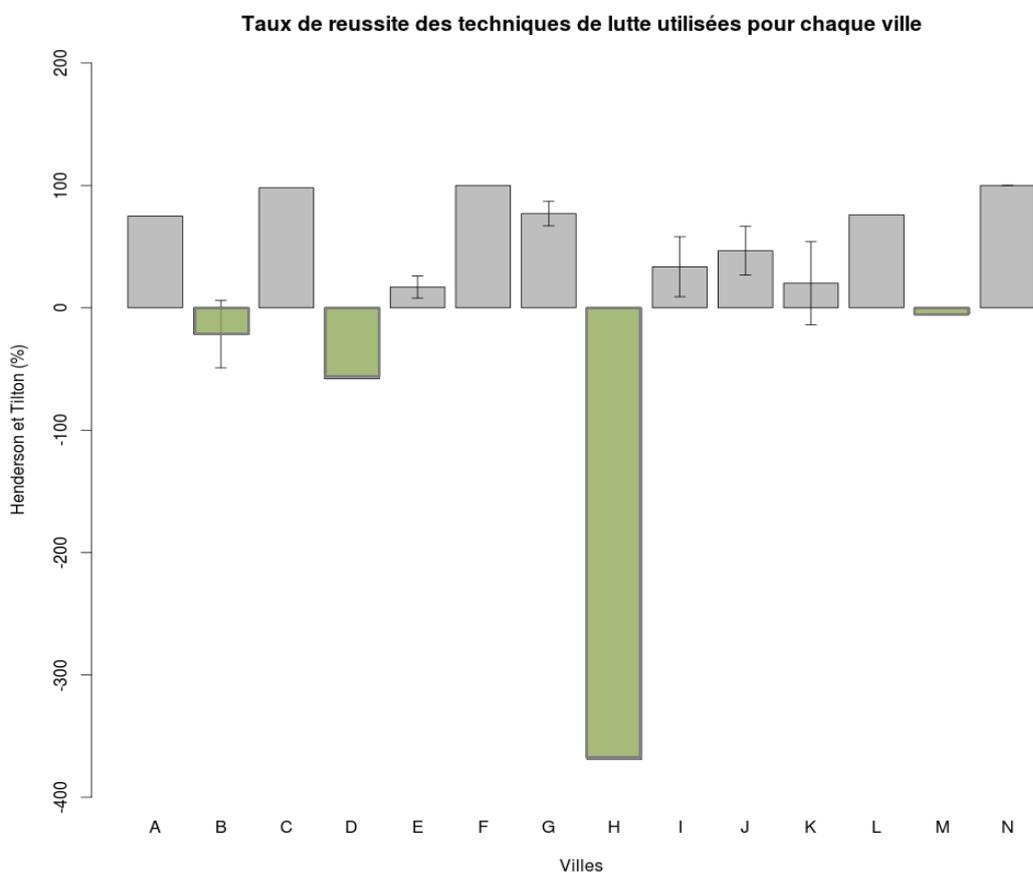


Figure 7 : Les coefficients d'Henderson & Tilton associés à chaque ville partenaire (A = Saint-Fargeau-Ponthierry, B = Angers, C = Saint-Martin-de-Ré, D = Marennnes, E = Avignon, F = Nice, G = Rennes, H = Arzon, I = Orléans, J = Tours, K = Saint-Cyr-sur-Loire, L = Vichy, M = Aix-les-Bains, N = Rodez).

D'une manière générale, sur les 14 communes partenaires considérées, 10 ont obtenu un impact positif des méthodes de lutte mises en place contre la Processionnaires du Pin. En d'autres termes, les populations de Processionnaires du Pin ont soit régressé globalement sur les sites tests ayant accueilli les dispositifs de piégeage, soit elles ont augmenté de manière moindre sur ces sites par rapport aux sites témoins.

Concernant les quatre cas d'échec (communes B, D, H et M), plusieurs explications peuvent être apportées afin d'interpréter correctement ces résultats mitigés :

- ✓ Explication n°1 (Marennes, Arzon et Aix-les-Bains) : Une mauvaise coïncidence entre la mise en place des pièges et la période de vol des papillons. En effet, les papillons émergent à des dates différentes selon le climat dans lequel ils se trouvent.

Marennes (D) est soumise à un climat de type océanique, ce qui signifie que les adultes émergent plus précocement que sous les autres types de climat, et que l'on peut observer le début des vols de papillons dès mi-mai. En 2011, les courbes de vol des adultes obtenues par piégeage phéromonal ont montré que lors du premier relevé, début juin, le vol des papillons avait déjà commencé. Nous pouvons donc supposer que la pose des pièges le 29 mai 2012 est trop tardive.

Concernant les villes d'Arzon (H) et d'Aix-les-Bains (M), les pièges ont été installés respectivement le 10 juillet et le 13 juillet, beaucoup trop tardivement par rapport à l'émergence des papillons, qui peut débiter à partir de mi-mai en climat océanique et à partir de fin juin en climat montagnard.

- ✓ Explication n°2 (Angers) : La dynamique de la population, notamment lors des périodes de rétrogradation.

La tendance de la population de processionnaires du pin dans la ville d'Angers (B) est la rétrogradation. En effet, le site témoin a connu une diminution naturelle du nombre de nids de 76 % entre 2012 et 2013. Les sites tests ont également vu la population du ravageur régresser, mais pas forcément dans les mêmes proportions que pour le site témoin. Ainsi, les sites Roseraie I, Roseraie IV et Arboretum VI ont vu leur nombre de nids diminuer (45 à 61 %) mais pas autant que sur le site témoin. Les coefficients d'Henderson & Tilton obtenus pour ces trois sites tendent à conclure sur une inefficacité du piégeage phéromonal mis en place. Deux autres sites tests (Roseraie II et Arboretum VI) ont vu le nombre de nids régresser entre 2012 et 2013, mais dans le même ordre de grandeur que le site témoin (79 %). Autrement dit, les pièges mis en place durant l'été sur ces sites n'auraient eu aucune incidence. Or, nous avons eu l'occasion de visiter les sites d'Angers et de rencontrer nos partenaires, et nous savons que le protocole a été suivi correctement. Nous pouvons supposer qu'à quelques kilomètres de distance, les populations de processionnaire du pin ne suivent pas forcément la même dynamique. Ainsi, le piégeage a pu tout à fait être efficace sur les différents sites tests. Cependant, cette efficacité reste voilée par la forte rétrogradation des populations de processionnaire du pin sur le site témoin. De ce fait, le coefficient obtenu pour Angers semble conclure à un cas d'échec, car il est biaisé par cette forte rétrogradation. Ainsi, si on ne se réfère qu'au coefficient nous pourrions conclure sur une inefficacité du piégeage, alors que cette efficacité (relative selon les sites) existe.

- ✓ Explication n°3 (Nice et Rodez) : Limite du calcul du coefficient d'Henderson & Tilton.

Nice (F) et Rodez (N) ont obtenu le même coefficient d'Henderson et Tilton, égal à 100. Ceci est tout simplement dû à la formule permettant de calculer ce coefficient, qui est indéterminé dès qu'un facteur nul y est apporté. En effet, en 2012, aucun nid de processionnaires du pin n'avait été comptabilisé sur les sites témoins de ces deux villes. Il est donc important de ne pas prendre en compte ces résultats dans nos conclusions.

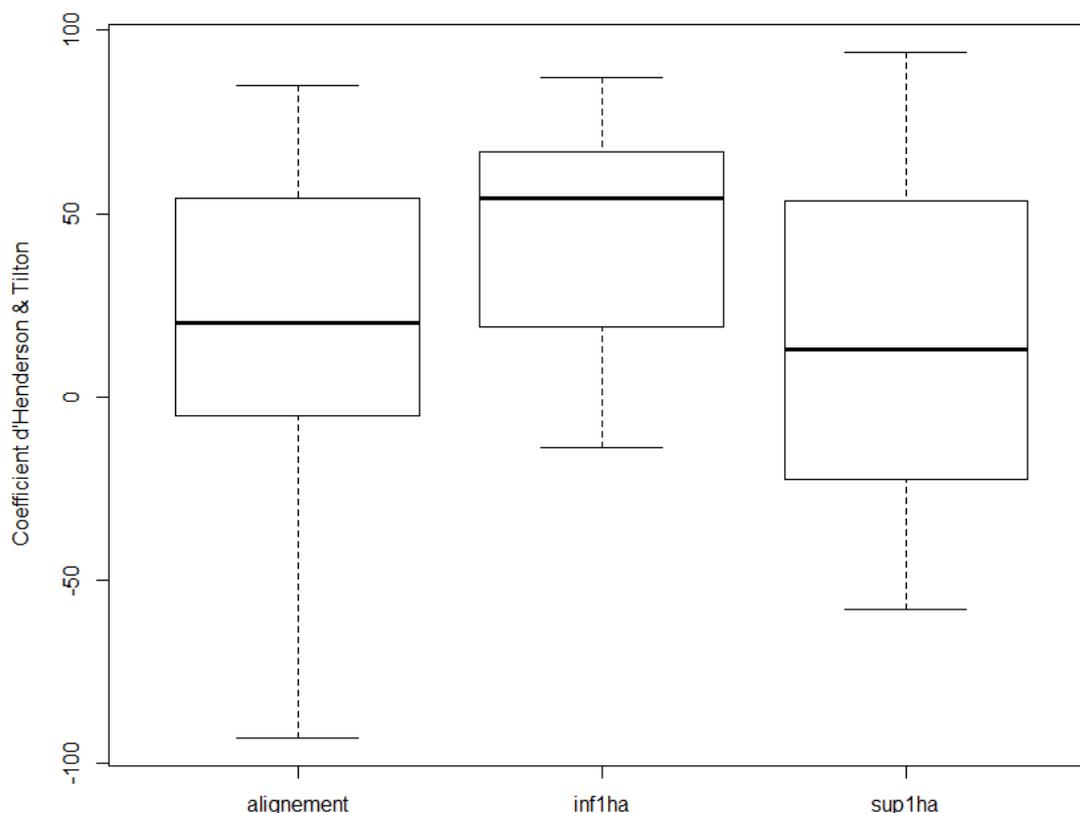
2. Analyse comparative des coefficients suivant divers paramètres

Nous avons comparé les coefficients d'Henderson & Tilton de chacun des 28 sites tests de notre jeu de données, selon les paramètres suivants.

a. La configuration végétale

Une donnée considérée comme aberrante par le test de Grubbs a été retirée du jeu de données. Il s'agit du site test Arboretum VI de la ville d'Angers (B). Ce site reste atypique car aucune erreur de protocole ne permet d'expliquer les résultats obtenus. Nous obtenons ainsi les résultats présentés dans la figure 8.

Figure 8 : Distribution des coefficients d'Henderson et Tilton pour chaque type de configuration



Après réalisation des tests préalables à la comparaison de moyennes, nous pouvons dire selon le test de Bartels, que le jeu de données a bien un caractère aléatoire et simple. De plus, il présente des

variances assez homogènes, et les résidus ne suivent pas une loi normale. C'est pourquoi, nous devons utiliser un test ANOVA par permutation. La p-value obtenue est égale à 0,465. Nous pouvons donc conclure qu'il n'y a **pas de différences significatives d'efficacité de piégeage selon le type de configuration dans lequel on se trouve.**

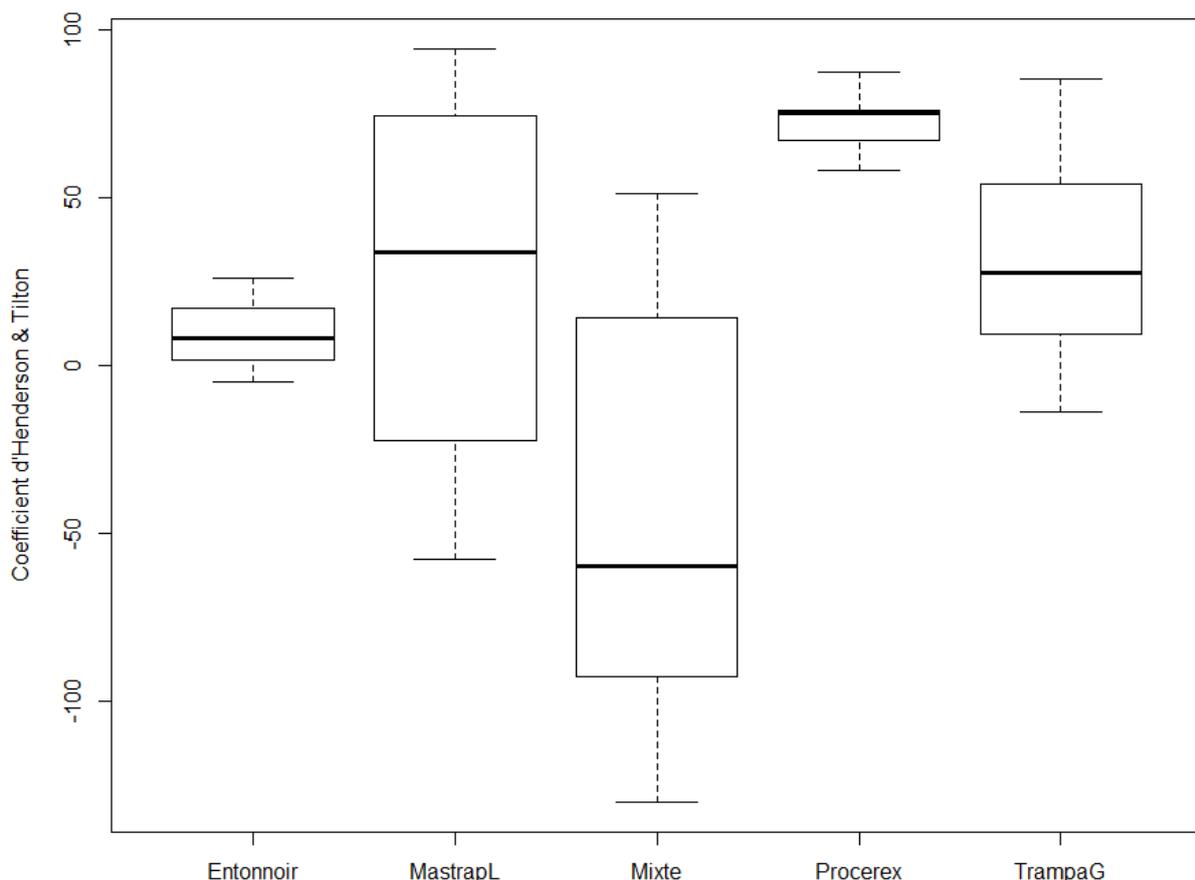
Toutefois, nous devons prendre en compte les ajustements réalisés par rapport au témoin, dont la configuration n'est pas toujours identique à celle des sites tests. Ceci peut avoir un impact sur les résultats. De plus, les gestionnaires n'ont pas toujours mis en place la même densité de pièges à l'hectare, donc les comparaisons se font sur des situations différentes.

b. Le modèle de piège utilisé

De la même manière, le site test de la ville d'Arzon (H) a été retiré du jeu de données car il est considéré comme une valeur aberrante par le test de Grubbs. En effet, les pièges à phéromone ont été posés trop tardivement (10 juillet) pour une région où le vol des papillons est connu pour être précoce.

Nous obtenons ainsi les résultats présentés dans la figure 9.

Figure 9 : Distribution des coefficients d'Henderson et Tilton pour chaque type de piège



Selon les tests statistiques effectués, la série de données a un caractère aléatoire et simple et les variances ne sont pas considérées comme homogènes. Dans ces conditions, nous avons réalisé un

test ANOVA qui nous donne une p-value de 0,0214, confirmé par le test Kruskal & Wallis (p-value = 0,03273). Autrement dit, il y aurait au moins un modèle de pièges qui se différencie des autres.

Lorsque l'on compare deux à deux les modèles de pièges (Figure 10), nous détectons bien une différence entre le Procerex® et le dispositif « Mixte ».

Comparaisons	P-value
Procerex® – Entonnoir	0.4119
Procerex® – Mastrap L	0.6076
Procerex® – Mixte	0.0101 *
Procerex® – Trampa G	0.6320
Entonnoir – Mastrap L	0.9918
Entonnoir – Mixte	0.5691
Entonnoir – Trampa G	0.9664
Mastrap L – Mixte	0.2464
Mastrap L – Trampa G	0.9997
Mixte – Trampa G	0.1192

Figure 10 : Résultats de la comparaison de moyenne deux à deux.

La figure 11 présente le classement des pièges testés, obtenu grâce au test de Tukey. Le piège avec la lettre « b » **type Procerex® est considéré statistiquement comme le plus efficace**, et celui avec la lettre « a » comme le moins efficace en termes de piégeage. Ces résultats confirment les résultats obtenus dans les tests « pièges » effectués par l'INRA.

Procerex®	Mastrap L	Trampa G	Mixte	Entonnoir
b	ab	ab	a	ab

Figure 11 : Lettre représentant les différences entre les pièges.

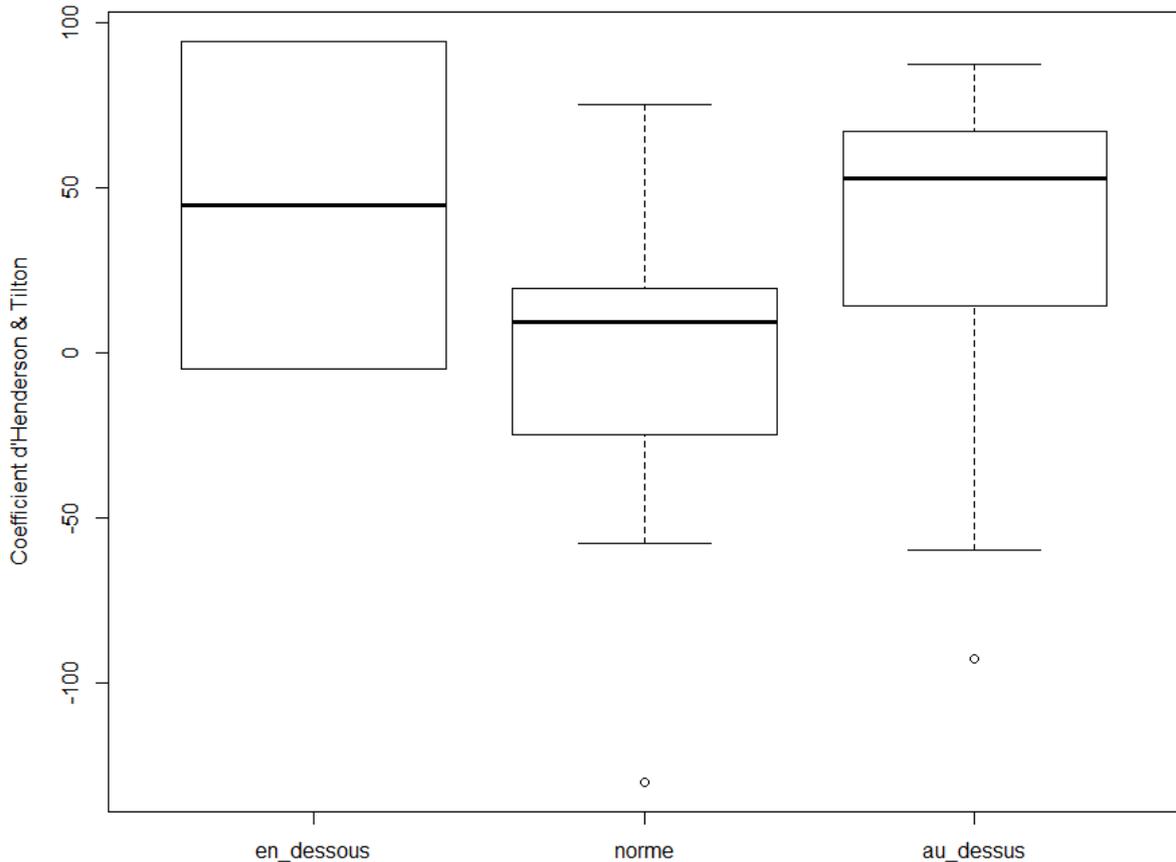
Toutefois, la modalité de piège « Mixte » peut être discutée puisqu'elle se retrouve exclusivement dans une même ville (Angers (B)). De plus, dans cette catégorie, certains sites tests avaient seulement un piège différent des autres. Ce piège a, dans la plupart des cas, très peu capturé de papillons, donc nous pouvons penser qu'il a eu peu d'impact dans la lutte contre la processionnaire du pin. De plus, sur un des sites, le seul piège différent des autres a disparu au cours de la saison.

L'écart entre les résultats issus des expérimentations INRA (Martigues) et les résultats de ce programme peut s'expliquer par des différences dans le suivi des recommandations lors de la pose des pièges. En effet, les pièges Procerex® (avec eau) et Trampa G (sans eau) devraient se distinguer nettement des autres types de pièges. Or, ces deux modèles n'ont pas toujours été utilisés correctement. En effet, les réservoirs des pièges Procerex® n'ont pas été systématiquement remplis d'eau et d'huile (Nice et Lyon) et nous savons qu'ils ne sont pas efficaces dans cet état. De même, les sacs percés des pièges Trampa G n'ont pas été systématiquement remplacés, diminuant ainsi l'efficacité de ces pièges.

c. Le nombre de pièges posés par hectare

De la même manière, le site test de la ville d'Arzon (H) a été retiré du jeu de données car il est considéré comme une valeur aberrante par le test de Grubbs. Nous obtenons ainsi les résultats présentés dans la figure 12.

Figure 12 : Distribution des coefficients d'Henderson et Tilton par rapport au nombre de pièges posés



La série de données a un caractère simple et aléatoire, les variances sont homogènes et les résidus suivent une loi normale. Nous avons donc réalisé un test ANOVA. Avec une p-value de 0,316, nous pouvons considérer qu'il n'y a pas de différences significatives d'efficacité de piégeage selon le nombre de pièges posés.

Il semble incohérent de ne pas voir de différences d'efficacité entre les modalités un ou deux piège(s) par hectare et 15 à 20 pièges par hectare. D'autres facteurs interviennent dans ces résultats, comme la variabilité au niveau des sites comparés, les méthodes utilisées par les gestionnaires ou encore les niveaux de population des processionnaires du pin. Ce résultat ne peut être pris en compte.

3. Recherche de corrélations entre les différents paramètres

Trois tests de corrélation ont été réalisés, visant à évaluer le lien entre :

1. la configuration des sites tests et le nombre de pièges posés

Le test de Pearson donnant une p-value de 0,09184 montrerait que le nombre de pièges posés est indépendant de la configuration.

2. le modèle de piège utilisé et le nombre de pièges mis en place

Le test de Pearson (p-value = 0,2176) ne montre pas de corrélation entre le modèle et le nombre de pièges utilisés. Ce résultat est fortement lié au faible nombre de données à comparer et ne peut être pris en compte.

3. le niveau d'infestation et l'efficacité du piégeage mesurée par Henderson & Tilton

Le test statistique de Pearson conclut sur une p-value de 0,2411 ce qui signifie que le niveau d'infestation ne joue pas sur l'efficacité du piégeage.

La variabilité des actions mises en œuvre par les gestionnaires des espaces verts impactent fortement sur les résultats obtenus. Il est néanmoins important de rappeler que 70 % des villes ont réussi à réduire le nombre de nids présents sur leurs sites. Même si la diminution est parfois faible, cela permet de réguler voir de réduire la population de cet insecte ravageur d'années en années. Les cas d'échec sont principalement dus à une mauvaise application du protocole. Il est donc nécessaire de favoriser le transfert de ces techniques de lutte contre les chenilles processionnaires du pin. Par rapport aux situations qui semblent liées à la dynamique des processionnaires du pin, il est important de rappeler que le taux d'infestation a tout de même diminué sur chacun des sites de piégeage.

Malgré les Journées du Réseau Alterpro organisées en 2012 et 2013, nous constatons que les conseils de l'INRA n'ont pas toujours été pris en compte. Le projet Alterpro a aussi pour but principal de tester la compréhension du transfert de l'information sur ces nouvelles techniques de lutte. Ce type d'informations nécessite du temps pour être assimilé et donc permettre une mise en place adéquate des dispositifs de piégeage.

De plus, il faut prendre en compte l'hétérogénéité des situations des villes qui souhaitent lutter contre cet insecte ravageur. En effet, certaines d'entre elles ont de gros moyens financiers et peuvent investir dans du matériel de piégeage sans imputer fortement leur budget, mais d'autres villes ont plus de difficultés. Ainsi, l'efficacité de la lutte est forcément impactée par les capacités financières des communes. Dans le cadre du Plan Ecophyto, une aide visant à favoriser la mise en place, la gestion ou bien encore la formation des acteurs qui interviennent sur les dispositifs devrait être étudiée et instaurée.

Le piégeage de masse nécessite du temps, des connaissances, mais il semble montrer une certaine efficacité, sous condition d'une bonne mise en place des dispositifs (qui dépend du climat, de l'endroit, du matériel, de leur utilisation, etc.). Certes, lors de grosses pullulations dans les situations les plus à risque, des pulvérisations de BtK pourraient être envisagées. Néanmoins, le piégeage de masse semble faire ses preuves dans les milieux citadins, pour réduire des populations de processionnaire du pin d'années en années. De plus, il est rarement utilisé seul, mais souvent

combiné à d'autres méthodes alternatives, ce qui augmente le potentiel de régulation de la processionnaire du pin.

4. Les Journées du Réseau

Deux Journées « Ateliers du Réseau » ont été organisées les 19 et 21 mars 2013, respectivement à Tours et à Aix-en-Provence. Elles ont eu pour objectif de réunir tous les partenaires et de favoriser le dialogue au sein du réseau. A cette occasion, le protocole a été de nouveau présenté dans le but d'harmoniser les méthodes et de conseiller dans l'utilisation des pièges à phéromone et à chenilles. Une part importante de ces journées a été consacrée aux échanges afin de répondre aux attentes et aux questions posées, le but étant d'optimiser les résultats de piégeage du programme ALTERPRO tout en créant un réseau technique sur la durée, au-delà du programme en lui-même.

- ◆ Pour la partie Nord du réseau, la première journée s'est déroulée à Tours le 19 mars 2013. Particularité locale présentée : Visite du dispositif Alterpro et focus sur un site particulier (situation d'échec au piégeage par exemple).
- ◆ Pour la partie Sud du réseau, la deuxième journée s'est organisée à Aix en Provence, à la Maison de la Sainte Victoire, le 21 mars 2013. Particularité locale présentée : Visite d'un dispositif expérimental INRA de biocontrôle de la Processionnaire du Pin en favorisant la nidification des mésanges (Réserve Naturelle de la Sainte Victoire).

Ces journées ont été, d'une manière générale, très positives et constructives, grâce notamment aux échanges et aux débats engagés. Beaucoup de questions ont été posées par les partenaires, ce qui montre un fort intérêt pour la thématique et un désir de trouver des solutions efficaces et respectueuses de l'environnement dans cette lutte contre la Processionnaire du Pin.

5. La Journée Technique Nationale sur la Processionnaire du Pin

Une Journée Technique Nationale « Processionnaire du Pin » a été organisée le 7 juin à Lyon. Cette Journée était ouverte aux gestionnaires (tous confondus), aux partenaires ALTERPRO, aux chercheurs, aux Instituts Techniques et aux firmes concernés par la problématique de biocontrôle. L'objectif de cette Journée était de réunir les « acteurs » concernés par la Processionnaire du Pin, de présenter la situation en France (DSF), l'évolution géographique (INRA Orléans), et enfin de présenter les différentes techniques de biocontrôle. Un vétérinaire qui a eu une fonction au sein de la municipalité sur la thématique santé publique a aussi été invité pour présenter une synthèse des plaintes liées à cet insecte. Des tables rondes ont été organisées ainsi que des stands tenus par les firmes (visite des dispositifs Processionnaires du Pin dans le Parc de la Tête d'Or). De la même manière, cette Journée Technique a été très positive et constructive, avec des échanges fructueux et des débats sur la lutte contre la Processionnaire du Pin.

6. Communication auprès des professionnels des espaces verts

✓ Articles dans des revues spécialisées



BRINQUIN A.-S., MARTIN J.-C., GUTLEBEN C., LAILLE P. (2013)
Processionnaire du pin, les pratiques des communes.
Phytoma La Santé des Végétaux, **665**, 18-22.



MARTIN J.-C., MAZET R., CORREARD M., BRINQUIN A. S., MOREL E., JEAN F. (2013)
Processionnaire du pin, l'INRA a invité le biocontrôle au SIA 2013.
Phytoma La Santé des Végétaux, **662**, 36-39.



MARTIN J.-C., BRINQUIN A.-S. (2013)
Des alternatives au traitement chimique – L'exemple de la processionnaire du pin.
Phytoma Document synthèse 16 pp.
Document diffusé par Phytoma en 2013 à 8000 exemplaires au tarif de 1.44 €



MARTIN J.-C., BRINQUIN A.-S. (2013)
Gérer autrement la processionnaire du pin. *Phytoma Edition spéciale CG13* 16 pp.
Document offert par le CG13, édition 5000 exemplaires

✓ Interventions orales lors de journées techniques ou colloques

3^{ème} Conférence sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles, les 15, 16 et 17 octobre 2013 à Toulouse :

MARTIN J.-C., BRINQUIN A.-S., CHAMBRAS M., JEAN F., MAZET R.,
CORREARD M., PRINGARBE M., THEVENET J., MOREL E. (2013)
La processionnaire du pin : des exemples de gestion utilisant les
techniques de biocontrôle.



MOREL E., BONNET C., BRINQUIN A.-S., COLOMBEL E., CORREARD M., GILG O., JEAN F., MAZET R., PRINGARBE M., REI F., TABONE E., THEVENET J., MARTIN J.-C. (2013)

Biocontrôle en forêt : gestion du risque processionnaire du pin.



Journée Technique « Gestion de la processionnaire du pin », le 7 juin 2013 à Lyon :

BRINQUIN A.-S., MARTIN J.-C. (2013)

Enquête sur les pratiques de lutte contre la processionnaire du pin mises en œuvre en zones non agricoles.



Journées du Réseau Alterpro, les 19 et 21 mars 2013 à Tours et Aix-en-Provence :

BRINQUIN A.-S., MARTIN J.-C., GUTLEBEN C. (2013)

Avancées et premiers résultats du programme Alterpro.



✓ Flyers destinés à la formation

A chaque période du cycle de la processionnaire du pin, une solution de biocontrôle adaptée : une condition d'efficacité

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Cycle												
Piégeage des chenilles												
Piégeage des papillons mâles												
Lutte biologique en favorisant la nidification des mésanges												
Lutte Microbiologique (<i>Bacillus thuringiensis</i>)												

La combinaison des techniques permet de réduire le risque



Contact : Jean-claude.martin@paca.inra.fr

Unité expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne
Centre de recherche PACA



✓ Formations

- ◆ Conférence Journées Techniques CS3D à Saint-Malo en septembre 2013



**Connaître et gérer la processionnaire du pin
tout en préservant l'environnement**

 **INRA**
SCIENCE & IMPACT

Jean-Claude MARTIN - INRA
Unité expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne
Centre de recherche PACA

 Académie
Biocontrôle
Production
Biologique
Intégrée

 cs3d

La processionnaire du pin – Jean-Claude Martin
INRA UEFM Journées Techniques CS3D Saint Malo

 **ÉCOPHYTO**
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

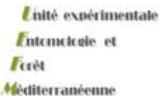
- ◆ Gestionnaires forestiers à Séville (SP) le 13 novembre 2013

**JORNADA TÉCNICA
MÉTODOS DE CONTROL BIOTECNOLÓGICOS CONTRA PLAGAS FORESTALES
Sevilla. 13/11/2013.**

Métodos de lucha contra *Lymantria dispar* y *Thaumetopoea pityocampa*



Jean-Claude MARTIN
INRA AVIGNON

 Unité expérimentale
Entomologie et
Forêt
Méditerranéenne

 **Plante&Cité**
Ingénierie de la nature en ville
Center for landscape and urban horticulture

 **INRA**
SCIENCE & IMPACT

 **ÉCOPHYTO**
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

◆ Conférence Green Expo du 26 au 28 novembre 2013

GREEN EXPO

INRA
SCIENCE & IMPACT

LE SALON DES TERRAINS DE SPORTS ET DES ESPACES VERTS
26-28 NOVEMBRE 2013 PARC FLORAL DE PARIS

*Des solutions de biocontrôle pour lutter contre la processionnaire du pin.
Cas des sites destinés à l'accueil du public*

Académie
Biocontrôle
Protection
Biologique
Intégrée

Académie du Biocontrôle et de la Protection Biologique Intégrée

Jean-Claude MARTIN - INRA
Unité expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne
Centre de recherche PACA

ÉCOPHYTO
RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

Perspectives 2014

- Développement d'une application sur la processionnaire du pin

« **AGIIR : Aide à la décision processionnaire du pin et science participative d'un clic sur votre smartphone** »

Une application nomade Android et iPhone est en cours de développement sur la processionnaire du pin en collaboration avec l'UMR Santé et Agroécologie du Vignoble de l'INRA de Bordeaux. Il s'agit de l'application « **AGIIR** » (**A**lertier – **G**érer les **I**nsectes **I**nvasifs et/ou **R**avageurs).



Cette application est dédiée aux insectes introduits ou espèces invasives ayant des répercussions fortes (ou susceptibles d'en avoir) sur la santé des végétaux, sur la santé publique, ou encore sur leurs proies ou leurs hôtes. A ce jour, l'application *Thaumetopoea pityocampa* est en cours de construction. D'autres espèces vont y être rajoutées, notamment *Lymantria dispar* (bombyx disparate), *Thaumetopoea processionea* (processionnaire du chêne), *Paysandisia archon* (papillon palmivore), *Cydalima perspectalis* (pyrale du buis).

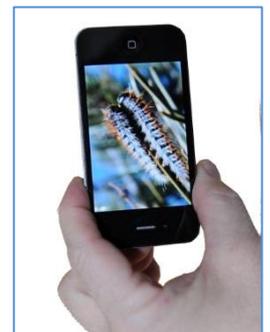




Figure 13 : Application smartphone AGIIR.

Cette application a un double enjeu. En effet, elle permet tout d'abord de transmettre au public un certain nombre d'informations sur la processionnaire du pin afin de mieux la faire connaître (sa biologie, son cycle par région, ses ennemis naturels, son aire de présence, les risques et bon gestes à avoir lorsqu'on se trouve en sa présence, les fiches techniques de lutte) (Figure 13). Par le biais d'un outil d'aide à la reconnaissance par l'image, cette application devient **une aide à la décision en termes de gestion** en fonction du stade de développement observé et en fonction de la saison. **Ensuite, l'application AGIIR permet au public de signaler et déclarer à tout moment sur le terrain la présence de la processionnaire du pin** en un lieu géoréférencé, en remplissant un questionnaire succinct et en réalisant des photos associées. Ce deuxième enjeu est très important car il viendra compléter le travail de l'INRA d'Orléans sur l'expansion de l'aire de répartition de ce ravageur et permettra à l'INRA-UEFM de valider ou corriger l'outil d'aide et de l'adapter à chaque situation climatique pour la gestion de la processionnaire du pin.

L'application sera téléchargeable gratuitement sur Apple Store et Google Play.

- **Intégration de l'outil processionnaire du pin dans la plateforme Ephytia**

Les données saisies pour l'application nomade sont également en cours d'intégration dans la plateforme Ephytia de santé des plantes développée par l'INRA, UMR Santé et Agroécologie du Vignoble de l'INRA de Bordeaux <http://ephytia.inra.fr/>



L'outil d'aide à la décision sera ainsi mis à la disposition des personnes ne possédant pas de smartphone, leur permettant ainsi d'optimiser la lutte contre la processionnaire du pin en utilisant les stratégies développées par le projet Alterpro. Elles pourront bénéficier des mises à jour liées aux informations de sciences participatives reçues par l'application nomade.

- **Autres actions :**

- Poursuivre la mise en œuvre et l'exploitation des observations sur les sites expérimentaux. Les dernières observations seront réalisées au début du printemps 2014, en fonction du cycle biologique de la processionnaire du pin.
- Faire la synthèse des résultats des 3 dernières années pour dégager un ensemble de préconisations sur les stratégies alternatives à mettre en place pour le contrôle de la processionnaire du pin.

- Animer le réseau d'expérimentations.
- Etude de faisabilité d'un contrôle de la processionnaire du pin par des méthodes de confusion sexuelle au sein des espaces verts.
- Expérimenter le couple le plus performant « piège-diffuseur de phéromone » comme technique de régulation en milieu urbain (suite aux résultats récents obtenus en été 2013 par un diffuseur de phéromone).
- Initier une étude sur la recherche d'hôtes de substitutions pour l'élevage de parasitoïdes oophages de la processionnaire du pin afin de développer à terme la lutte biologique.
- Travailler à l'étude de faisabilité d'un transfert des connaissances des techniques de piégeage en milieu urbain au modèle « Processionnaire du chêne » à l'origine de problématiques sanitaires majeures au sein des espaces publics.
- Elaboration d'un guide technique destiné aux gestionnaires.

PARTIE II

TESTS PIEGES ET TESTS PHEROMONES

Objectifs

Cette étude va permettre de :

- ⇒ **Tester 6 types ou modalités de pièges à phéromones, dont 3 prototypes innovants**, afin de noter leur efficacité par rapport au piège de référence : Mastrap L.
- ⇒ **Tester 9 types de phéromones de synthèse** afin de noter leur efficacité par rapport à la phéromone de référence : Biobest S.
- ⇒ **Valider les résultats obtenus en 2011, 2012 et 2013** pour les pièges et phéromones de synthèse testés ces années-là.

Matériel et Méthode

1. Lieux d'implantation des dispositifs : Carro et le Mont Ventoux

Deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place sur deux sites différents : **Carro et le Mont Ventoux**.

Le premier site appartient à la commune de Martigues et se situe à proximité des côtes de la Mer Méditerranée, plus précisément aux environs du port de pêche de Carro (Figure 1). Il s'agit d'une zone forestière, d'une surface de 1,87 km², gérée par le Service Environnement de la municipalité, et composée essentiellement de pins d'Alep, de chênes kermès et de chênes verts. Les pins peuvent atteindre des hauteurs de 4 à 5 mètres. Par contre, ce site est exposé au risque incendie (période rouge = interdiction de rester après 11h sur le site / période noire = interdiction de pénétrer sur le site).

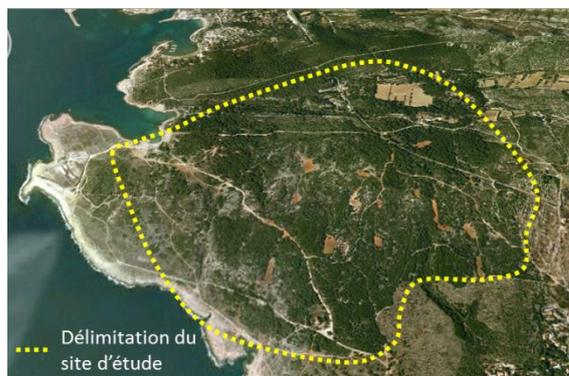


Figure 1 : Délimitation du site d'étude de Carro.



Figure 2 : Le Mont Ventoux.

Le deuxième site se trouve sur le Mont Ventoux, du côté de Malaucène, intercalé entre les zones d'essai Genophéno pp, en bordure de route (Figure 2). Ce site, géré par l'ONF, constitue un site atelier en milieu naturel pour l'équipe de l'UEFM. Il est composé essentiellement de pins, chênes et cèdres. Ce site n'est pas exposé aux restrictions d'accès pour risque incendie.

Ces deux sites ont été choisis car l'UEFM possède déjà des données de dénombrement de nids d'hiver pp de plusieurs années consécutives.

2. Matériel utilisé et contraintes particulières

Sur le site de Carro, le test « piège » nécessite la pose de 60 pièges, 6 pièges différents étant testés avec 10 répétitions pour chacun (Figure 3). Les pièges de type « Procerex 20 », « Procerex 30 » et « Pièges S » sont des prototypes créés par Protecta en partenariat avec l'UEFM. La phéromone utilisée comme référence est la phéromone Biobest S.

	Pièges testés	Adjonction	Nb	Phéromone Réf.	Nb
1	Procerex®	Eau + huile	10	Biobest S	10
2	Procerex 20	/	10	Biobest S	10
3	Procerex 30	/	10	Biobest S	10
4	Trampa G®	/	10	Biobest S	10
5	Piège S	/	10	Biobest S	10
6	Mastrap L®	/	10	Biobest S	10

Figure 3 : Les 6 types de pièges testés à Carro.

Les pièges « Procerex 20 » et « Procerex 30 » sont des pièges de type Procerex® auxquels il faut rajouter des embouts coniques à encocher sur la face inférieure des socles, à l'intérieur des seaux.

Ces embouts présentent une ouverture soit de 20mm, soit de 30mm de diamètre, censée permettre l'entrée des papillons dans les seaux tout en les empêchant de ressortir (Figure 4). Ces pièges ne nécessitent donc pas l'ajout d'eau ni d'huile dans leur seau.

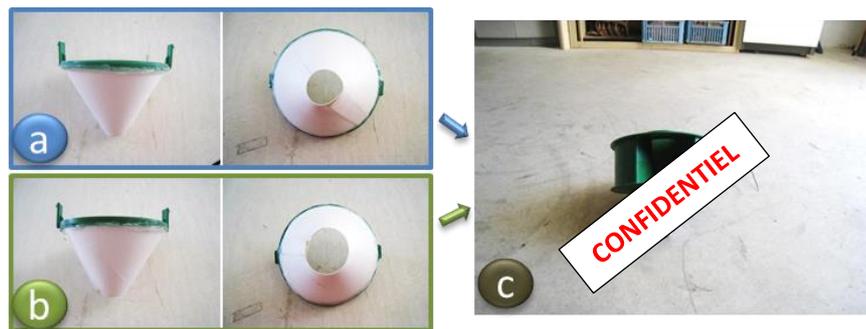


Figure 4 : Embouts de 20mm de diamètre (a) et de 30mm de diamètre (b) à placer à l'intérieur des pièges Procerex®, pour créer les modalités « Procerex 20 » et « Procerex 30 » (c).



Le « Piège S » est un prototype innovant UEFM. Sur les 10 pièges installés, 5 possèdent un grillage au fond du seau permettant la diffusion de la phéromone vers l'extérieur du piège, et 5 n'en ont pas (Figure 5). Ces 2 types de modalités s'alternent le long du parcours.

Figure 5 : Les 2 modalités du « Piège S » : avec ou sans grillage sur le fond du seau.

De la même manière, à Carro, le test « phéromones » nécessite la pose de 60 pièges, 6 phéromones différentes étant testées avec 10 répétitions pour chacune (Figure 6). Le piège utilisé comme référence est le Mastrap L®. La modalité n°6 de la figure 3 étant une répétition de la modalité n°1 de

la figure 6, elle n'a pas été prise en compte dans le dispositif, afin d'alléger l'expérimentation de 10 pièges à installer.

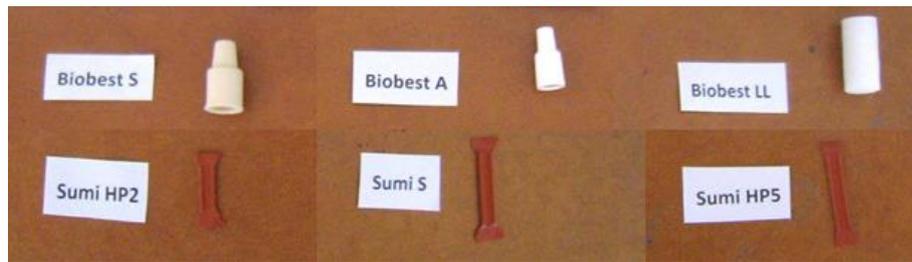


Figure 6 : Les 6 types de phéromone testés à Carro.

Au total, 110 pièges ont été posés sur le site d'étude de Carro, espacés les uns des autres de 50 mètres environ (Annexe 2). Afin de limiter l'effet de l'influence des pièges voisins sur les résultats, ainsi que l'effet de l'environnement géographique, les pièges sont disposés suivant 10 séries successives, chaque série comprenant les 11 modalités testées distribuées aléatoirement.

Sur le site du Mont Ventoux, le pré-test « phéromones » nécessite la pose de 40 pièges, 3 phéromones différentes étant testées en comparaison avec la phéromone de référence Biobest S, avec 10 répétitions pour chacune (Figure 7). Le piège utilisé comme référence est le Mastrap L[®]. Les résultats obtenus nous permettront de décider ou non de l'intégration de ces trois nouvelles phéromones dans le dispositif de test pièges et phéromones de 2014.

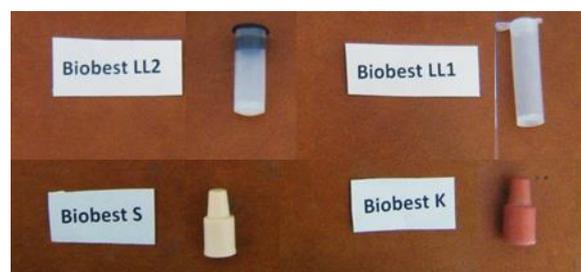


Figure 7 : Les 4 types de phéromone testés sur le Mont Ventoux.

Au total, 40 pièges ont été posés au Mont Ventoux, espacés les uns des autres de 50 mètres environ (Annexe 3). Cette installation prend en compte l'emplacement des pièges entonnoirs à ailettes de l'essai Genophéno pp, afin de limiter les interactions entre ces deux dispositifs. Les pièges Mastrap L[®] seront disposés suivant 10 séries successives, chaque série comprenant les 4 modalités testées distribuées suivant le même ordre.

3. Déroulement de la mission

La pose du dispositif expérimental s'est déroulée en deux phases sur le site de Carro. Dans un premier temps, tous les pièges ont été installés les 2, 3 et 4 juillet 2013, à l'exception du prototype « Piège S » qui a été au préalable testé sur le Mont Ventoux pour valider les captures de papillons de processionnaires du pin. Les grillages anti-chiroptères des pièges Mastrap L n'ont pas été installés non plus, et les seaux des pièges Procerex[®] n'ont pas été remplis d'eau et d'huile lors de cette phase. Par contre, la glu a été mise en place sur toutes les branches qui accueillent les pièges, afin de limiter

les risques de prédation par les fourmis et les mille-pattes à l'intérieur des pièges. De même, les branches pouvant gêner les pièges ont été dégagées à l'aide d'un sécateur.

Ensuite, dans un second temps, les phéromones ont été intégrées dans les pièges le 18 juillet 2013, et le prototype « Piège S » a été installé. Le décalage entre ces deux phases s'explique par le retard de la réception d'une grande majorité de phéromones à tester, tout en étant encore largement en amont de la période de vol des adultes.

La pose du dispositif expérimental sur le Mont Ventoux a été réalisée le 16 juillet 2013. De la même manière, l'acquisition d'un deuxième site expérimental s'explique par la demande inopinée d'une firme de tester 3 phéromones supplémentaires. Sur ce site, le vol des adultes avait déjà commencé à cette date.

Les relevés ont été effectués toutes les semaines sur 3 mois (les mercredis pour le Mont Ventoux, en même temps que les relevés des pièges pour l'essai Genophéno pp, et les jeudis pour Carro). Seuls des pièges « Procerex® + eau » n'ont été relevés que lors du démontage. En effet, ces pièges nécessitent, pour optimiser leur efficacité, de contenir de l'eau et de l'huile, évitant ainsi la réalisation de relevés hebdomadaires. Lors des relevés, l'état général et le complément des niveaux d'eau et d'huile ont été effectués. Enfin, s'il manque une capsule à phéromone dans un piège, celle-ci est changée dans la foulée et une remarque est notifiée sur le cahier de laboratoire.

Les démontages des dispositifs se sont déroulés respectivement le 3 octobre et le 9 octobre pour les sites de Carro et du Mont Ventoux.

Résultats et discussion

1. Dispositif de Carro

Les relevés ont été effectués toutes les semaines du 25 juillet 2013 au 3 octobre 2013. Au total, 11 relevés ont été réalisés.

a. Résultats globaux :

D'une manière générale, 1756 papillons ont été piégés par les 110 pièges à phéromone disposés sur le site d'étude, tout le long de la saison. Pour rappel, en 2012, 1538 papillons au total avaient été piégés par les 170 pièges installés, et 4286 papillons avaient été capturés par les 180 pièges disposés sur le même site en 2011.

Le nombre moyen de papillons piégés pour chacun des pièges installés a évolué depuis 2011 et 2012, comme nous le montre la figure 8. En effet, nous

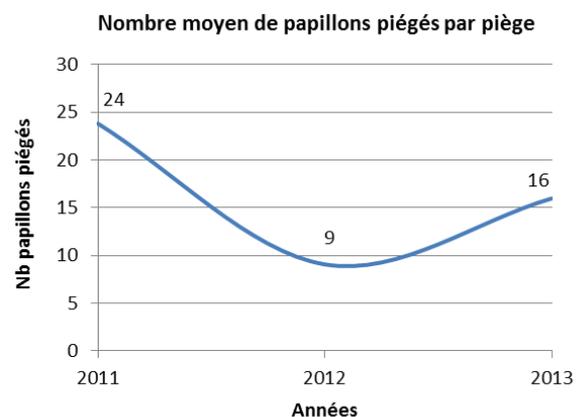
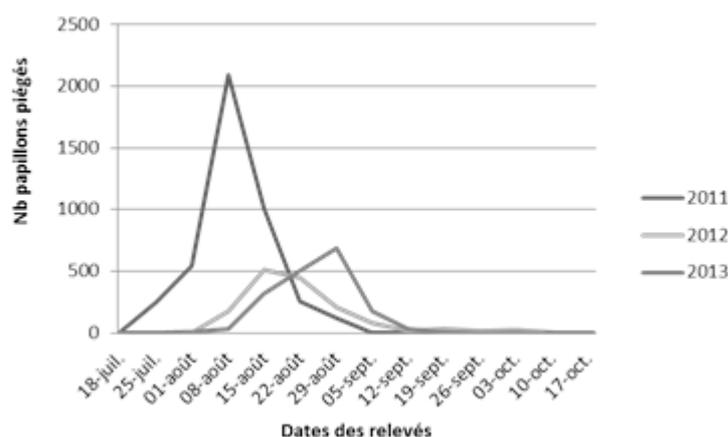


Figure 8 : Nombre moyen de papillons piégés pour chacun des pièges installés sur le site de Carro en 2011, 2012 et 2013.

avons déjà constaté une diminution de la population de processionnaires du pin sur le site de Carro entre 2011 et 2012. Or, cette année, nous observons une légère augmentation du nombre de papillons piégés par rapport à 2012.

De plus, la saison de vol des papillons a débuté cette année plus tardivement qu'en 2012 et qu'en 2011, comme nous le montre la figure 9. En effet, les papillons n'ont été piégés en masse qu'à partir du 15 août, le vol étant resté concentré par la suite sur seulement 4 semaines consécutives, avec un pic le 29 août. Or, en 2011, le vol des papillons avait commencé le 25 juillet et s'était terminé le 5 septembre, avec un pic recensé vers le 8 août. Nous constatons donc un décalage dans le temps du vol des papillons, d'une semaine environ par rapport à 2012 et de trois semaines environ par rapport à 2011.

Figure 9 : Correspondance entre les courbes de vol de 2011, 2012 et 2013



Toutes ces données confirment le rôle du climat et des auxiliaires dans la phénologie et la dynamique des populations de la processionnaire du pin. En effet, elle ne se comporte pas de la même manière d'une année sur l'autre, avec des fluctuations plus ou moins importantes des niveaux de populations et des périodes de vol des papillons. Les différences peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, comme notamment l'activité plus ou moins soutenue des ennemis naturels de la Processionnaire du Pin à chaque stade de son développement, et/ou le climat plus ou moins défavorable qui peut être responsable d'une augmentation de la mortalité de manière directe par le gel ou la sécheresse, ou de manière indirecte par la diminution de la quantité et de la qualité de la nourriture. La mise en diapause prolongée naturelle des nymphes de Processionnaires du Pin (de 2 à 5 ans) est une stratégie naturelle mise en place lorsque les conditions deviennent défavorables. Ceci peut expliquer les années de forte pullulation, où les papillons de générations différentes émergent en même temps, suivies par des années de plus faible niveau populationnel.

Le décalage dans le temps du vol des papillons entre 2011, 2012 et 2013 peut éventuellement s'expliquer par les différences de températures entre ces années. En effet, il a été montré que les fluctuations de températures au cours de l'année peuvent influencer sur le cycle de développement de la Processionnaire du Pin. Notamment, les températures hivernales trop froides peuvent prolonger la phase larvaire des lépidoptères et ainsi décaler la phase souterraine dans le temps puis l'émergence des adultes. De même, au cours de l'été, le seuil d'activation de l'émergence et du vol des adultes femelles est atteint lorsque la température dépasse 14°C durant la nuit.

Ainsi, les données climatiques recueillies par la station météo de Salon de Provence (données obtenues sur l'interface climatologique CLIMATIK), qui se trouve être la station la plus proche de Martigues où les données de températures ont été relevées quotidiennement pour les périodes qui

nous intéressent, nous montrent que l'hiver 2013 a été particulièrement froid. Les mois de janvier et février ont eu une température moyenne de 5°C, et des températures minimales inférieures à 0°C durant 29 jours, ce qui limite la capacité de survie des chenilles et le départ en procession des colonies. Or, plus la température moyenne diminue, plus le développement larvaire est long. Par ailleurs, le manque de soleil combiné au manque de chaleur durant le printemps a eu pour effet de retarder la date d'émergence des papillons puisqu'ils n'ont pas pu accumuler le nombre de degrés et une durée de photopériode nécessaires à leur émergence. Du fait de ces conditions climatiques, beaucoup de processionnaires du pin ont pu rester en diapause, ce qui peut ainsi expliquer le faible nombre de papillons capturés cette année.

Afin d'approfondir cette analyse climatique sur le comportement des processionnaires du pin sur le site de Carro, nous avons décidé de mettre en parallèle les fluctuations de températures de nos trois années d'études. Ainsi, les figures 10, 11 et 12 présentent les écarts de températures moyennes journalières respectivement entre 2012 et 2013, entre 2011 et 2013 et entre 2011 et 2012, relevées sur la station météo de Salon de Provence.

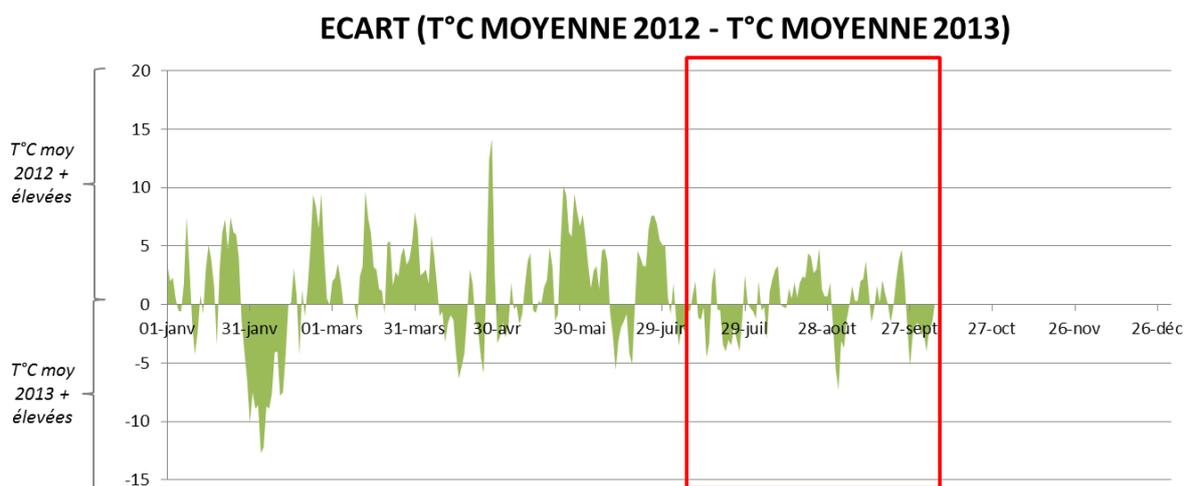


Figure 10 : Ecart des températures moyennes journalières entre 2012 et 2013 relevées sur la station météo de Salon de Provence (données CLIMATIK). L'encadré rouge représente la période de piégeage.

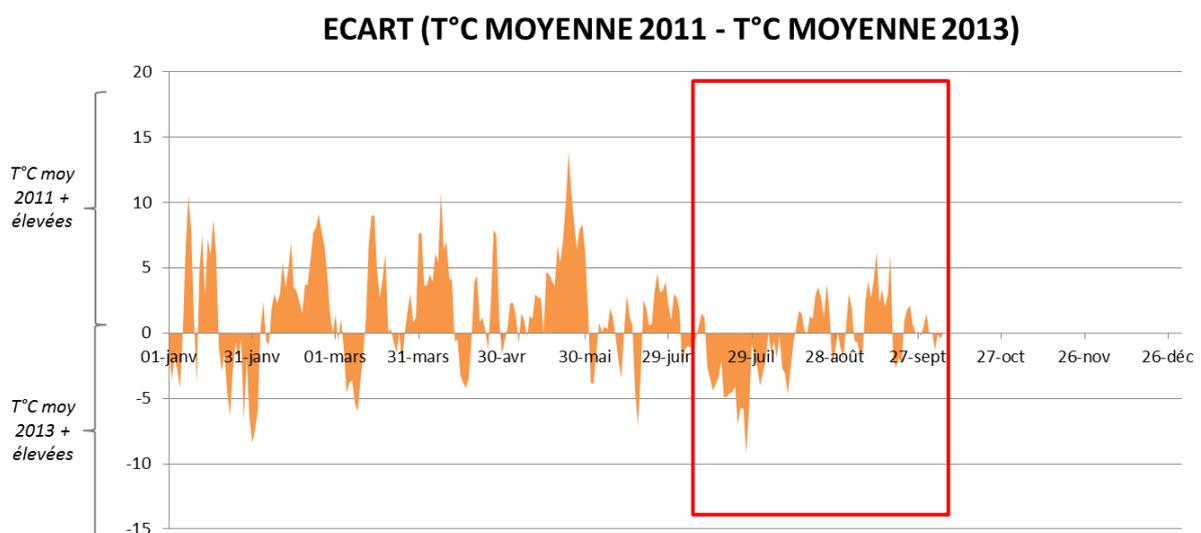


Figure 11 : Ecart des températures moyennes journalières entre 2011 et 2013 relevées sur la station météo de Salon de Provence (données CLIMATIK). L'encadré rouge représente la période de piégeage.

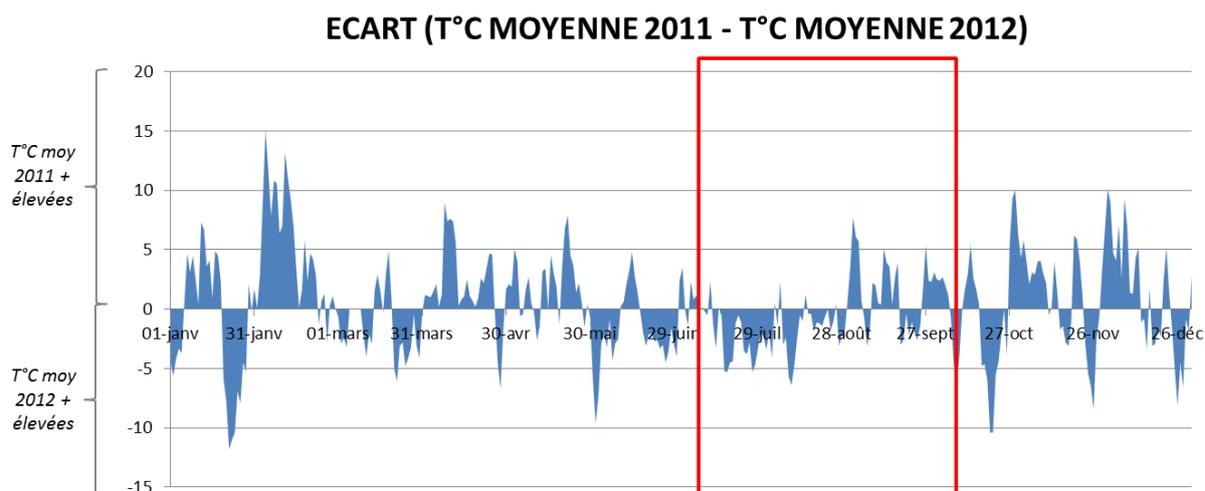


Figure 12 : Ecarts des températures moyennes journalières entre 2011 et 2012 relevées sur la station météo de Salon de Provence (données CLIMATIK). L'encadré rouge représente la période de piégeage.

D'une manière générale, les trois graphiques nous permettent d'observer certaines tendances d'écarts de températures entre les différentes années d'expérimentation. En effet, les températures moyennes journalières de 2012 semblent plus élevées que celles de 2013 aux mêmes périodes (Figure 10). L'hiver 2012 a cependant été beaucoup plus rigoureux avec des températures de 1°C à 13°C plus froides durant tout le mois de février. De même, les températures moyennes journalières de 2011 semblent plus élevées que celles de 2013 aux mêmes périodes (Figure 11). Cependant, nous remarquons que l'été 2013 a été plus chaud notamment au mois de juillet et durant la première partie du mois d'août. Enfin, la figure 12 nous permet de constater que l'hiver a été beaucoup plus rigoureux en 2012 qu'en 2011 avec des températures de 1°C à 15°C plus froides durant tout le mois de février, et que l'été a été globalement plus chaud de 1°C à 6°C en 2012, de mi-juin à début septembre.

En cumulant les températures moyennes journalières pour chacune de ces trois années, du 1^{er} janvier au 5 octobre (date du dernier relevé météorologique de 2013), nous constatons que l'année 2011 a été la plus chaude (4498,06°C cumulés) et l'année 2013 la plus froide (4218,66°C cumulés) [pour information, 4439,29°C cumulés pour l'année 2012]. Ces tendances ne peuvent toutefois pas expliquer le décalage dans le temps des émergences de papillons entre les années 2011, 2012 et 2013.

En se focalisant plus spécifiquement sur la période expérimentale, c'est-à-dire du 3 juillet au 5 octobre des années 2011, 2012 et 2013 (Figure 13), nous observons des fluctuations de températures moyennes plus ou moins importantes aux mêmes dates, pouvant aller à près de 10°C de différence.

Températures moyennes durant le vol des papillons (années 2011 - 2012 - 2013)

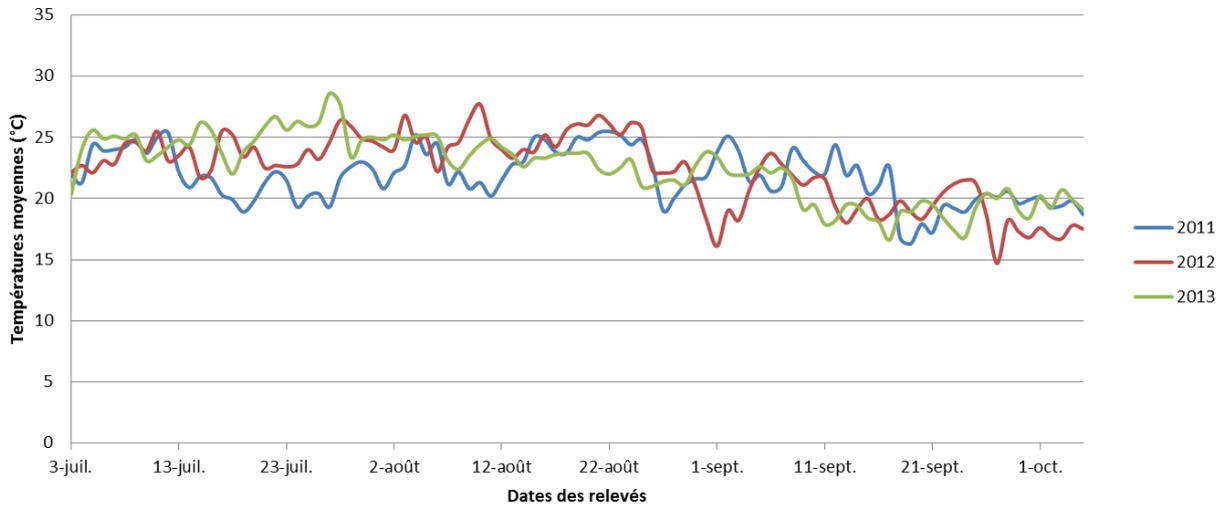


Figure 13 : Températures moyennes journalières relevées les années 2011, 2012 et 2013 durant la période de piégeage.

En laissant de côté les données météorologiques, nous pouvons affirmer, grâce à la figure 14, que les résultats de piégeage obtenus par les tests phéromones, utilisant le piège Mastrap L comme piège de référence, sont inférieurs à ceux obtenus par les tests pièges, utilisant la phéromone Biobest S comme phéromone de référence.

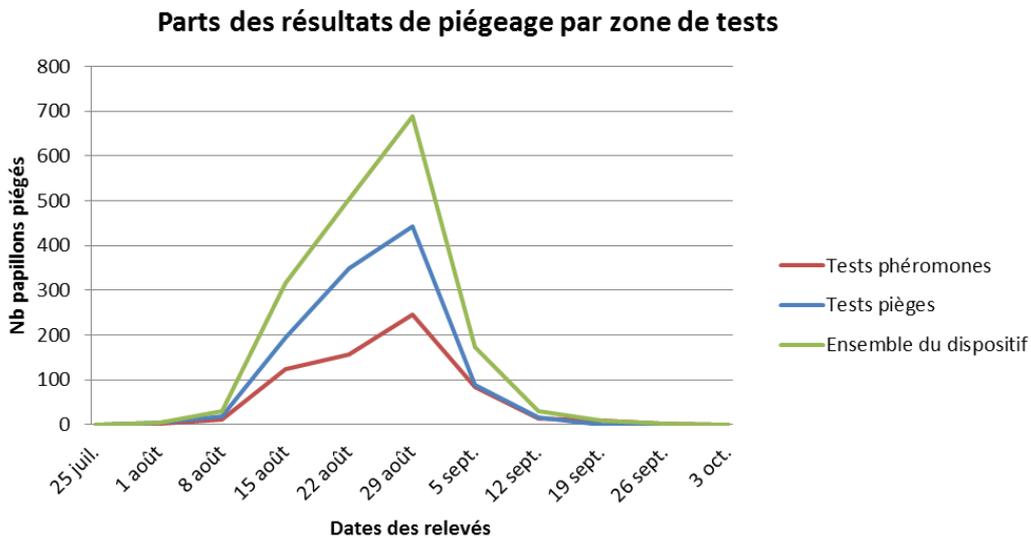


Figure 14 : Parts des résultats de piégeage par zone de tests.

Il est toutefois important de noter que sur le site de Carro, plusieurs pièges ont été vandalisés durant l'expérimentation, ce qui a eu pour conséquence d'influer sur les manques de résultats de certains pièges. Cependant, malgré ces désagréments, la figure 15 présente les résultats d'efficacité de piégeage de chaque modalité avec une nette performance de la modalité « Procerex + eau » avec 845 mâles capturés par rapport aux autres. Ces résultats seront analysés dans les parties suivantes de ce rapport.

Total des papillons piégés par modalité

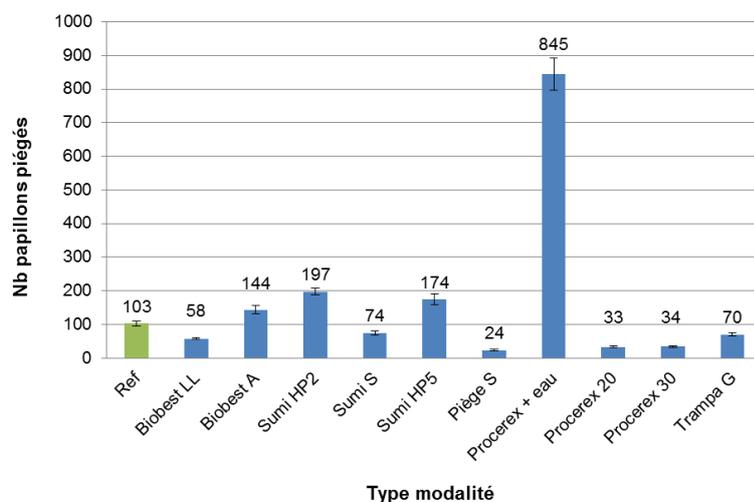


Figure 15 : Total des papillons piégés par modalité au cours de la saison de vol des papillons de processionnaires du pin.

La figure 16 présente le nombre total de papillons piégés sur toute la saison de vol, pour chaque piège.

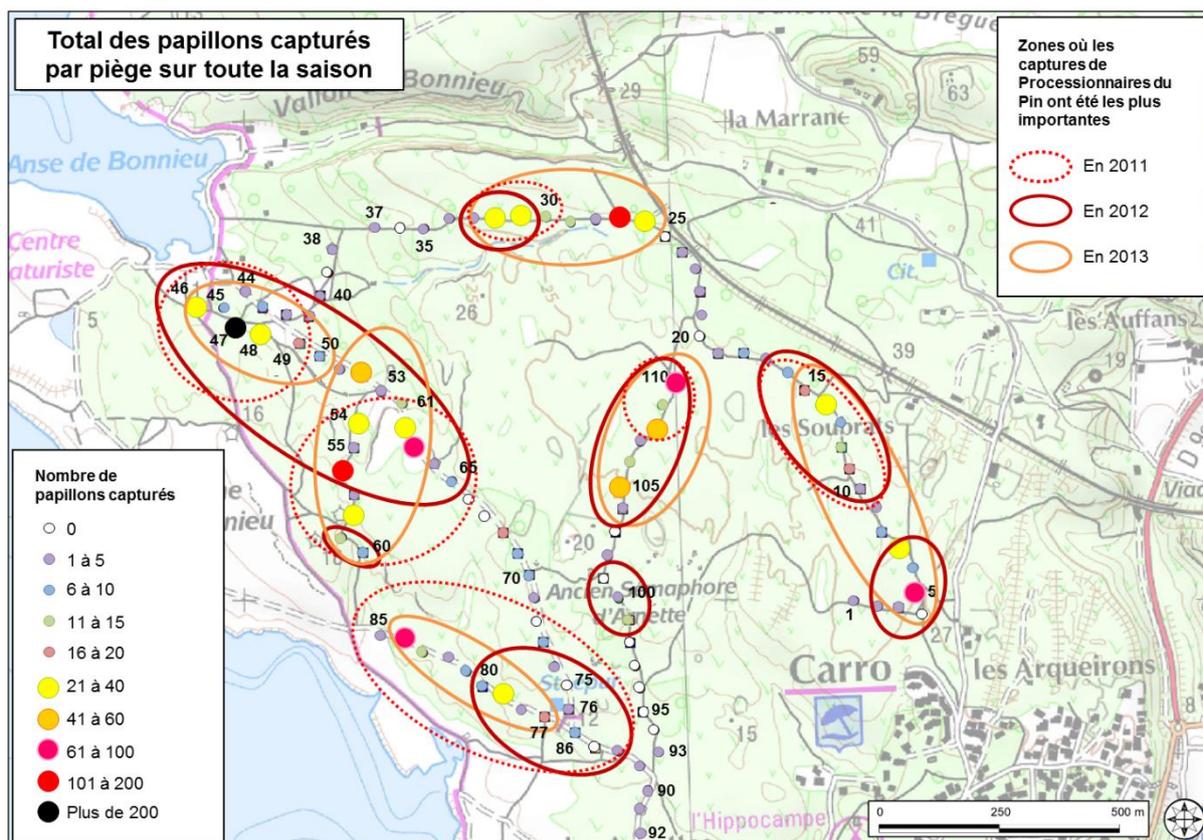


Figure 16 : Total des papillons piégés pour chacun des pièges installés sur la zone expérimentale.

Comme en 2011 et en 2012, nous constatons, grâce à la figure 16, que l'emplacement géographique des pièges sur le site expérimental a un effet sur le piégeage des papillons. En effet, certaines zones se démarquent avec des résultats de piégeage beaucoup plus importants (cercles oranges), et

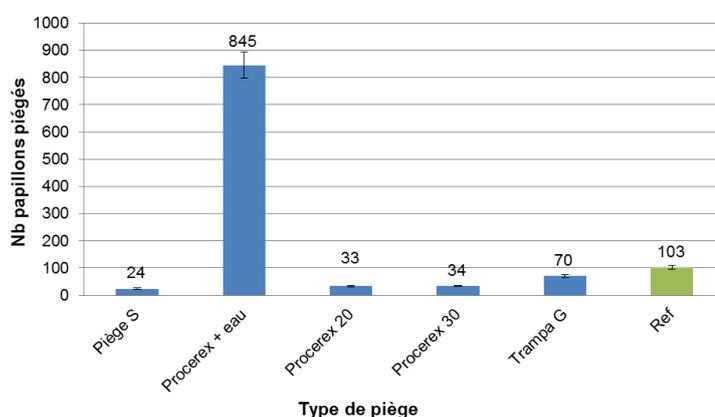
correspondent plus ou moins aux mêmes zones que celles définies en 2011 (cercles rouges pointillés) et en 2012 (cercles rouges foncés). Nous remarquons que les zones où le piégeage est le plus efficace correspondent aux zones les plus dégagées, où la végétation est moins haute et où le vent circule plus facilement. Toutefois, le protocole mis en place tend à limiter l'effet de l'environnement géographique grâce aux séries de répétitions des 11 modalités tout au long du parcours.

b. Comparaison de l'efficacité des pièges à phéromone sur la Processionnaire du Pin :

Les résultats obtenus montrent une forte efficacité du piège Procerex® auquel nous avons rajouté de l'eau et de l'huile (845 papillons) (Figure 17). En mettant en parallèle les résultats de piégeage des pièges Procerex auxquels nous avons ajouté des embouts coniques sur la face inférieure des socles, à l'intérieur des seaux (67 papillons au total), nous constatons que l'efficacité de ces pièges tient essentiellement à l'ajout d'eau et d'huile qui empêchent les papillons de ressortir.

Contrairement à 2011 et 2012, les pièges Trampa G ne sont pas les pièges les plus efficaces « sans eau », avec un total de 70 papillons piégés durant la période de vol des papillons. En effet, les pièges Mastrap L (référence) ont obtenu de meilleurs résultats de piégeage avec 103 papillons capturés. Le prototype « Piège S » mis en place cette année n'a pas non plus obtenu de résultats satisfaisants.

Figure 17 : Total des papillons piégés par type de piège



Afin de conforter statistiquement ces premières conclusions, et de voir si ces différences de résultats obtenus entre les pièges ne sont pas le fruit du hasard, un test de variance (test de Bartlett) a été réalisé pour vérifier l'une des conditions d'emploi du test ANOVA. Avec une p-value inférieure à $2,2 \cdot 10^{-16}$ pour un $\alpha=5\%$, les variances ne sont pas considérées comme homogènes. Il devient donc difficile de réaliser un test ANOVA. Cependant, en l'associant au test de Tukey, nous arrivons tout de même à trouver des différences entre les pièges avec une p-value égale à $4,86 \cdot 10^{-7}$ et un $\alpha=5\%$ (Figure 18), conforté par le test de Kruskal & Wallis (p-value = 0,00051 ; $\alpha=5\%$). Le fait de trouver des différences entre les pièges bien que les variances soient non homogènes renforce la significativité de ce résultat. **Le test de Tukey permet de visualiser les groupes avec une démarcation nette du piège type « Procerex + eau » par rapport aux autres types de pièges.**

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Procerex+eau	84,500	A
Ref	10,300	B
TrampaG	7,000	B
Procerex30	3,400	B
Procerex20	3,300	B
Piège S	2,400	B

P-value < $4,86 \cdot 10^{-7}$

Figure 18 : Résultats du test ANOVA associé au test de Tukey concernant les tests pièges.

Afin de voir s'il existe des différences statistiques entre les pièges « sans eau », nous avons réalisé de nouveau des tests en retirant les résultats des pièges « Procerex + eau » des tableaux de données. Ainsi, nous avons réalisé un test de Bartlett sur ce jeu de données et avons obtenu une p-value inférieure à 0,0033 pour un $\alpha=5\%$. Les variances ne sont donc pas considérées comme homogènes. En réalisant un test ANOVA, puis un test de Kruskal & Wallis, nous obtenons respectivement, pour un $\alpha=5\%$, une p-value de 0,067 et 0,06. Ces résultats nous montrent qu'il n'existe pas de différence statistique d'efficacité de piégeage entre les pièges testés sans eau. Le test de Tukey permet de visualiser ces résultats (Figure 19).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Ref	10,300	A
TrampaG	7,000	A
Procerex30	3,400	A
Procerex20	3,300	A
Piège S	2,400	A

P-value = 0,067

Figure 19 : Résultats du test ANOVA associé au test de Tukey concernant les tests pièges sans « Procerex + eau ».

Afin de comparer les pièges « sans eau », le cumul des résultats de piégeage par type de piège est présenté dans la figure 20. Nous constatons que les pièges testés ne se sont pas comportés de la même manière tout au long de la saison de capture des papillons. En effet, les pièges Mastrap L et Trampa G ont commencé à capturer des papillons de manière plus précoce que les autres types de pièges. Les trois prototypes semblent se comporter à peu près de la même manière avec des courbes en parallèle, qui atteignent un plateau vers le 29 août. Il est intéressant de constater que les pièges « Procerex 30 » et « Procerex 20 » ont le même comportement avec des résultats de piégeage homogènes. Cela montre que les embouts ajoutés sur la face inférieure des socles n'ont pas eu d'impact sur le piégeage des papillons.

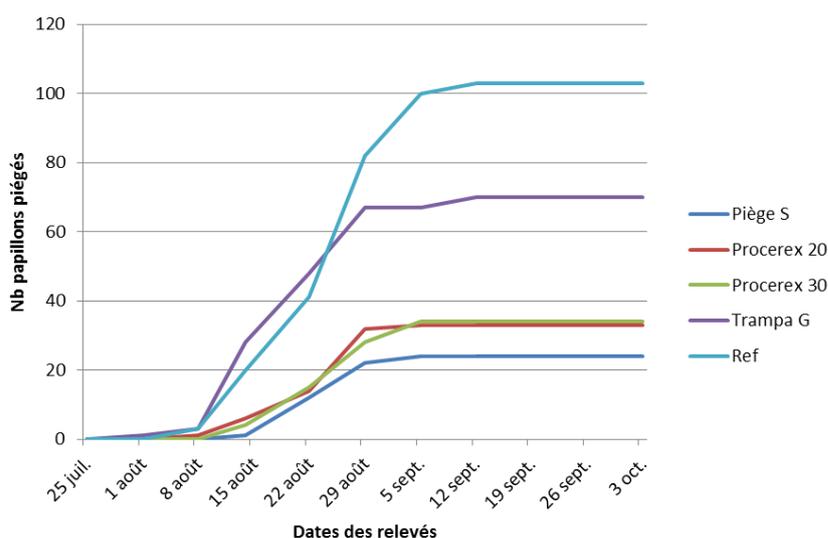
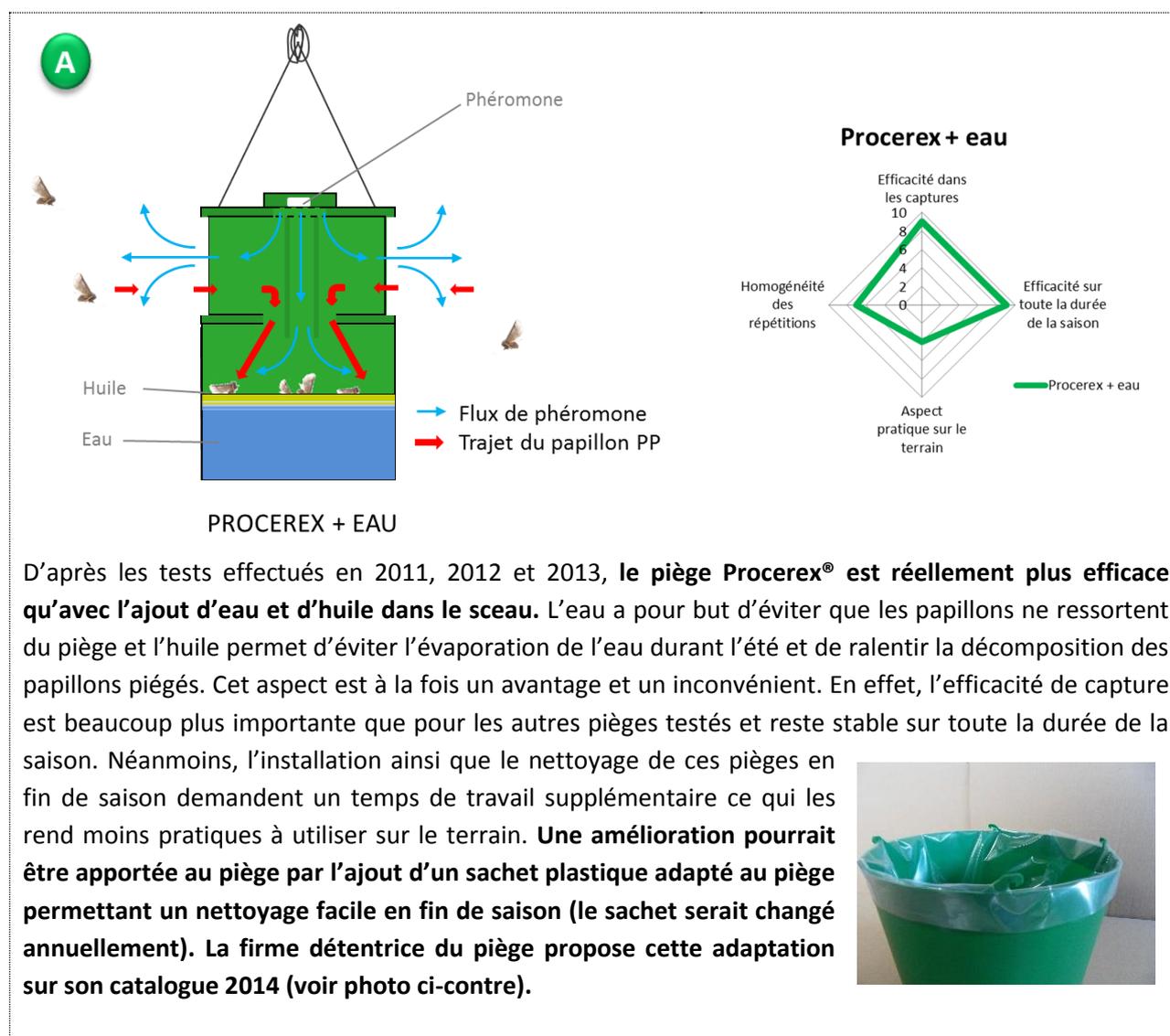
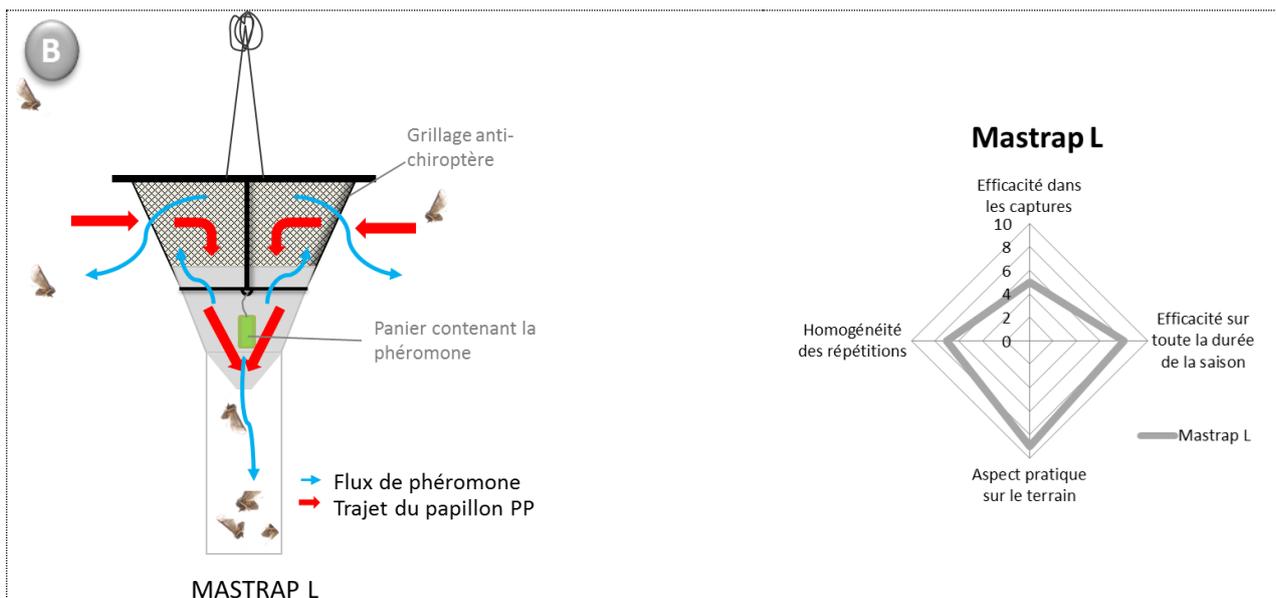


Figure 20 : Cumul des résultats de piégeage des différents types de pièges testés sur toute la saison 2013 (sauf « Procerex + eau »).

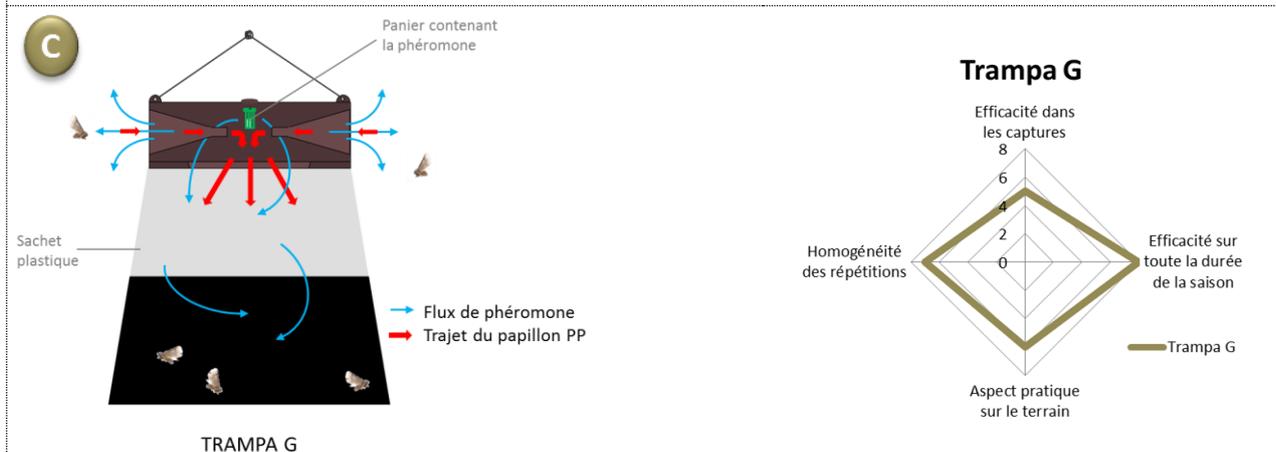
Toutefois, l'efficacité de piégeage n'est pas le seul critère de sélection à considérer dans le choix des pièges à mettre en place. Les trois années d'expérimentation sur le site de Carro nous ont permis de réaliser un premier bilan dans l'évaluation des pièges testés en considérant l'efficacité du piégeage durant toute la saison de vol des papillons (en termes de nombre total de papillons piégés, et de durée d'efficacité dans le temps), l'homogénéité des résultats par répétition, et l'aspect pratique d'utilisation selon le but d'emploi et l'endroit où sont disposés les pièges.

Les graphiques en radar ci-dessous présentent cette évaluation pour chaque piège. L'évaluation selon les critères « Efficacité dans les captures », « Efficacité sur toute la durée de la saison » et « Homogénéité des répétitions » est basée sur les différents résultats de piégeage obtenus. L'évaluation selon le critère « Aspect pratique sur le terrain » a été obtenue de manière plus subjective à partir des remarques des différents agents INRA ayant manipulé les pièges sur le terrain à Martigues, en milieu forestier. Cette partie peut donc être interprétée différemment suivant le but d'utilisation et le type de site où peuvent être mis en place les pièges (jardins privés, massifs forestiers, parcs...).

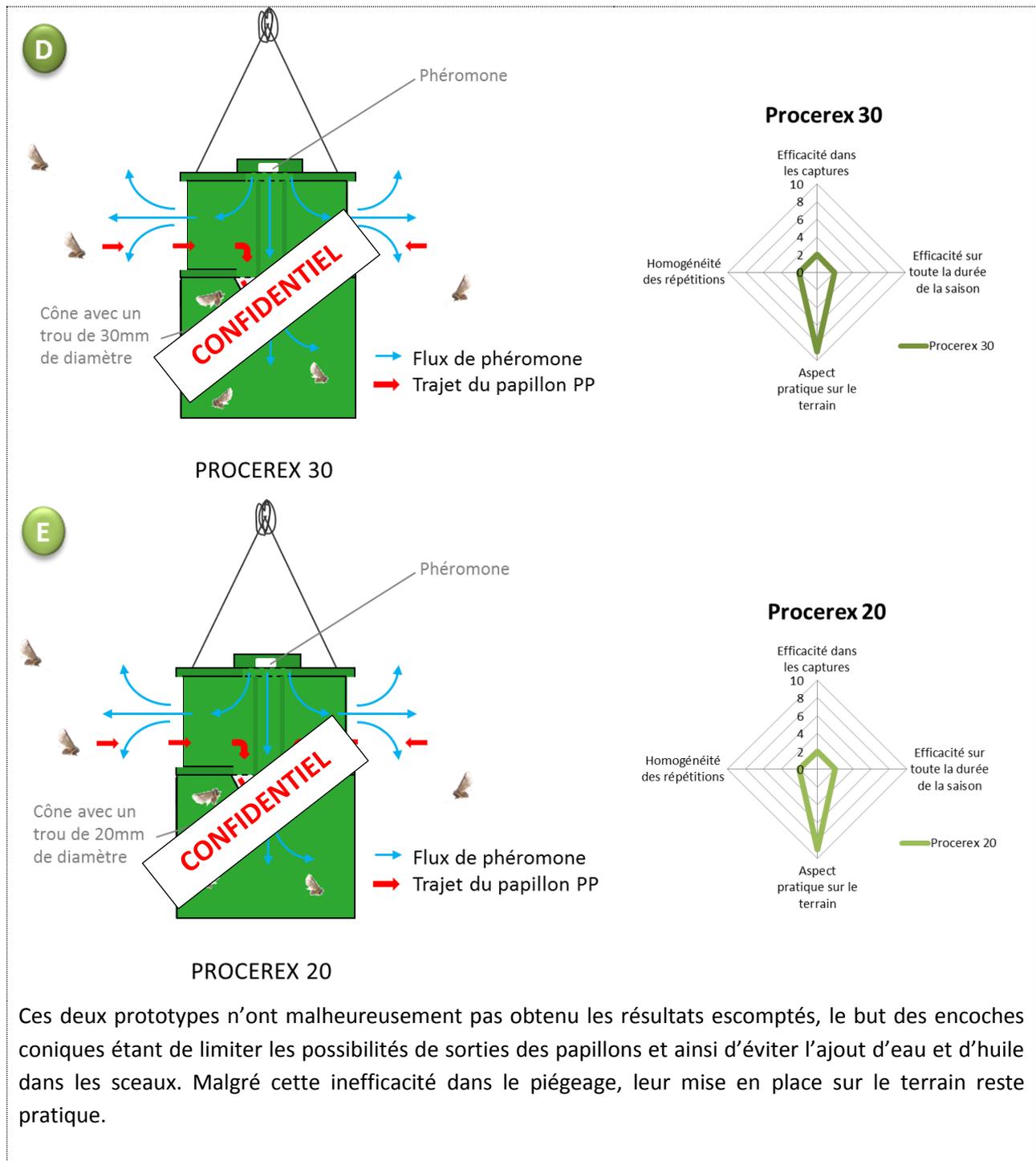


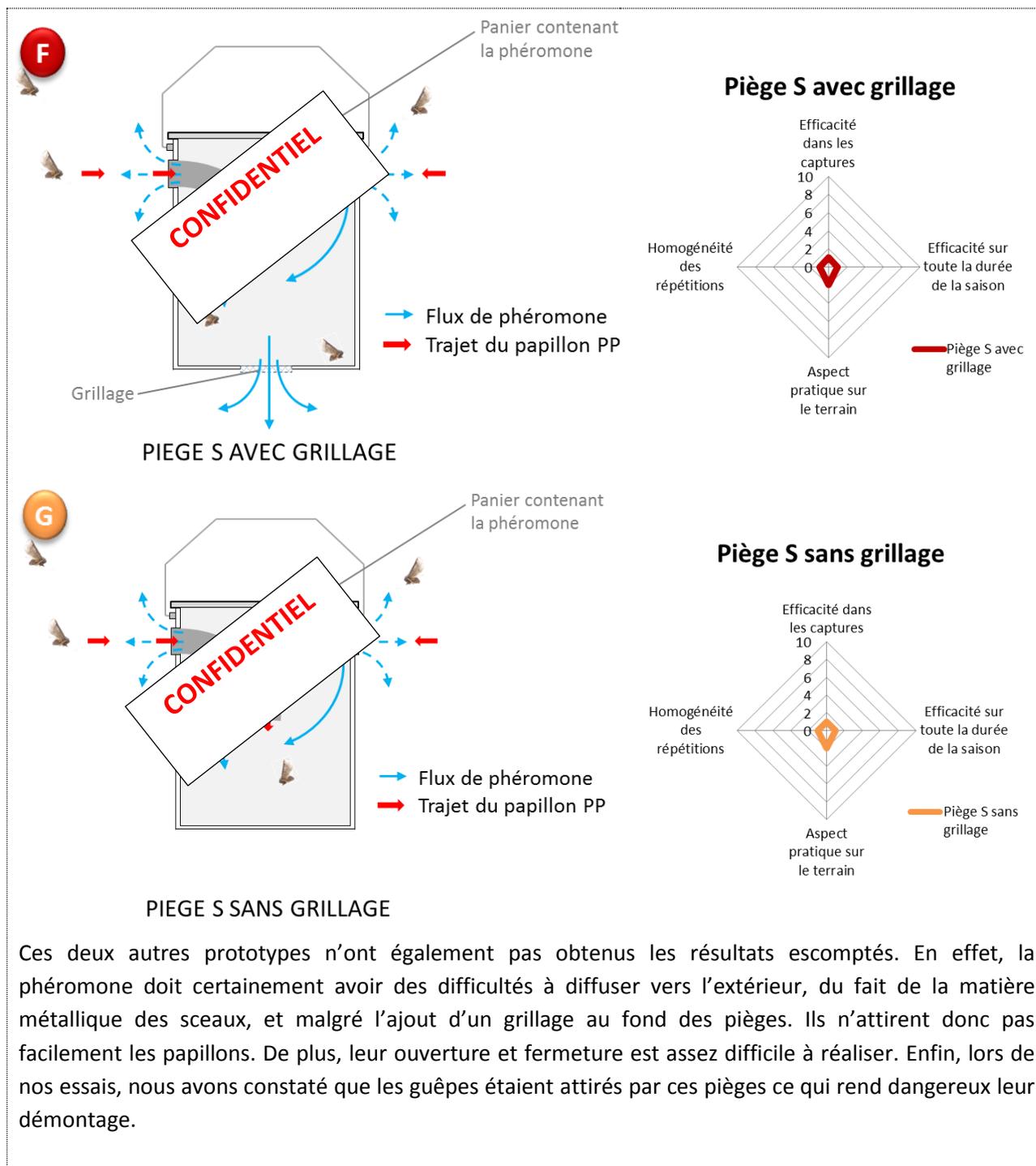


Ce piège a obtenu des résultats d'efficacité moyens durant les trois années d'expérimentation, par rapport au piège « Procerex + eau ». Il bénéficie de larges entrées permettant aux papillons de pénétrer facilement à l'intérieur du piège, mais ceci constitue également un inconvénient, car les papillons ont la possibilité d'en ressortir aussi facilement. Le cylindre est toutefois assez étroit pour qu'une partie des papillons piégés se débattent assez pour perdre leurs écailles et n'aient plus la capacité physique de s'en sortir. La facilité d'installation et d'utilisation de ce piège, en expérimentation, en font néanmoins le piège référence pour nos essais malgré sa faible efficacité.



Ce piège bénéficie d'une large entrée qui se rétrécit progressivement à la manière d'un entonnoir, facilitant ainsi l'entrée des papillons à l'intérieur du piège tout en limitant leur capacité à en ressortir. Cette complexité interne a eu pour avantage d'en faire le plus efficace des pièges « sans eau » en 2011 et 2012, et le second plus performant en 2013. Cette efficacité de capture reste toutefois moins importante que pour le piège « Procerex + eau », mais a l'avantage de durer sur toute la saison de vol des papillons et d'être assez homogène dans les répétitions. L'inconvénient de ce piège est le sachet en plastique fourni par la firme qui peut faire l'objet d'attaques (par « grignotage » du sachet) de fourmis, guêpes et autres insectes qui prédatent les papillons piégés. Afin de contrecarrer cette difficulté d'utilisation, nous conseillons de changer le sachet d'origine par un sachet polypropylène tissé (voir avec le fournisseur).

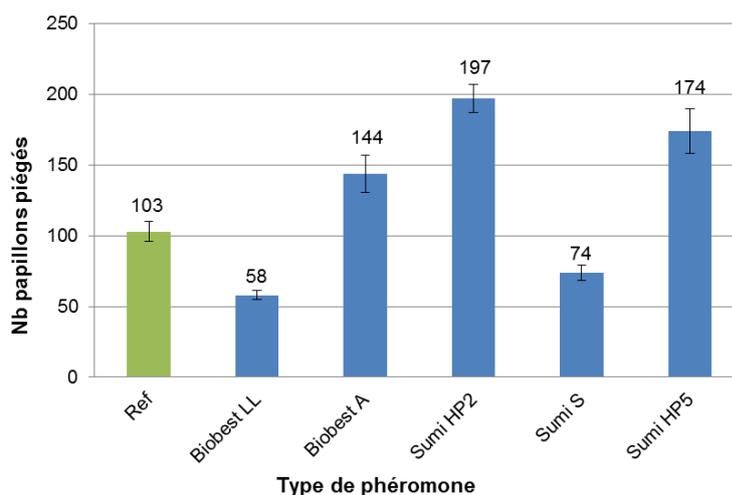




c. Comparaison de l'efficacité des diffuseurs de phéromone sur la Processionnaire du Pin :

D'après la figure 12, les résultats obtenus concernant l'efficacité des diffuseurs à phéromone paraissent très hétérogènes. Les diffuseurs Sumi HP2 et Sumi HP5 semblent être les plus performants. Ils sont en effet chargés en phéromone de haute pureté ce qui peut être un avantage en termes d'efficacité de capture par rapport aux autres diffuseurs.

Figure 21 : Total des papillons piégés par type de phéromone



Ces tendances doivent cependant être vérifiées statistiquement. Un test de variance (test de Bartlett) a été réalisé pour vérifier l'une des conditions d'utilisation du test ANOVA. Avec une p-value égale à 0,00011 pour un $\alpha=5\%$, les variances ne sont pas considérées comme homogènes et il devient délicat de réaliser un test ANOVA. Cependant, celui-ci, associé au test de Tukey (Figure 22), nous permet de constater qu'aucune phéromone ne se différencie des autres statistiquement, avec une p-value égale à 0,306 ($\alpha=5\%$), conforté par le test de Kruskal & Wallis (p-value=0,4442 ; $\alpha=5\%$).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SumiHP2	19,700	A
SumiHP5	17,400	A
BiobestA	14,400	A
Ref	10,300	A
SumiS	7,400	A
BiobestLL	5,800	A

P-value = 0,306

Figure 22 : Résultats du test ANOVA associé au test de Tukey concernant les tests phéromones.

La figure 23 présente le cumul des résultats de piégeage des différents types de phéromones testées. Celles-ci semblent se comporter à peu près de la même manière avec des courbes en parallèle hiérarchisées tout le long de l'expérimentation, et qui atteignent un plateau vers le 5 septembre.

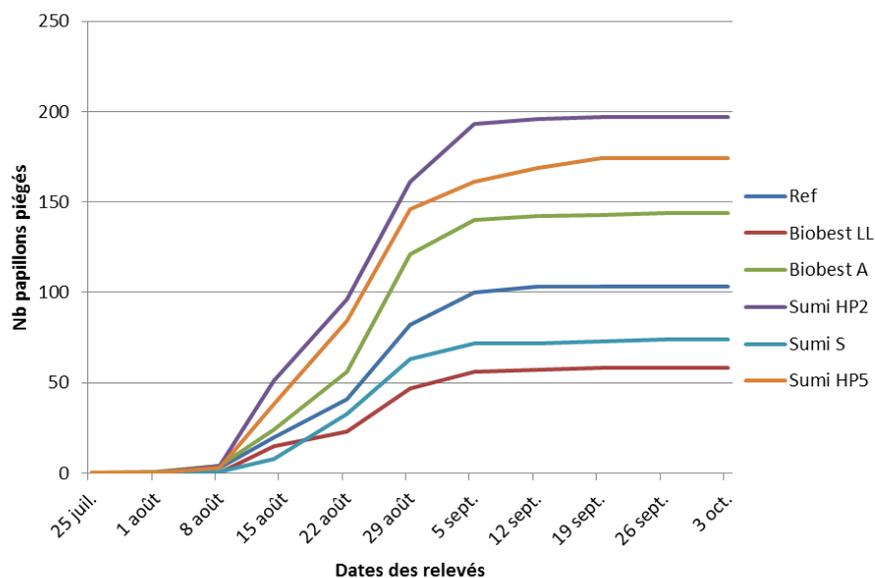


Figure 23 : Cumul des résultats de piégeage des différents types de phéromones testées sur toute la saison 2013.

Toutefois, le faible nombre de papillons piégés cette année est certainement responsable de cette non-différenciation des phéromones entre elles statistiquement. Deux hypothèses peuvent être émises :

- 1°) Les variations observées dans les figures 21 et 23 sont dues aux effets milieux et non à l'efficacité de certaines phéromones par rapport aux autres. Cette conclusion rejoint celles obtenues en 2011 et 2012 pour les tests phéromones.
- 2°) La qualité des diffuseurs fournis par les firmes n'est pas stable d'année en année. Cette deuxième hypothèse devra être confirmée par les firmes.

2. Dispositif du Mont Ventoux

Les relevés ont été effectués toutes les semaines du 24 juillet 2013 au 9 octobre 2013. Au total, 12 relevés ont été réalisés. Il est important de noter que lors de la mise en place des 40 pièges sur le site, les papillons de processionnaires du pin avaient déjà débuté leur saison de vol depuis le 3 juillet, confirmé par les résultats de l'expérimentation Genophéno.

D'une manière générale, 2233 papillons ont été capturés par les 40 pièges installés sur le Mont Ventoux, ce qui représente près de deux fois plus que par les 110 pièges installés à Carro, malgré le retard de la pose des pièges par rapport à la date d'émergence des papillons sur ce site. Ceci tend à montrer que la population de processionnaires du pin au Mont Ventoux est beaucoup plus importante que celle de Carro.

La figure 24 présente le nombre total de papillons piégés sur toute la saison de vol, pour chaque piège, les ronds symbolisant les pièges de nos tests phéromones et les carrés symbolisant ceux de l'expérimentation Genophéno. Cette cartographie montre une certaine hétérogénéité des résultats de piégeage tout le long de la zone d'étude.

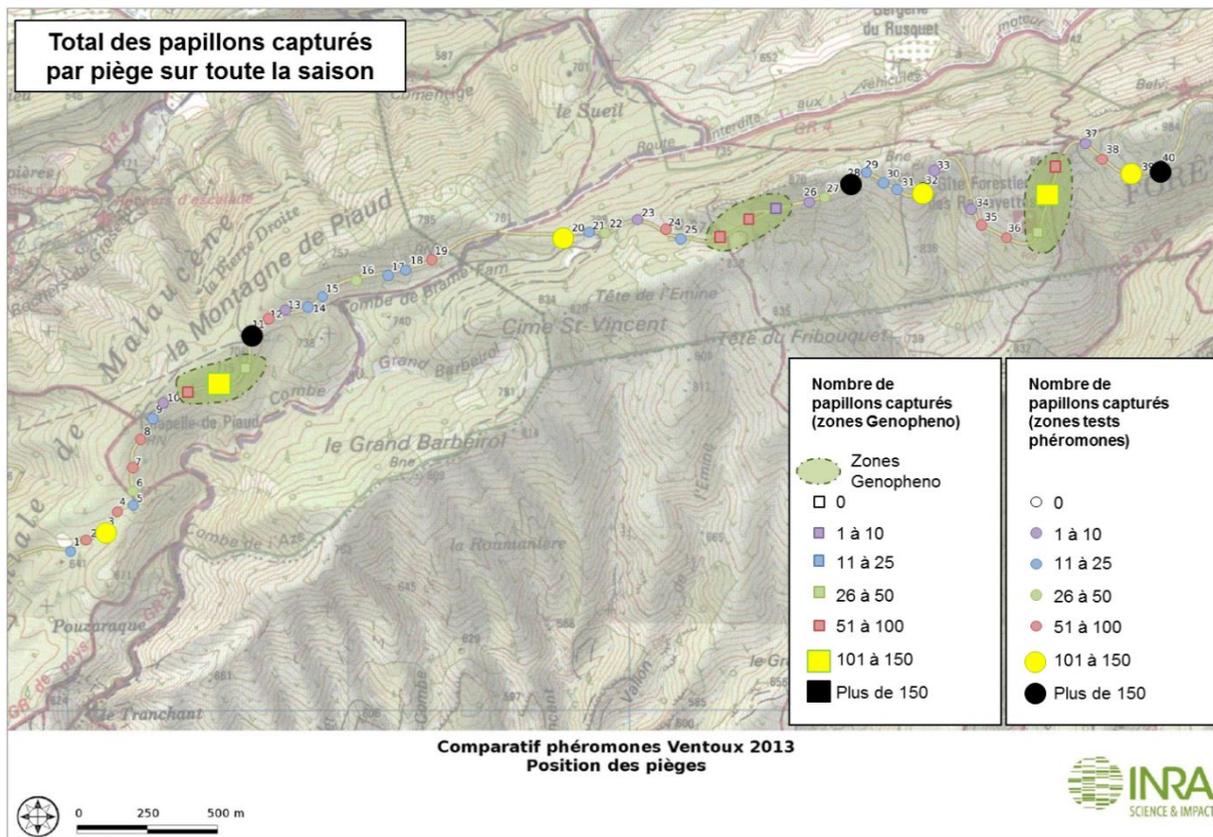


Figure 24 : Total des papillons piégés pour chacun des pièges installés sur la zone expérimentale.

Les résultats obtenus, concernant l'efficacité des diffuseurs à phéromone, paraissent très hétérogènes d'après la figure 25. En effet, il semble que les diffuseurs Biobest LL1 et Biobest LL2 se démarquent par rapport au diffuseur de référence Biobest S et au diffuseur Biobest K.

Total des papillons piégés par type de phéromone

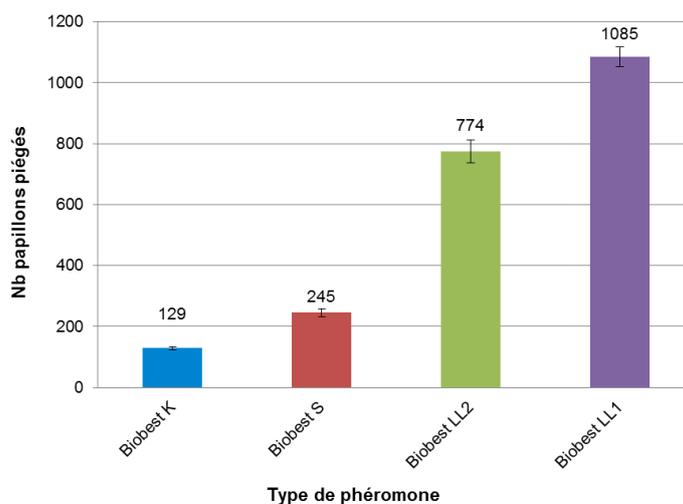


Figure 25 : Total des papillons capturés par type de phéromone testée, sur toute la saison 2013.

Ces tendances doivent cependant être vérifiées statistiquement. Un test de variance (test de Bartlett) a été réalisé pour vérifier l'une des conditions d'utilisation du test ANOVA. Avec une p-value égale à $1,49.10^{-6}$ pour un $\alpha=5\%$, les variances ne sont pas considérées comme homogènes et il devient délicat de réaliser un test ANOVA. Cependant, celui-ci, associé au test de Tukey (Figure 26), nous permet de constater que les phéromones Biobest LL1 et Biobest LL2 se différencient des autres statistiquement, avec une p-value égale à $1,25.10^{-5}$ ($\alpha=5\%$), conforté par le test de Kruskal & Wallis (p-value= $5,96.10^{-5}$; $\alpha=5\%$).

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Biobest LL1	108,500	A
Biobest LL2	77,400	A
Biobest S	24,500	B
Biobest K	12,900	B

P-value = $1,25.10^{-5}$

Figure 26 : Résultats du test ANOVA associé au test de Tukey concernant les tests phéromones.

La figure 27 présente le cumul des résultats de piégeage des différents types de phéromones testées. Celles-ci semblent se comporter à peu près de la même manière avec des courbes en parallèle hiérarchisées tout le long de l'expérimentation. Les deux phéromones les moins performantes atteignent un plateau en deux semaines seulement (vers le 7 août), alors que les deux phéromones les plus efficaces atteignent leur plateau vers le 4 septembre, soit un mois plus tard.

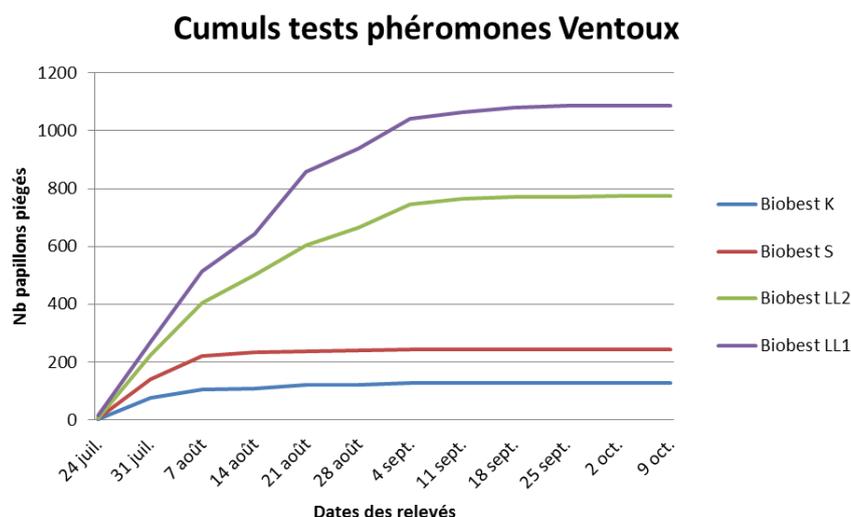


Figure 27 : Cumul des résultats de piégeage des différents types de phéromones testées sur toute la saison 2013.

Ces résultats sont donc très intéressants car pour la première fois depuis 2011, nous arrivons à mettre en lumière des différences entre des phéromones testées statistiquement dans des conditions favorables. Toutefois, il est difficile de pouvoir tirer des conclusions sur un seul test en comparant les résultats des deux tests phéromones effectués cette année du fait, justement, de ces deux sites d'études éloignés géographiquement. Il serait donc intéressant, en 2014, de regrouper toutes ces phéromones en un seul test réalisé préférentiellement sur le Mont Ventoux en pleine

dynamique de progradation plutôt qu'à Carro, afin d'optimiser les chances d'obtenir des résultats concluants.

Conclusion et perspectives

Les essais effectués depuis 2011 sur le site de Carro nous **ont permis de confirmer la grande performance du piège « Procerex + eau » dans le piégeage des papillons de processionnaires du pin**. Cette année encore, les résultats des tests phéromones confirment qu'il n'y a pas de différence significative entre les phéromones testées à l'exception du diffuseur Biobest LL1 (test Mont Ventoux) qui sera commercialisé en 2014 sous le nom de « Process'Attract ». Une répétition des tests 2013 devra être faite en 2014 pour confirmer ces résultats.

Les prototypes testés sans eau cette année encore n'ont pas obtenu des résultats assez satisfaisants pour concurrencer le piège « Procerex + eau ».

Il serait intéressant, en 2014, de réaliser les prochains essais sur le Mont Ventoux et non plus à Carro afin d'optimiser les chances d'obtenir des résultats concluants, et de réaliser des tests en combinant le piège et la phéromone les plus performants, c'est-à-dire le « Procerex + eau » combiné à la phéromone Biobest LL1 appelée maintenant Process'Attract. D'autres prototypes innovants et tenant compte de ces remarques seront testés dans le même dispositif.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des dénombrements de nids effectués par les partenaires du projet début 2012 et début 2013 sur les sites tests et témoins

Annexe 2 : Cartographie des emplacements des pièges 2013 à Carro

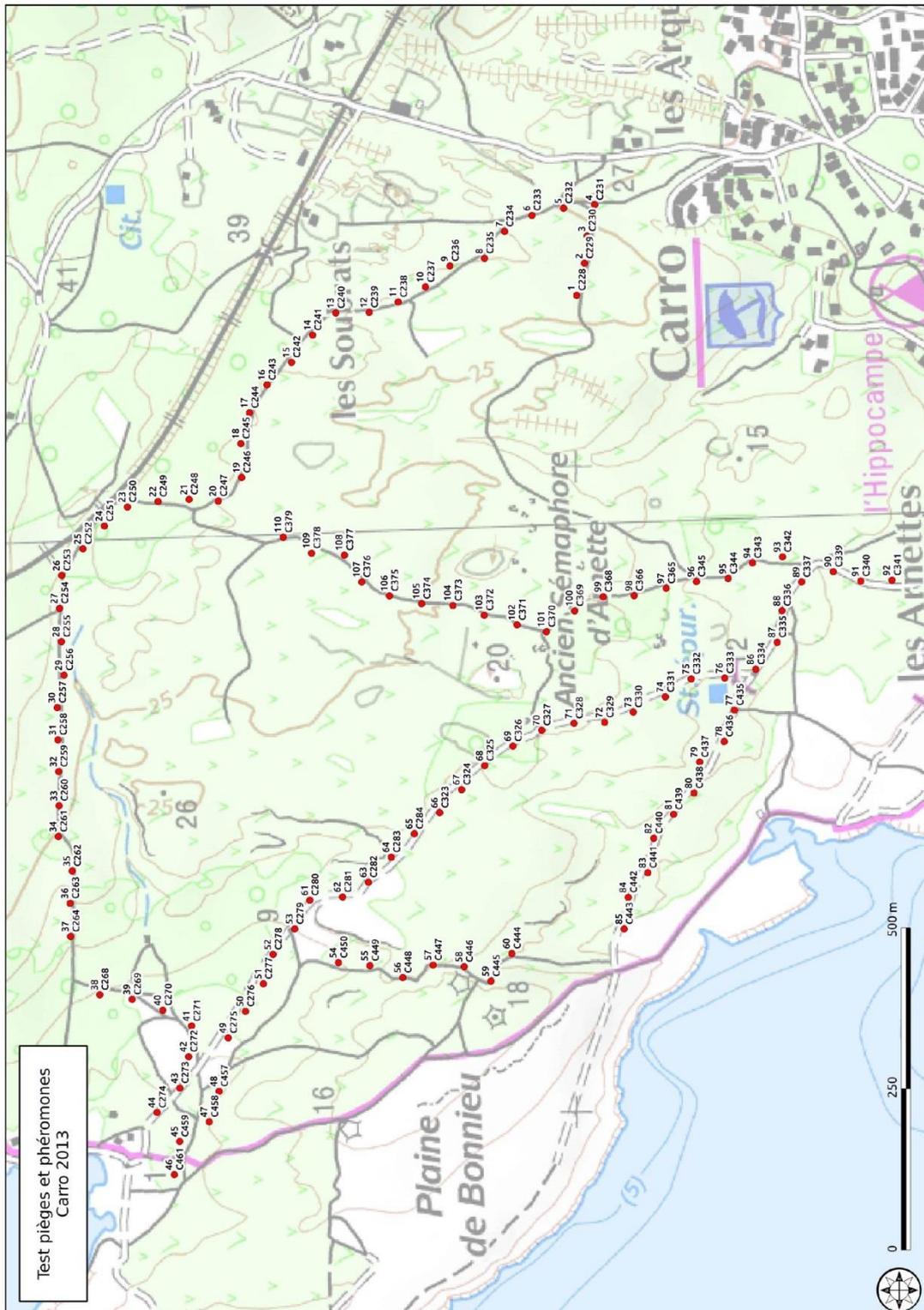
Annexe 3 : Cartographie des emplacements des pièges 2013 au Mont Ventoux

Annexe 1 : Résultats des dénombrements de nids effectués par les partenaires du projet début 2012 et début 2013 sur les sites tests et témoins

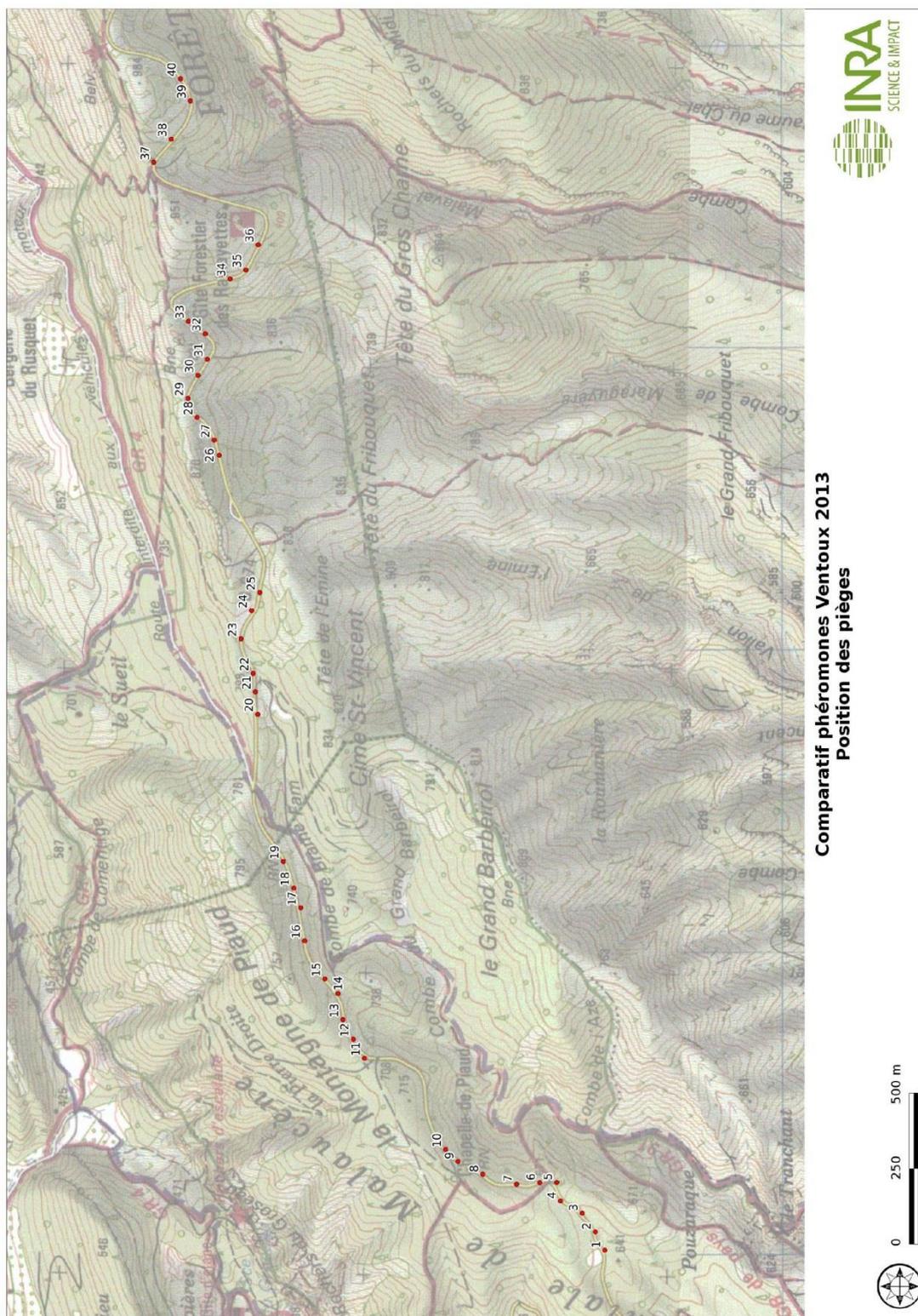
PARTENAIRES ALTERPRO		DESCRIPTIF								
Communes	Sites choisis	Nb arbres	Sites choisis	Nb arbres	Configuration	Modèle pièges	Nb pièges	Surface (ha)	Nb pièges /ha	Nb piège OK?
	TEMOINS		TESTS							
Saint-Fargeau-Ponthierry	Site témoin bordure RER	20 pins	Site test bordure RER	96	alignement	Procerex [®]	24	500m	20	norme
Angers	Echangeur de la Baumette	62 pins	Roseraie I bord de route	97 pins 3 cèdres	alignement	Mixte	15	0,300	50	au-dessus
			Roseraie II Parc	18 pins	îlot boisé > 1ha	Mastrap L	9	1,794	5	norme
			Roseraie III butte antibruit	66 pins	alignement	Mixte	13	0,865	15	au-dessus
			Roseraie IV quartier résidentiel	22 pins	alignement	Mixte	14	0,865	16	au-dessus
			Arboretum V Falun d'Orgemont	11 pins 3 cèdres	alignement	Mixte	10	0,325	31	au-dessus
			Arboretum VI cours d'école	6 pins	îlot boisé < 1ha	Mixte	5	0,527	9	norme
			Arboretum VII Plaine de jeux	31 pins	alignement	Mastrap L	7	0,108	65	au-dessus
Saint-Martin-de-Ré	Parcelle forestière	116 pins	Parc	261 pins	îlot boisé > 1ha	Mastrap L	17	4,600	4	en-dessous
Marennes	Piscine	non communiqué	Parcours sportif	100 pins	îlot boisé > 1ha	Mastrap L	6	1,000	6	norme
Avignon	Bonpas	230 pins	Route de l'Hôpital	46 pins	alignement	Entonnoir	13	2,000	7	norme
			Route de Marseille	76 pins	alignement	Entonnoir	30	3,000	10	norme
Nice	Quartier résidentiel	14 pins	Hangar	18 pins 4 cèdres	alignement	Procerex [®]	9	0,400	23	au-dessus
Rennes	Gros Malhon complexe sportif	50 pins	Gros Malhon complexe sportif	80 pins	îlot boisé < 1ha	Procerex [®]	5	0,250	20	au-dessus
	Butte antibruit rocade sud	19 pins	Butte antibruit rocade sud	21 pins	îlot boisé < 1ha	Procerex [®]	5	0,150	33	au-dessus
Arzon	Espace boisé de Greuh et Saihent	80 pins	Camping Municipal de Port Sable	31 pins	îlot boisé > 1ha	Procerex [®]	24	2,500	10	norme
Orléans	Rond-point	30 pins	Lac de la Source	265 pins	îlot boisé < 1ha	Trampa G	6	0,839	7	norme
			Boulodrome de Belneuf	60 pins 36 cèdres	îlot boisé < 1ha	Procerex [®]	6	0,180	33	au-dessus
Tours	Espace Vert Rochepinard Boulevard Pompidou IKEA	16 pins	Square Montegna	15 pins	îlot boisé < 1ha	Trampa G	4	0,330	12	au-dessus
			Place Anne de Beaujeu	17 pins	îlot boisé < 1ha	Trampa G	4	0,189	21	au-dessus
			Espace vert avenue de Florence	15 pins	alignement	Trampa G	7	0,252	28	au-dessus
St-Cyr-sur-Loire	Bois du Pot de Fer	24 pins	Patronage	9 pins	îlot boisé < 1ha	Trampa G	5	0,210	24	au-dessus
			Centre Aéré de Metteray	20 pins	îlot boisé < 1ha	Trampa G	7	0,100	70	au-dessus
Vichy	Parc Omnisports secteur Butte Marol	68 arbres	Groupe scolaire Pierre Coulon	8 pins	îlot boisé < 1ha	Procerex [®]	6	0,064	94	au-dessus
Aix-les-Bains	Bois Vidal	10 pins	Orée du Bois	9 pins 7 cèdres	alignement	Entonnoir	4	75m	3	en-dessous
Rodez	Rue Jean Alauzet	21 pins 24 douglas	Trouée verte Jean Moulin	11 pins 10 cèdres	îlot boisé > 1ha	Entonnoir	6	1,053	6	norme
			Talus Bourran	9 pins	îlot boisé > 1ha	Entonnoir	3	2,295	1	en-dessous
			Espace vert des Fusillés	6 pins 1 séquoia	îlot boisé < 1ha	Entonnoir	1	0,896	1	en-dessous

PARTENAIRES ALTERPRO	DEBUT 2012						DEBUT 2013						Henderson & Tilton 2012/2013	
	Communes	Nb arbres relevés	Nombre nids	Nb nids/100 arbres	Nb arbres relevés	Nombre nids	Nb nids/100 arbres	Nb arbres relevés	Nombre nids	Nb nids/100 arbres	Nb arbres relevés	Nombre nids		Nb nids/100 arbres
		TEMOINS			TESTS			TEMOINS			TESTS			
Saint-Fargeau-Ponthierry	20 arbres	8	40,00	60 arbres	146	243,33	20 arbres	4	20,00	30 arbres	9	30,00	75	
Angers	62 arbres	1026	1654,84	97 pins 3 cèdres	48	48,00	62 arbres	244	393,55	97 pins 3 cèdres	22	22,00	-93	
				18 arbres	92	511,11				19 arbres	20	105,26	13	
				66 arbres	179	271,21				66 arbres	21	31,82	51	
				22 arbres	42	190,91				22 arbres	16	72,73	-60	
				11 pins 3 cèdres	44	314,29				11 pins 3 cèdres	9	64,29	14	
				6 arbres	53	883,33				6 arbres	29	483,33	-130	
				31 arbres	73	235,48				31 arbres	8	25,81	54	
Saint-Martin-de-Ré	116 arbres	25	21,55	30 arbres	8	26,67	35 arbres	7	20,00	261 arbres	4	1,53	94	
Marennes	30 arbres	26	86,67	30 arbres	11	36,67	30 arbres	54	180,00	30 arbres	36	120,00	-58	
Avignon	230 arbres	138	60,00	46 arbres	61	132,61	230 arbres	107	46,52	46 arbres	35	76,09	26	
				76 arbres	14	18,42				76 arbres	10	13,16	8	
Nice	14 arbres	0	0,00	18 arbres	5	27,78	14 arbres	3	21,43	20 arbres	7	35,00	100	
Rennes	30 arbres	45	150,00	30 arbres	43	143,33	30 arbres	32	106,67	30 arbres	4	13,33	87	
	19 arbres	33	173,68	21 arbres	50	238,10	19 arbres	16	84,21	21 arbres	8	38,10	67	
Arzon	30 arbres	173	576,67	29 arbres	192	662,07	30 arbres	5	16,67	29 arbres	26	89,66	-369	
Orléans	30 arbres	337	1123,33	30 arbres	32	106,67	30 arbres	128	426,67	30 arbres	11	36,67	9	
				60 arbres	19	31,67				60 arbres	3	5,00	58	
Tours	16 arbres	36	225	15 arbres	85	566,67	16 arbres	42	262,50	15 arbres	63	420,00	36	
				17 arbres	17	100,00				17 arbres	16	94,12	19	
				15 arbres	106	706,67				15 arbres	19	126,67	85	
St-Cyr-sur-Loire	24 arbres	60	250,00	9 arbres	52	577,78	24 arbres	5	20,83	9 arbres	2	22,22	54	
				20 arbres	42	210,00				20 arbres	4	20,00	-14	
Vichy	68 arbres	21	30,88	8 arbres	35	437,50	8 arbres	10	125	16 arbres	69	431,25	76	
Aix-les-Bains	10 arbres	10	100,00	9 pins et 7 cèdres	43	268,75	10 arbres	6	60,00	9 pins et 7 cèdres	27	168,75	-5	
Rodez	21 arbres	0	0,00	21 arbres	9	42,86	21 arbres	2	9,52	21 arbres	2	9,52	100	
				9 arbres	12	133,33				9 arbres	5	55,56	100	
				7 arbres	4	57,14				7 arbres	1	14,29	100	

Annexe 2 : Cartographie des emplacements des pièges 2013 à Carro



Annexe 3 : Cartographie des emplacements des pièges 2013 au Mont Ventoux



Comparatif phéromones Ventoux 2013
Position des pièges

