



**AUTOPPHENO –ÉTUDE DE TECHNOLOGIES AUTOMATISEES DE  
MONITORING DES ADULTES LEPIDOPTERES RAVAGEURS AFIN  
D’OPTIMISER LES PERIODES D’UTILISATION DES STRATEGIES DE  
LUTTE EN ALTERNATIVE AUX PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES.  
ÉTUDE CONDUITE SUR LA PROCESSIONNAIRE DU PIN**

*Maurane BURADINO*  
*INRA-UEFM Domaine Saint Paul, Site Agroparc CS 40509*  
*F-84914 Avignon cedex 9*  
*maurane.buradino@inra.fr*

**Rapport final d'activité**

*Date : 20/11/2018*

Numéro de contrat AFB : ECOPHYTO II : Axe 2 : Actions : 7, 8,9  
Date de signature de la convention : 21/06/2017

# Table des matières

Synthèse .....	4
Résumé .....	5
<input type="checkbox"/> Contexte général.....	5
<input type="checkbox"/> Objectifs généraux du projet .....	5
<input type="checkbox"/> Quelques éléments de méthodologie (et éventuelles difficultés rencontrées)..	6
<input type="checkbox"/> Résultats obtenus .....	6
<input type="checkbox"/> Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation	6
<input type="checkbox"/> Partenariats mis en place, projetés, envisagés .....	7
<input type="checkbox"/> Mots-clés.....	7
1. Récapitulatif de l'avancement des travaux .....	8
2. Commentaire des différentes tâches .....	8
3. Calendrier prévisionnel de fin de projet .....	9
4. Premiers acquis transférables (méthodes, outils, recommandations, réalisations pratiques).....	10
5. Valorisation des travaux achevés ou à venir .....	10
6. Rapport scientifique.....	12
7. Annexe : textes des publications .....	25
<input type="checkbox"/> Publications scientifiques parues .....	25
<input type="checkbox"/> Publications scientifiques à paraître.....	25
<input type="checkbox"/> Publications scientifiques prévues .....	25

Sommaire détaillé avec la pagination, y compris des annexes ;  
Sommaire recommandé des tableaux, figures, schémas (sans oublier la pagination).

## **Synthèse** (destinée aux utilisateurs et gestionnaires publics)

**(Environ 10 pages, hors liste des publications et autres valorisations)**

*Merci de rédiger l'ensemble de cette partie de manière à ce qu'elle soit aisément compréhensible par un utilisateur non spécialiste.*

***Vous mettrez en évidence les points qui vous paraissent les plus porteurs pour l'élaboration, le suivi ou la mise en œuvre de politiques publiques pour le plan Ecophyto.***

## RESUME

### ➤Contexte général

*Quelle situation, quels enjeux motivent ce projet ?*

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est un insecte défoliateur, principalement des pins et des cèdres. Cette espèce constitue le deuxième ravageur le plus signalé dans la base de données du Département de la Santé des Forêts (DSF, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation) (4.5% des 75600 signalements de 1989 à 2006 ; Nageleisen *et al*, 2010). Elle est à ce titre étudiée depuis de nombreuses années par différentes unités du département Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques de l'INRA, dont l'UEFM et l'URZF qui collaborent sur ce projet. Alors que l'impact phytosanitaire peut prendre une dimension économique en forêt, les conséquences de la défoliation sont essentiellement esthétiques en JEVI.

Le problème majeur posé en JEVI est d'ordre sanitaire. Les chenilles sont en effet urticantes du 3<sup>ème</sup> au 5<sup>ème</sup> et dernier stade larvaire. Elles représentent un risque pour la santé humaine avec des réactions allant de l'urticaire de contact jusqu'au choc anaphylactique (Moneo *et al*, 2015). La période lors de laquelle les risques d'exposition sont les plus élevés correspond aux processions de nymphose. Il s'agit du moment où les chenilles, arrivées à la fin de leur développement, quittent les arbres pour s'enterrer dans le sol (normalement entre la fin de l'hiver et le milieu du printemps selon les régions). Les risques sont plus faibles, mais non nuls, en dehors de cette période, en particulier lors de fortes infestations (« essaimage » des poils urticants depuis les nids situés dans les arbres ou déterrement de sites de nymphose).

Depuis les années 1990, il s'agit d'un problème sanitaire croissant en raison de (i) l'expansion de l'aire de répartition vers le nord et en altitude sous l'effet du réchauffement climatique (Roques *et al*, 2015) et de transports accidentels à longue distance probablement liés à des plantations d'arbres d'ornement en grande motte (Robinet *et al*, 2012) (cf. figure 1 par exemple) (ii) la colonisation des milieux non forestiers via les arbres ornementaux des villes, villages et hameaux (Rossi *et al*, 2015 ; Rossi *et al.*, 2016). La méconnaissance de l'insecte dans les zones néo-colonisées, en particulier urbaines, apparaît d'ailleurs comme un facteur de risque supplémentaire. On estime aujourd'hui à 21 000 le nombre de communes concernées (à des degrés très divers) dans 84 départements sur 96 (et 13 régions sur 13).

Depuis le milieu des années 2000, une troisième cause d'accroissement des problèmes en voie d'émergence est l'évolution de la phénologie de l'insecte, vraisemblablement sous l'effet là encore des changements climatiques (Robinet *et al*, 2015). Il existe des données historiques, enregistrées dans les années 1970 par l'IRSTEA (anciennement CEMAGREF), qui montrent la relative stabilité de la phénologie jusqu'à une période récente, alors que dorénavant un grand nombre de témoignages font part de phénologies atypiques et/ou erratiques (observations DSF, FREDON et INRA). Les constats que nous avons faits, confirmés par les gestionnaires, ont en grande partie motivé la réponse à cet AAP visant à développer la mise en œuvre d'outils de *monitoring* et d'aide à la décision.

L'évolution du cycle biologique se traduit par (i) un allongement de plusieurs mois de la période à risques majeurs dans plusieurs régions françaises (ii) une prévisible plus grande difficulté à mettre en œuvre avec succès les méthodes de lutte, en particulier alternatives aux produits phytopharmaceutiques de synthèse qui requièrent une bonne connaissance de la biologie de l'insecte.

Un élément marquant des changements en cours est que les automnes doux, fréquents ces dernières années, se traduisent par l'apparition de processions de nymphose précoces (pré-hivernales), alors qu'une fraction des populations continue à « nymphoser » aux périodes habituelles (post-hivernales), voire donne lieu également à des processions tardives (jusqu'en juin). Toutefois, ces phénomènes peuvent montrer de très fortes variations interannuelles, là où ces variations étaient généralement d'une quinzaine de jours dans les

années 1990 (tout au moins dans les zones à climat contraignant, avec des hivers froids et/ou des étés chauds). Les périodes à risques, allant dorénavant 2 à 8 mois, sont très difficiles à anticiper. C'est particulièrement le cas en zones urbanisées, donc en JEVI, où les îlots de chaleur urbains contribuent à l'hétérogénéité de la phénologie aux échelles locale et régionale (Backe *et al.*, en préparation).

L'évolution de la phénologie au niveau larvaire pose également la question de celle au niveau du vol. Celle-ci est plus difficilement perceptible car elle nécessite des dispositifs de piégeages des papillons principalement mis en place par certains professionnels dans le but de déterminer grossièrement les périodes de traitement. Dates de vol et températures conditionnant la suite du développement (embryonnaire et larvaire), c'est en cascade l'ensemble du cycle jusqu'aux processions et des méthodes de lutte alternatives qui peuvent être affectés par une plus grande variabilité du vol si elle se confirmait. Avec une plus grande permissivité du climat, il est notamment attendu que la descendance de femelles volant trop tardivement ne soit plus éliminée par les premiers gels (les larves devant avoir le temps d'atteindre le stade L3 pour y résister ; Démolin, 1969). La répétition d'échecs de lutte pourrait conduire à la désaffection de certaines méthodes alternatives nécessitant une bonne connaissance de la biologie de l'insecte. Par ailleurs, indépendamment des évolutions en cours, la méconnaissance de la phénologie est considérée comme une des principales causes d'échec de la lutte (Brinquin *et al.*, 2013) et plaide également pour le développement d'outils d'aide à la décision faciles d'emploi. La phénologie varie en effet entre régions bioclimatiques, parfois à l'échelle d'un département, avec les gradients climatiques latitudinaux (sud/nord), longitudinaux (océanique-continentale), et altitudinaux, ainsi qu'entre milieux urbains et forestiers. Il est donc difficile de fournir aux collectivités et aux particuliers un calendrier de lutte adapté à leur situation.

Pour observer la phénologie de la processionnaire du pin, l'UEFM a développé avec différents partenaires des solutions efficaces de *monitoring* par piégeage phéromonal. Cependant, ces méthodes sont très consommatrices en temps et en personnel et ne permettent que des relevés hebdomadaires ou plus souvent bi-hebdomadaires dont la précision n'est plus suffisante pour suivre le vol et prédire correctement les éclosions et l'évolution larvaire ultérieure dans le contexte actuel. Par ailleurs ce coût de mise en œuvre en matière de ressource humaine empêche un déploiement de ces dispositifs de suivi à large échelle, ainsi que leur démocratisation auprès de publics moins spécialisés. Toutefois, de nouvelles méthodes de *monitoring* émergent avec l'arrivée sur le marché de pièges automatisés. S'ils avéraient opérationnels sur la processionnaire du pin, ces pièges permettraient d'acquérir des données standardisées à large échelle sur la phénologie du vol (qui conditionne les dates d'éclosion et de début de développement larvaire) (Huchon & Démolin, 1970 ; Roques, 2015) que ce soit à des fins scientifiques (effets du changement climatique) ou de gestion.

A terme, la simplification de l'acquisition de données à grande échelle permettra également d'améliorer les connaissances sur les différences de phénologie au sein de cette espèce. Pour les unités impliqués dans ce projet, ceci ouvrira des perspectives de développement d'un modèle prédictif permettant d'anticiper au mieux les périodes à risques sanitaires ainsi que la mise en place des méthodes de biocontrôle.. Ces méthodes pourront être étendues à d'autres espèces de Lépidoptères ravageurs forestiers et JEVI (pyrale du buis, mineuse du marronnier...). La levée de ce verrou technique permettrait de constituer un réseau national d'observations couvrant les différentes régions bioclimatiques et permettant d'alimenter en données à la fois gestionnaires et communauté scientifique.

### ➤ Objectifs généraux du projet

L'objectif de ce projet était de tester les intérêts et limites de trois pièges arrivés récemment sur le marché permettant d'automatiser totalement ou partiellement le *monitoring* de la processionnaire du pin : *collection bottle rotator* (associé à un piège à entonnoir classique), Captrap et Trapview. Ces trois pièges reposent sur des principes différents.

Le *Collection Bottle Rotator*® (CBR) est un collecteur rotatif programmable (conçu et commercialisé par une entreprise américaine) qui se place sous un piège à entonnoir classique (dont le fond est supprimé). Il dispose de 8 bouteilles de collecte qui permettent d'obtenir des données journalières avec un relevé hebdomadaire. Le comptage est manuel (et donc sans télétransmission de données). Par rapport aux méthodes actuellement employées, il nécessite de maintenir la même fréquence de relevés par un opérateur mais améliore le grain d'observation. Le piège est raccordé à une batterie rechargée par un panneau solaire.

Le Captrap® est un piège à entonnoir (conçu et commercialisé par une TPE française) qui dénombre les papillons capturés à l'aide d'un détecteur situé dans l'entonnoir et qui télétransmet les données (accessibles sur une interface web). Il peut être associé à un capteur de température et d'humidité, ainsi qu'à une Station Météo Virtuelle (SMV®) qui fournit des données météorologiques simulées au niveau du site d'installation (température, humidité relative, précipitations, rayonnement global, vitesse et direction du vent). L'alimentation en énergie est assurée par un (ou des) panneau(x) solaire(s) (pouvant être déporté ou non selon le modèle). La transmission des données s'effectue par réseau SIGFOX (bas-débit à bas coût) ou GSM (option payante). Sur l'interface, l'opérateur a la possibilité de renseigner diverses interventions ou de rajouter des comptages manuels.

Le Trapview® est un piège de type delta (conçu et commercialisé par une entreprise slovène) qui transmet quotidiennement par réseau GSM des photographies d'une plaque de glue sur laquelle les papillons sont piégés. Les photographies sont accessibles sur une interface web et sont associées à des données de comptages automatiques des papillons par un système d'analyse d'images (qui peut être adapté à l'espèce). Un panneau solaire alimente le piège en énergie.



Figure 2 : *collection bottle rotator*, *captrap* et *trapview* (de gauche à droite)

Les objectifs initiaux étaient :

(1) de savoir si ces pièges conçus pour le déclenchement de la lutte en milieu agricole étaient mobilisables chez la processionnaire du pin pour un *monitoring* en JEVI sans coût de R&D supplémentaire. Dans le cas du Captrap, le coût de développement pour associer la signature sonore du papillon au système de détection a été estimé à 35 000 EUR. Dans le cas du Trapview, il s'agissait de tester si le comptage automatique était opérationnel en l'état sans intervention de l'utilisateur sur l'interface en cours de saison

(2) d'évaluer les risques de saturation du piège, de faux-positifs (comptage d'un insecte autre que celui visé, comptage fictif d'individus) et de faux négatifs (papillon capturé non dénombré), la facilité de mise en œuvre, l'autonomie et les contraintes de maintenance,

### ➤ **Quelques éléments de méthodologie (et éventuelles difficultés rencontrées)**

Initialement prévu sur 2 sites, l'expérimentation a été conduite sur 3 sites expérimentaux dans 3 régions bioclimatiques différentes avec systématiquement 4 modèles de pièges

testées dont 3 automatisés (2 CapTrap<sup>®</sup>, 1 Trapview<sup>®</sup>, 1 Collection Bottle Rotator<sup>®</sup> dit CBR<sup>®</sup> et un Cameratrap<sup>®</sup>). Le projet se déroulant sur un an, l'objectif était d'éviter d'être confronté à un trop bas niveau de population en site donné une année donnée. Par ailleurs, le site supplémentaire a permis d'associer des utilisateurs finaux potentiels à la mise en œuvre et au suivi du dispositif (en l'occurrence les services techniques de la mairie de Fréhel, 22, confrontés à de lourds problèmes de gestion de cette espèce).

Des relevés quotidiens ont été effectués de juin à octobre pour comparer le nombre d'individus réellement capturés au nombre mesuré par les pièges automatisés (hebdomadaires sur le site de Fréhel). Pour accueillir ces essais, il a fallu trouver des parcelles sécurisées pour éviter le vol et la dégradation, facile d'accès pour permettre les relevés quotidiens et le plus infestée possible. Cette dernière condition n'a pas pu être remplie à Avignon où la population de processionnaire du pin est en rétrogradation naturelle.

Les principales difficultés rencontrées ont été des problèmes techniques avec les pièges (pannes du matériel, problèmes de couverture et d'accrochage du réseau) qui constituaient cependant un des éléments d'évaluation des pièges dans le cadre du projet, mais aussi des problèmes de très faible niveau de captures sur l'ensemble des sites expérimentaux.

Compte-tenu des résultats de 2017, nous avons obtenu un avenant au projet afin de réaliser une nouvelle campagne de terrain en 2018. Nous avons choisi de conserver différentes régions bioclimatiques : océanique dégradé (Orléans), océanique (Erquy) et Méditerranéen (La Cavalerie). Nous avons conservé les pièges CapTrap<sup>®</sup>, Trapview<sup>®</sup> et Cameratrap<sup>®</sup> qui ont montré leurs intérêts à la campagne précédente.

Une fois de plus, nous avons obtenus de faibles niveaux de captures qui pourrait être expliqué par une altération des populations de processionnaire du pin (dû à la phénologie atypique) ou à des problèmes de phéromones. Pour ce dernier point, les essais n'ont pas permis de déterminer le facteur responsable de ces faibles captures. Cependant, l'UEFM a montré le manque de fiabilité des phéromones ces dernières années (Pal, E. *et al*, 2018)<sup>1</sup> avec des firmes utilisant un nom commercial mais pouvant modifier la composition du produit vendu.

## ➤ Résultats obtenus

Ces deux saisons d'essais nous a permis de développer une collaboration avec une firme française, Cap2020 et de montrer l'intérêt de l'utilisation de pièges automatisés pour le suivi de populations de Lépidoptères ravageurs. Ces deux années, nous ont montré que la processionnaires du pin était sujette à plusieurs comportements phénologiques atypiques et qu'il sera d'autant plus important de pouvoir comprendre ces modifications dues au changement climatique pour améliorer la lutte et développer des modèles prédictifs fiables.

Dans le cadre de ce projet, nous avons également mis en place une collaboration avec la commune d'Erquy qui a accepté de poursuivre le monitoring en investissant dans un CapTrap dès l'année prochaine. Ce partenariat permet à l'INRA d'obtenir les données nécessaires à la création d'un modèle phénologique précis. Il permet également de démontrer la faisabilité pour les communes d'accueillir ce type de dispositif et de donner des arguments pour étendre le réseau à plusieurs communes de France.

La relance d'enquêtes (AlterPro) permettra de cibler des communes motivées. Un projet PRIMA est également en cours de construction avec la Tunisie afin d'étendre les données à l'ensemble du bassin méditerranéen.

---

<sup>1</sup> Pal, E., Correard, M., Rei, F., Thevenet, J., Lantus, S., Pezzini, E., Buradino, M., Brinquin, A. S., Martin, J. C. (2018). Processionnaire du pin: un traitement bille en tête. *Phytoma la Défense des Végétaux* (715), 28-32.  
<https://prodinra.inra.fr/record/442237>

## ➤ **Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation**

### • Implications pratiques :

Bien qu'à des degrés divers, les deux modèles de pièges connectés testés (Captrap® et Trapview®) apparaissent prometteurs en matière d'opérationnalité et de performance pour un suivi de la phénologie de la processionnaire du pin, en particulier de par leur autonomie sur le terrain sur une longue période (pas ou peu de maintenance, et fiabilité des données). Le CBR n'apparaît pas être quant à lui une solution pour le suivi de cette espèce (l'autonomie de ce piège qui n'est par construction pas totale sur le terrain s'est vu en outre encore amoindri du fait de pannes multiples).

### • Recommandations et limites éventuelles :

Nos conclusions restent limitées par les conditions dans lesquelles s'est réalisée l'expérimentation (faible niveau de capture sur tous les sites). Le Captrap® paraît être le piège le plus prometteur au regard de nos attentes et de celles des gestionnaires, puisque c'est lui qui permet le meilleur gain de temps pour l'opérateur par rapport aux relevés de terrain. Toutefois, les conditions de l'expérimentation n'ont pas réellement permis de départager définitivement les deux modèles de pièges connectés en ne permettant pas une comparaison objective de tous les paramètres d'intérêt.

Concernant les pièges automatisés et principalement le CapTrap, il est important d'être présent pendant la phase de calibration du piège pour s'assurer des relevés précis.

Un des freins au développement du réseau est le coût des pièges. Dans les deux cas, ils sont disponibles à la vente ou à la location (avec ou sans assurance). Il nécessite également un abonnement à l'interface.

### • Réalisations pratiques et valorisation :

La Direction de l'Environnement du Conseil Départemental des Côtes d'Armor a manifesté son intérêt pour les résultats de ce projet. Une rencontre a eu lieu en août 2017 sur le site du Cap d'Erquy pour apprécier la faisabilité de la mise en place d'un *monitoring* de la processionnaire sur plusieurs années sur ce site, avec les pièges connectés testés. Ce site est devenu pilote en 2018 et nous pouvons espérer qu'il servira de vitrine pour d'autres collectivités territoriales et de tremplin pour le lancement d'un réseau de *monitoring*.

Le camp militaire de la Cavalerie dans le Larzac a également exprimé sa volonté de poursuivre des essais sur la processionnaire du pin et certainement d'investir dans un CapTrap pour intégrer le réseau en cours de création, des discussions sont en cours.

La participation à un colloque Tunisien va permettre de présenter les résultats d'AutoPPhéno et d'envisager le déploiement de pièges automatisés dans le bassin méditerranéen, aire d'origine de la processionnaire du pin.

L'automatisation de l'acquisition de données de phénologie va également permettre d'alimenter les bases de données du SOERE TEMPO en cours de création. La concentration des résultats facilitera la modélisation et permettra d'observer les adaptations face au changement climatique tout en permettant une meilleure adaptation des méthodes de biocontrôle.

## ➤ **Partenariats mis en place, projetés, envisagés**

Le partenariat avec la firme Cap2020 est un succès. L'entreprise est très réactive à nos sollicitations et est dans une réelle dynamique d'amélioration de ses pièges pour des ravageurs JEVl et pas uniquement vergers/maraichers.

Cette collaboration devrait se poursuivre dans le but de développer un projet sur la phénologie des larves de processionnaires du pin (confidentiel) si des financements sont proposés. Une journée technique organisée par Polleniz et la mairie de La Baule en 2017 a permis aux équipes INRA de mettre relation Cap2020, La Mésange verte et Polleniz, tous intéressés par le développement de nouvelles innovations permettant de faciliter la lutte contre la processionnaire du pin et de développer des outils d'alerte sanitaire.

Au niveau des collectivités territoriales, les partenariats projetés ou à poursuivre concernent en premier lieu la mairie de Fréhel et le département des Côtes d'Armor confrontés à d'énormes problèmes suite à l'arrivée récente de l'insecte dans cette région. Nos unités INRA, en collaboration avec les services de l'état et les organismes de gestion, participent à la définition d'un plan de gestion global de l'insecte sur le site pilote de Fréhel.

En 2018, nous avons poursuivi une bonne collaboration avec Cap2020 et sommes confiant pour élargir la liste des ravageurs JEVl avec elle alors que ce n'est, à la base, pas son cœur de cible.

La création d'un réseau d'utilisateur a débuté en 2018 avec le partenariat avec le Conseil Départemental des Côtes d'Armor et va permettre de défendre l'intérêt d'intégrer ce réseau auprès d'autres communes de France.

A terme, nous souhaitons étendre le partenariat avec la Tunisie et la Bulgarie afin de couvrir la région d'origine de la processionnaire du pin pour mieux comprendre sa phénologie et les comportements observés dans un contexte de changement climatique. Ceci va permettre un meilleur conseil pour l'application de méthodes de biocontrôle dont l'occurrence avec le stade biologique visé est essentielle pour son efficacité.

### ➤Mots-clés

Processionnaire du pin, pièges automatisés, réseau de *monitoring*, phénologie, biocontrôle

## 1. RECAPITULATIF DE L'AVANCEMENT DES TRAVAUX

*Indiquer de façon synthétique l'avancement du recueil et de l'analyse des données*

**TABLEAU 1 : ETAT D'AVANCEMENT DES TACHES PREVUES DANS LE PROJET (PEUT ETRE REMPLACER PAR UN DIAGRAMME DE GANTT)**

Tâche	Terminé	En cours <sup>2</sup>	A faire
Réunion de démarrage	X		
Rédaction des protocoles	X		
Installation du dispositif	X		
Formation des agents	X		
Suivi du dispositif	X		
Analyse des résultats	X		
Rédaction compte-rendu intermédiaire	X		
Réunion finale (tous partenaires) - virtuelle	X		
Rédaction compte-rendu final	X		

## 2. COMMENTAIRE DES DIFFERENTES TACHES

*Pour les différentes tâches, préciser*

- a. *Les aspects méthodologiques (recueil et analyse des données)*
- b. *Les premiers résultats*
- c. *Les difficultés éventuellement rencontrées ainsi que les actions correctives proposées*

Malgré les résultats décevants en 2017, deux des pièges nous paraissent potentiellement opérationnels pour un suivi, mais à des degrés divers.

Le CBR est à éliminer car trop peu fiable (plusieurs pannes compromettant un suivi sur l'ensemble de la saison). Sur nos 3 modèles, 2 n'ont pas fonctionné de toute la saison. De plus, ce piège nécessite tout de même d'effectuer des relevés hebdomadaires ce qui s'avérerait contraignant pour acquérir de la donnée en masse et à un pas de temps fin.

Le Trapview<sup>®</sup> est un piège delta qui avec son système de capture d'image permet une bonne identification de la processionnaire du pin sur photographie, tout en limitant les risques de pertes de données. Toutefois, nous avons rencontré à la marge quelques problèmes de transmission et d'acquisition de données, avec parfois l'absence d'images ou des images de mauvaise qualité ne permettant pas l'identification du Lépidoptère cible certains jours. Par contre, vu le faible niveau de capture en 2017 et 2018, nous n'avons pas pu tester la saturation du piège lors de pics de vol importants et mesurer les changements plaques nécessaires au cours de la saison. Nous n'avons donc pas pu comparer ses performances à ce sujet avec l'autre piège connecté, pour lequel des modifications peuvent être apportées pour éviter des problèmes de saturation en cas de forte population (auxquels il est déjà structurellement moins sensible). Néanmoins, le Trapview<sup>®</sup> n'a nécessité aucune maintenance sur les deux saisons. Le système de comptage automatique s'est avéré devoir être adapté à la processionnaire du pin. Néanmoins, les images transmises permettent à elles seules un suivi fiable de la phénologie à ce niveau de population. Le gain de temps est inférieur au Captrap<sup>®</sup> mais bien supérieur à des relevés de terrain classiques, ou même réduits grâce au CBR<sup>®</sup>.

<sup>2</sup> Indiquer un pourcentage estimé de l'état d'avancement

Le Captrap® s'est avéré fiable dans sa détection à ce niveau de population. Un seul faux-positif (dû au comptage d'un Lépidoptère non cible de même gabarit que la processionnaire) a été comptabilisé sur l'ensemble de la saison tous sites confondus. Le nombre de faux-positif paraît donc pouvoir être très faible voire anecdotique, alors que c'était l'écueil le plus redouté avec ce piège (qui ne permettrait, avec un usage normal en routine, de ne constater les erreurs qu'en fin de saison). Nous n'avons pas eu de comptage en surplus avec l'éventuelle agitation des papillons dans la cuve. Nous n'avons pas eu de faux-négatif, c'est-à-dire que l'ensemble des papillons de processionnaire du pin capturés ont été comptabilisés par le piège (mais il est difficile de formuler des conclusions définitives avec le faible nombre de capture obtenu en 2017).

Nous avons rencontré des difficultés d'envoi des données sur deux pièges CapTrap® liées à la couverture Sigfox. Ce problème a été corrigé rapidement par la firme avec le remplacement par un piège de nouvelle génération accrochant mieux le réseau, là où la couverture est plus faible.

Le Cameratrapp® a servi de piège témoin pour ces essais mais le faible nombre de captures ne permet pas de comparer l'efficacité de capture des pièges.

Le faible taux de capture à Avignon peut être attribué à une rétrogradation de la population, phénomène naturel et bien connu dans son aire d'origine qu'est la méditerranée. Cependant, les deux autres sites expérimentaux étaient fortement infestés ce qui nous laisse supposer une déficience de la phéromone sexuelle.

En 2018, nous avons obtenu un avenant nous permettant de poursuivre une nouvelle saison de terrain. Malgré la délocalisation de deux sites vers des zones plus infestées, le niveau de capture a été faible et ne nous a pas permis d'éprouver le matériel en condition de forte population. Cependant, cette nouvelle année a permis de concrétiser la collaboration avec le Conseil Départemental des Côtes d'Armor en vue de développer un réseau d'utilisateurs du CapTrap® afin de récolter de nombreuses données de vol de la processionnaire du pin, première étape indispensable pour le développement de modèles prédictifs.

### **3. CALENDRIER PREVISIONNEL DE FIN DE PROJET**

*Le cas échéant, indiquer et justifier les changements par rapport au calendrier prévisionnel*

Les expérimentations prévues initialement dans le projet ont toutes été conduites dans les délais indiqués, et sont à ce jour terminées. Les résultats de l'été 2017 n'étant pas à la hauteur de ceux attendus, du fait de problèmes indépendants des pièges eux-mêmes, nous avons reconduit l'expérimentation durant l'été 2018 afin de comparer les pièges sur l'ensemble des paramètres initialement prévus (en l'occurrence le niveau de saturation, et les faux-négatifs éventuels à haut niveau de capture). Les essais de 2018 n'ont pas permis d'éprouver les pièges dans des conditions de surpopulation mais ont permis de confirmer leur intérêt et d'amorcer la création d'un réseau d'utilisateurs.

### **4. PREMIERS ACQUIS TRANSFERABLES (METHODES, OUTILS, RECOMMANDATIONS, REALISATIONS PRATIQUES)**

En dehors des limitations indiquées ci-dessus, les deux pièges connectés se sont montrés capables d'assurer un *monitoring* à bas niveau de capture. Seul un haut de niveau de capture permettra de les départager réellement sur la question de la saturation et des faux-négatifs. En matière de *monitoring* de la phénologie de la processionnaire du pin (et non de simple déclenchement de la lutte à partir d'un certain niveau de capture dans les pièges), le Captrap® tire un avantage du gain de temps qu'il permet, à partir du moment où les comptages (non vérifiables sans aller sur le terrain) se sont avérés très fiables (à ce niveau

de capture). Les données transmises correspondent en effet à des comptages qui ne nécessitent aucune manipulation supplémentaire de l'opérateur pour être exploitables. Les résultats qui nous intéressent dans le cadre d'un *monitoring* de la phénologie sont directement visualisables dans leur intégralité sous forme synthétique sur l'interface web (et exportables très facilement).

## 5. VALORISATION DES TRAVAUX ACHEVES OU A VENIR

*LISTER LES VALORISATIONS REALISEES OU EN COURS DANS LE CADRE DU PROJET (PUBLICATIONS SCIENTIFIQUE PARUES ET EN PREPARATION, COMMUNICATIONS A DES CONGRES, RAPPORTS DE STAGE, PUBLICATIONS DE VALORISATION/TRANSFERT, LISTE DES BREVETS DEPOSES OU EN COURS DE DEPOT SE RAPPORTANT AUX RESULTATS OBTENUS AU TITRE DU CONTRAT ; AUTRES (A PRECISER))*

<b>PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES</b>	
Publications scientifiques parues	
Publications scientifiques à paraître	
Publications scientifiques prévues	
Participations passées à des colloques	<p style="text-align: center;"><b>COLLOQUES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Journée technique « processionnaire du pin » organisée par Polleniz et la ville de La Baule en juin 2017 sur les problèmes de gestion liées aux décalages de cycle : présentation de la problématique et des outils arrivant sur le marché testé dans le cadre de ce projet (public : gestionnaires)</li> <li>- Idem, colloque IUFRO à Thessalonique en septembre 2017 (public : scientifiques)</li> <li>- CD31, 14 mai 2018</li> <li>- Grèce, présentation dédiée au projet, 12 septembre 2017</li> <li>- Réseau Français Végétal, Paris, 3 octobre 2018</li> <li>- ADALEP, 4 octobre 2018</li> <li>- Département Santé des Forêt, 14 novembre 2018</li> <li>- Echanges bilatéral RILA – Sofia, Académie des Sciences Bulgares, Bulgarie, octobre 2017 et 20 novembre 2018, prise de contact en vue de monter un réseau d'utilisateurs sur place (3 pièges Captrap® prévus en 2019)</li> <li>- Colloque Tunisie, décembre 2018. Présentations des résultats du projet AutoPPhéno et prise de contact en vue de monter un réseau d'utilisateurs sur place</li> <li>- Cellule de crise Processionnaire du Pin, PNR des Grands Causses, Millau, 25 janvier 2019</li> </ul>
Participations futures à des colloques	
Thèses passées	<b>THESES</b>

Thèses en cours

Octobre 2018, thèse à l'INRA d'Orléans sur la modélisation et la phénologie de la processionnaire du pin – Laura Poitou

#### **ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION**

Articles de valorisation parus

Articles de valorisation à paraître

Articles de valorisation prévus

#### **AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS**

Actions vers les médias

(interviews...) effectuées

Actions vers les médias prévues

#### **ENSEIGNEMENT - FORMATION**

Enseignements/formations dispensés

FREDON National (J. Rousselet, formateur), 13 mars 2019 : prise de contact partenaire, présentation des outils automatisés

Enseignements/formations prévus

#### **EXPERTISES**

Expertises menées

Expertises en cours

Expertises prévues

#### **METHODOLOGIES (GUIDES...)**

Méthodologies produites

Méthodologies en cours d'élaboration

Méthodologies prévues

#### **AUTRES**

Conventions pour le déploiement de pièges automatisés (Captrap®)  
Dépôt de projet en lien avec la thématique

2018, 2019, convention CD 22

2019, convention ARS

ANR PHENEC, qui s'appuie sur les pièges automatisés en vue de développer un modèle (1<sup>ère</sup> phase de sélection passée)

## **6. RAPPORT SCIENTIFIQUE**

*Dans le rapport scientifique, nous vous prions de fournir des éléments méthodologiques présentés succinctement et clairement afin de pouvoir avoir une vision des limites des résultats*

**(Environ 10 pages, hors annexes)**

**AUTOPPHENO –ÉTUDE DE TECHNOLOGIES AUTOMATISEES DE  
MONITORING DES ADULTES LEPIDOPTERES RAVAGEURS AFIN  
D’OPTIMISER LES PERIODES D’UTILISATION DES STRATEGIES DE  
LUTTE EN ALTERNATIVE AUX PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES.  
ETUDE CONDUITE SUR LA PROCESSIONNAIRE DU PIN**

### **Ecophyto JEVI**

**Maurane BURADINO, coordinatrice  
INRA - Unité expérimentale Entomologie et Forêt Méditerranéenne (Avignon),  
unité porteuse du projet**

**Jérôme Rousselet, partenaire  
INRA - Unité de Recherche de Zoologie Forestière (Orléans)**

## 1- Contexte de l'étude

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, est un insecte défoliateur, principalement des pins et des cèdres. Cette espèce constitue le deuxième ravageur le plus signalé dans la base de données du Département de la Santé des Forêts (DSF, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation) (4.5% des 75600 signalements de 1989 à 2006 ; Nageleisen *et al*, 2010). Elle est à ce titre étudiée depuis de nombreuses années par différentes unités du département Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques de l'INRA, dont l'UEFM et l'URZF qui collaborent sur ce projet. Alors que l'impact phytosanitaire peut prendre une dimension économique en forêt, les conséquences de la défoliation sont essentiellement esthétiques en JEVI.

Le problème majeur posé en JEVI est d'ordre sanitaire. Les chenilles sont en effet urticantes du 3<sup>ème</sup> au 5<sup>ème</sup> et dernier stade larvaire. Elles représentent un risque pour la santé humaine avec des réactions allant de l'urticaire de contact jusqu'au choc anaphylactique (Roques, 2015). L'exposition à des poils urticants peut également entraîner la mort d'animaux domestiques, et en particulier d'animaux de compagnie (chiens, chats). C'est d'ailleurs la mort d'un cheval qui a conduit à la seule condamnation en justice que nous connaissions (celle d'un exploitant forestier, voisin du pré, pour trouble anormal de voisinage). La période lors de laquelle les risques d'exposition sont les plus élevés correspond aux processions de nymphose. Il s'agit du moment où les chenilles, arrivées à la fin de leur développement, quittent les arbres pour s'enterrer dans le sol (normalement entre la fin de l'hiver et le milieu du printemps selon les régions). On constate alors un pic d'interrogation très marqué dans le moteur de recherche Google pour les termes relatifs à « chenilles processionnaires » (cf. Google Trends). Les risques sont plus faibles, mais non nuls, en dehors de cette période, en particulier lors de fortes infestations (« essaimage » des poils urticants depuis les nids situés dans les arbres ou déterrement de sites de nymphose).

Depuis les années 1990, il s'agit d'un problème sanitaire croissant en raison de (i) l'expansion de l'aire de répartition vers le nord et en altitude sous l'effet du réchauffement climatique (Roques *et al*, 2015) et de transports accidentels à longue distance probablement liés à des plantations d'arbres d'ornement en grande motte (Robinet *et al*, 2012) (cf. figure 1 par exemple) (ii) la colonisation des milieux non forestiers via les arbres ornementaux des villes, villages et hameaux (Rossi *et al*, 2015 ; Rossi *et al.*, 2016). La méconnaissance de l'insecte dans les zones néo-colonisées, en particulier urbaines, apparaît d'ailleurs comme un facteur de risque supplémentaire. On estime aujourd'hui à 21°000 le nombre de communes françaises concernées (à des degrés très divers) dans 84 départements sur 96 (et 13 régions sur 13).

Depuis le milieu des années 2000, une troisième cause d'accroissement des problèmes en voie d'émergence est l'évolution de la phénologie de l'insecte, vraisemblablement sous l'effet là encore des changements climatiques (Robinet *et al*, 2015). Il existe des données historiques, enregistrées dans les années 1970 par l'IRSTEA (anciennement CEMAGREF), qui montrent la relative stabilité de la phénologie jusqu'à une période récente, alors que dorénavant un grand nombre de témoignages font part de phénologies atypiques et/ou erratiques (observations DSF, FREDON et INRA). Les constats que nous avons faits, confirmés par les gestionnaires, ont en grande partie motivé la réponse à cet AAP visant à développer la mise en œuvre d'outils de *monitoring* et d'aide à la décision. En juin 2017, les décalages de cycle ont donné lieu à une journée technique « processionnaires » dédiée à cette question (organisée par Polleniz, anciennement FDGDON44&85, et la mairie de La Baule, commune touristique qui consacre de l'ordre de 40 000 EUR par an à la lutte contre la processionnaire du pin).

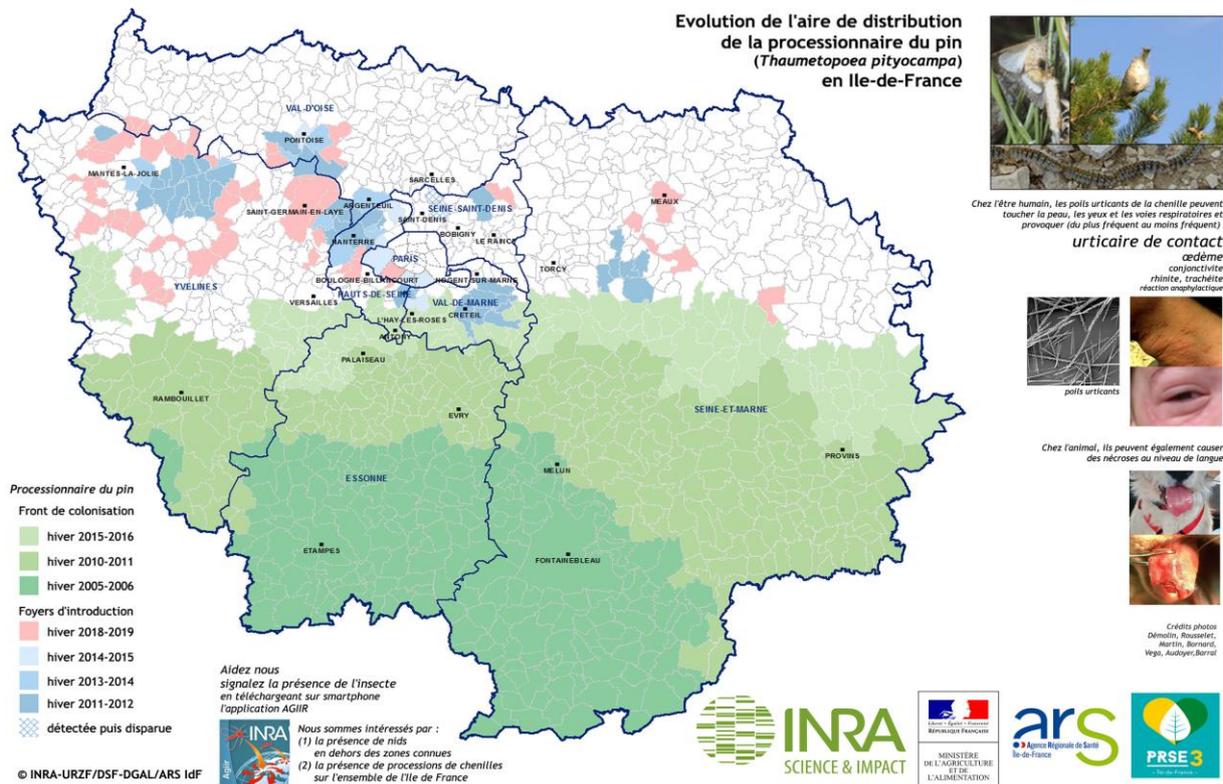
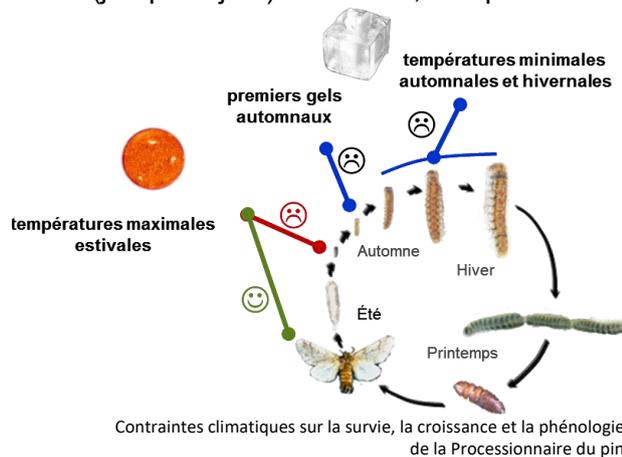


Figure 1 : évolution de l'aire de distribution de la processionnaire du pin en Ile-de-France

Un des éléments les plus marquants des changements en cours est que les vagues de chaleur automnales (« étés indiens »), fréquentes ces dernières années, se traduisent par l'apparition de processions de nymphose précoces (pré-hivernales), alors qu'une autre part des populations continue à « nymphoser » aux périodes habituelles (post-hivernales), voire donne lieu également à des processions tardives (jusqu'en juin). Toutefois, ces phénomènes peuvent montrer de très fortes variations interannuelles, là où les variations phénologiques étaient généralement d'une quinzaine de jours dans les années 1990 (tout au moins dans les zones à climat contraignant, avec des hivers froids et/ou des étés chauds). Les périodes à risques, allant dorénavant de 2 à 8 mois, sont très difficiles à anticiper. C'est particulièrement le cas en zones urbanisées, donc en JEVI, où les îlots de chaleur urbains contribuent à l'hétérogénéité de la phénologie aux échelles locale et régionale (Backe *et al*, en préparation).



L'évolution de la phénologie au niveau larvaire pose également la question de celle au niveau du vol. Celle-ci est plus difficilement perceptible car son suivi nécessite des dispositifs de piégeages des papillons. Seuls certains professionnels les mettent en place pour déterminer la date à laquelle ont lieu les 50% d'émergences, qui permettait jusqu'ici d'évaluer grossièrement les dates des pics d'éclosions des néonates (4-5 semaines plus tard) et celles des traitements au *Btk* qui visent les jeunes stades larvaires (généralement les L2 et L3, suffisamment mobiles pour avoir de bonnes chances de se nourrir sur du feuillage contaminé et suffisamment sensibles pour avoir une efficacité totale si la mise en œuvre est correcte, Martin, 2005). Chez cette espèce dont le papillon a une vie très courte

(généralement une nuit), la courbe de vol des mâles, similaire aux femelles, constitue une approximation de la dynamique de ponte. Même si à ce jour aucune donnée ne permet de l'étayer formellement, l'évolution de la phénologie du vol est suspectée pour être la cause des échecs plus fréquents des traitements au *Btk* (journée technique « processionnaires », La Baule, 2017). Dates de vol et températures conditionnant la suite du développement embryonnaire et larvaire, c'est en cascade l'ensemble du cycle jusqu'aux processions, et donc l'ensemble des méthodes de lutte alternatives, qui peuvent être affectés par une plus grande variabilité du vol si elle se confirmait (fortes variations du 50% d'émergence, allongement des queues de distribution à des saisons jusqu'ici inhabituelles, ...). Avec une plus grande permissivité du climat, il est notamment attendu que la descendance de femelles volant trop tardivement ne soit plus éliminée par les premiers gels (les larves devant avoir le temps d'atteindre le stade L3 pour y résister ; Démolin, 1969). La répétition d'échecs de lutte pourrait conduire à la désaffection de certaines méthodes alternatives nécessitant une bonne connaissance de la biologie de l'insecte. Par ailleurs, indépendamment des évolutions en cours, la méconnaissance de la phénologie est considérée comme une des principales causes d'échec de la lutte (Brinquin *et al*, 2013) et plaide également pour le développement d'outils d'aide à la décision faciles d'emploi. La phénologie varie en effet entre régions bioclimatiques, parfois à l'échelle d'un département, avec les gradients climatiques latitudinaux (sud/nord), longitudinaux (océanique-continentale d'ouest en est), et altitudinaux, ainsi qu'entre milieux urbains et forestiers. Il est donc difficile de fournir aux collectivités et aux particuliers un calendrier de lutte adapté à leur situation.

Les méthodes de lutte mises en œuvre par les communes françaises allaient jusqu'ici de la lutte chimique à la lutte biologique : pulvérisations d'insecticides chimiques et/ou d'insecticides microbiologiques (*Bacillus thuringiensis kurstaki*, *Btk*), échenillage manuel, piégeage des papillons, piégeage des chenilles, favorisation de la prédation, gestion du paysage (Brinquin *et al*, 2013 ; Martin *et al*, 2013). En ce qui concerne la processionnaire du pin, l'efficacité (potentielle) des traitements *Btk*, l'arrivée de nouvelles méthodes de lutte alternatives aux pulvérisations et la sensibilité croissante aux questions environnementales ont permis de réduire considérablement l'usage des pesticides de synthèse avant l'arrivée des évolutions réglementaires actuelles (Brinquin *et al*, 2013). Toutefois les méthodes alternatives sont plus exigeantes en matière de conditions de mise en œuvre, et notamment en matière de calendrier. Les résultats peuvent parfois ainsi apparaître insuffisants, voire décevants, au regard de la problématique sanitaire, et la désaffection peut faire suite à l'engouement. Lutte collective combinant plusieurs méthodes à différentes étapes du cycle biologique et accompagnement sont deux approches indispensables au succès. Par ailleurs, un des enjeux chez cette espèce est maintenant de réduire et d'optimiser le recours au *Btk*, dont les impacts potentiels sur l'entomofaune non-cible (lépidoptères) n'en permettent pas toujours l'usage. La possibilité d'éviter ces impacts (en retardant les périodes de traitement ou en optimisant les pulvérisations), comme l'efficacité du traitement elle-même, nécessitent une bonne prévision du déroulement du cycle biologique malgré les variations interannuelles de celui-ci.

L'avis relatif aux méthodes alternatives au traitement chimique chez les processionnaires rendu par l'ANSES (saisine 2012-SA-0149) distingue des zones de tolérance zéro (cour d'école, parc très fréquenté, avenue bordée d'arbres à grand intérêt touristique...) et des zones où l'objectif se réduit à une limitation des nuisances à un niveau acceptable (bords de route, grands parcs urbains...). Enjeux sanitaires (pouvant justifier le recours au *Btk*) et enjeux environnementaux (pouvant le disqualifier) doivent être mis en balance pour déterminer le niveau de la réponse apportée localement. Cet avis préconise donc le recours à des combinaisons de méthodes alternatives aux pulvérisations en premier lieu, ainsi que la mise en place de mesure de surveillance des populations de processionnaires.

Pour observer la phénologie de la processionnaire du pin, l'UEFM a développé avec différents partenaires des solutions efficaces de *monitoring* par piégeage phéromonal. Cependant, ces méthodes sont très consommatrices en temps et en personnel et ne permettent que des relevés hebdomadaires ou plus souvent bi-hebdomadaires dont la précision n'est plus suffisante pour suivre le vol et prédire correctement les éclosions et

l'évolution larvaire ultérieure dans le contexte actuel. Par ailleurs ce coût de mise en œuvre en matière de ressource humaine empêche un déploiement de ces dispositifs de suivi à large échelle, ainsi que leur démocratisation auprès de publics moins spécialisés. Toutefois, de nouvelles méthodes de *monitoring* émergent avec l'arrivée sur le marché de pièges automatisés. S'ils s'avéraient opérationnels sur la processionnaire du pin, ces pièges permettraient d'acquérir des données standardisées à large échelle sur la phénologie du vol que ce soit à des fins scientifiques (effets du changement climatique) ou de gestion.

A terme, la simplification de l'acquisition de données à grande échelle permettra également d'améliorer les connaissances sur les différences de phénologie au sein de cette espèce. Pour les unités impliquées dans ce projet, ceci ouvrira des perspectives de développement d'un modèle prédictif permettant d'anticiper au mieux les périodes à risques sanitaires ainsi que la mise en place des méthodes de biocontrôle. Ces méthodes pourront être étendues à d'autres espèces de Lépidoptères ravageurs forestiers et JEVI (pyrale du buis, mineuse du marronnier...). La levée de ce verrou technique permettrait de constituer un réseau national d'observations couvrant les différentes régions bioclimatiques et permettant d'alimenter en données à la fois gestionnaires et communauté scientifique.

#### Bibliographie :

- Brinquin, A. S. (2013). *Enquête sur les pratiques de lutte contre la processionnaire du pin mises en œuvre en zones non agricoles*. Journée technique "Gestion de la Processionnaire du Pin", Lyon, FRA (2013-06-07 - 2013-06-07). 38 p. <https://prodinra.inra.fr/record/284673>
- Démolin G. (1969). *Bioécologie de la Processionnaire du pin, Thaumetopoea pityocampa Schiff. Incidence des Facteurs Climatiques*. Rapport, 21 pp.
- Martin (2005) *La processionnaire du pin, biologie et protection des forêts – synthèse des recherches bibliographiques et des connaissances*. Formation « protection des forêts contre les insectes ravageurs », INRA-UEFM, septembre 2005
- Nageleisen L.-M., Piou D., Saintonge F.-X., Riou-Nivert P. (2010) *La santé des forêts : maladies, insectes, accidents climatiques ... diagnostic et prévention*. Département de la Santé des Forêts – Institut pour le Développement Forestier, Paris, 608 pp.
- Robinet C., Laparie M., Rousselet J. (2015). *Looking beyond the large scale effects of global change: local phenologies can result in critical heterogeneity in the Pine Processionary Moth*. *Frontiers in Physiology*, 6:334. doi:10.3389/fphys.2015.00334. <http://prodinra.inra.fr/record/332008>
- Roques A., (2015) *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. Springer/ Quae.
- Rossi J.-P., Garcia J., Roques A., Rousselet J. (2015). *Trees outside forests in agricultural landscapes: spatial distribution and impact on habitat connectivity for forest organisms*. *Landscape Ecology*, 12 p. doi:10.1007/s10980-015-0239-8. <http://prodinra.inra.fr/record/310516>
- Rossi J.-P., Imbault V., Lamant T., Rousselet J. (2016). *A citywide survey of the pine processionary moth Thaumetopoea pityocampa spatial distribution in Orléans (France)*. *Urban Forestry & Urban Greening* 20: 71-80. <http://prodinra.inra.fr/record/368930>

## 2- Objectifs du projet

L'objectif de ce projet était de tester les intérêts et limites de trois pièges arrivés récemment sur le marché permettant d'automatiser totalement ou partiellement le *monitoring* de la processionnaire du pin : *Collection Bottle Rotator*<sup>®</sup> (associé à un piège à entonnoir classique), Captrap<sup>®</sup> et Trapview<sup>®</sup>. Ces trois pièges reposent sur des principes différents.

Le *Collection Bottle Rotator* (CBR) est un collecteur rotatif programmable (conçu et commercialisé par une entreprise américaine) qui se place sous un piège à entonnoir classique (dont le fond est supprimé). Il dispose de 8 bouteilles de collecte qui permettent d'obtenir des données journalières avec un relevé hebdomadaire. Il n'y a ni comptage automatique ni télétransmission de données. Le tri et le comptage des papillons sont réalisés par l'utilisateur après les relevés. Par rapport aux méthodes actuellement employées, il nécessite de maintenir la même fréquence de relevés par un opérateur mais améliore le grain d'observation. Le piège est raccordé à une batterie rechargé par un panneau solaire.

Le Captrap<sup>®</sup> est un piège à entonnoir (conçu et commercialisé par une TPE française) qui dénombre les papillons capturés à l'aide d'un détecteur de mouvement situé dans l'entonnoir et qui télétransmet les données (accessibles sur une interface web). Il peut être associé à un capteur de température et d'humidité, ainsi qu'à une Station Météo Virtuelle (SMV<sup>®</sup>) qui fournit des données météorologiques simulées au niveau du site d'installation (température, humidité relative, précipitations, rayonnement global, vitesse et direction du vent). Chez la

noctuelle de la tomate, le détecteur est associé à un enregistreur de la signature acoustique du papillon en vol afin d'éliminer d'éventuels faux-positifs (capture et comptage d'individus d'une autre espèce). La sensibilité du détecteur peut en outre être adaptée à l'espèce. L'alimentation en énergie est assurée par un (ou des) panneau(x) solaire(s) (pouvant être déporté ou non selon le modèle). La transmission des données s'effectue par réseau SIGFOX (à bas-débit et bas coût) ou GSM (option payante). Sur l'interface, l'opérateur a la possibilité de renseigner diverses interventions ou de rajouter des comptages manuels.

Le Trapview® est un piège proche du type delta (conçu par une entreprise slovène, et commercialisé en France par un revendeur belge) qui transmet quotidiennement par réseau GSM des photographies d'une plaque de glue sur laquelle les papillons sont piégés. Les photographies sont accessibles sur une interface web et sont associées à des données de comptage automatique des papillons par un système d'analyse d'images (qui peut être adapté à l'espèce). L'utilisateur a la possibilité de modifier le comptage sur les photos (carré jaune = comptage automatique par défaut, carré vert = comptage indiqué par l'utilisateur ; voir 4.5.1.). Un panneau solaire alimente le piège en énergie.



Figure 2 : Collection Bottle Rotator, Captrap® et Trapview® (de gauche à droite)

Les objectifs initiaux étaient :

- (1) de savoir si ces pièges conçus au départ pour le déclenchement de la lutte en milieu agricole (Trapview, Captrap), ou la surveillance de moustiques (CBR), étaient mobilisables chez la processionnaire du pin pour un *monitoring* en JEVI sans coût de R&D supplémentaire. Dans le cas du Captrap, le coût de développement pour associer la signature acoustique du papillon au système de détection a été estimé à 35 000 EUR. Dans le cas du Trapview, il s'agissait de tester si le comptage automatique était opérationnel en l'état sans intervention régulière de l'utilisateur sur l'interface en cours de saison.
- (2) d'évaluer les risques de saturation du piège, de faux-positifs (comptage d'un insecte autre que celui visé, comptage fictif d'individus) et de faux négatifs (papillon capturé non dénombré), la facilité de mise en œuvre, l'autonomie et les contraintes de maintenance,

### 3. Méthodologie

Un dispositif expérimental a été installé en 2017 dans la région d'Avignon et dans la région d'Orléans. Le premier site était donc situé en climat méditerranéen et le second en climat océanique dégradé. Chacun des sites pouvait être considéré seul pour le test des pièges. Le choix de plusieurs sites visait à (1) se placer dans des régions phénologiquement différenciées où les attendus étaient différents (début, pic et fin de vol plus tardif à Avignon) (2) se placer dans des régions écologiquement différenciées où les risques de faux-positifs n'étaient en partie pas les mêmes (3) disposer de données de référence pour la région (4) minimiser les risques d'année à bas niveau de population (les populations de

processionnaires pouvant présenter des cycles de 6 à 9 ans suivant les régions). Un dispositif supplémentaire (par rapport à la proposition initiale) a pu être également installé dans la région de Saint-Brieuc (Fréhel, Côtes d'Armor, climat océanique *a priori* plus « permissif » que les deux autres) suite à une collaboration mise en place avec cette commune. A titre de simple essai, un Captrap (seul) a été installé sur l'Île-de-Ré (seule région montrant des phénomènes de processions précoces au moins depuis les années 1970). Suite aux problèmes rencontrés en 2017, le dispositif a été reconduit en 2018, et en ce qui concerne la région méditerranéenne déplacé de la région d'Avignon à la région de Millau.

Le choix des sites expérimentaux était restreint par plusieurs contraintes : (1) être facilement accessibles et permettre un suivi quotidien (samedi, dimanche, jours fériés inclus) (2) être sécurisés par rapport aux risques de vol et de dégradation, (3) être le plus infesté possible par la processionnaire du pin.

### 3.1.. Protocole 2017 :

Le protocole 2017 correspond à celui initialement prévu. Les dispositifs étaient situés respectivement sur la commune d'Aramon (Gard, site particulier), d'Ardon (Loiret, site INRA) et de Fréhel (Côtes d'Armor, site communal).

Sur chaque site, ont été installés :

- 2 Captraps®: (piège attendu plus adapté au *monitoring* de la processionnaire et disponible dans le cadre du contrat de prestation avec l'entreprise).
- 1 Trapview®
- 1 Cameratrapp® sur Collection Bottle Rotator® (CBR)

A Avignon, a été installé comme témoin de référence :

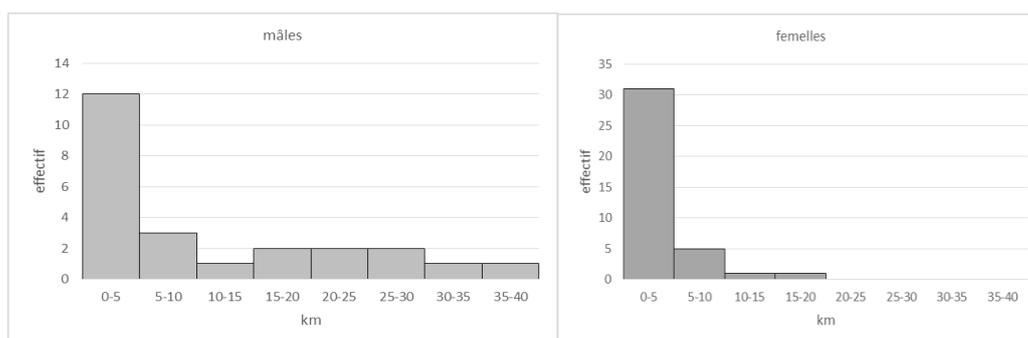
- 1 Cameratrapp® (piège à entonnoir utilisé pour le *monitoring* de plusieurs Lépidoptères dont la processionnaire du pin. Par ailleurs, le Cameratrapp sur CBR peut aussi être considéré comme un second témoin vis-à-vis des pièges automatisés présentant un *design* totalement (Trapview) ou légèrement (Captrap) différent.

A Orléans, ont été installés comme témoins de référence :

- 6 pièges à entonnoir sur des emplacements où ils avaient déjà été mis en place en 2015 et 2016 pour bénéficier de cette référence aux 2 années de vol précédentes

Les pièges étaient espacés de 15 à 20 m les uns des autres, placés à hauteur d'homme entre 1,50 et 1,80m (à l'exception des 6 pièges à entonnoir d'Orléans répartis sur près de 18 ha au sein du site INRA, voir carte). Les relevés ont été effectués de façon quotidienne pendant toute la période de vol (samedi, dimanche et jours fériés inclus, de juin à octobre).

Les capacités de vol des mâles sont connues pour être de plusieurs kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres (contrairement aux femelles plus philopatrices, avec une large fraction d'entre elles ne dispersant pas au-delà d'1 km ; voir figures ci-dessous ; N.B. : le front de colonisation avance d'environ 5 km par an ; Roques, 2015). Des données de génétique des populations ont montré que les mâles brassent les populations à une large échelle (panmixie jusqu'à 50 km minimum ; Roques, 2015).



Capacités de vol des papillons de processionnaire du pin en manège de vol (Sauvard, comm. pers.)

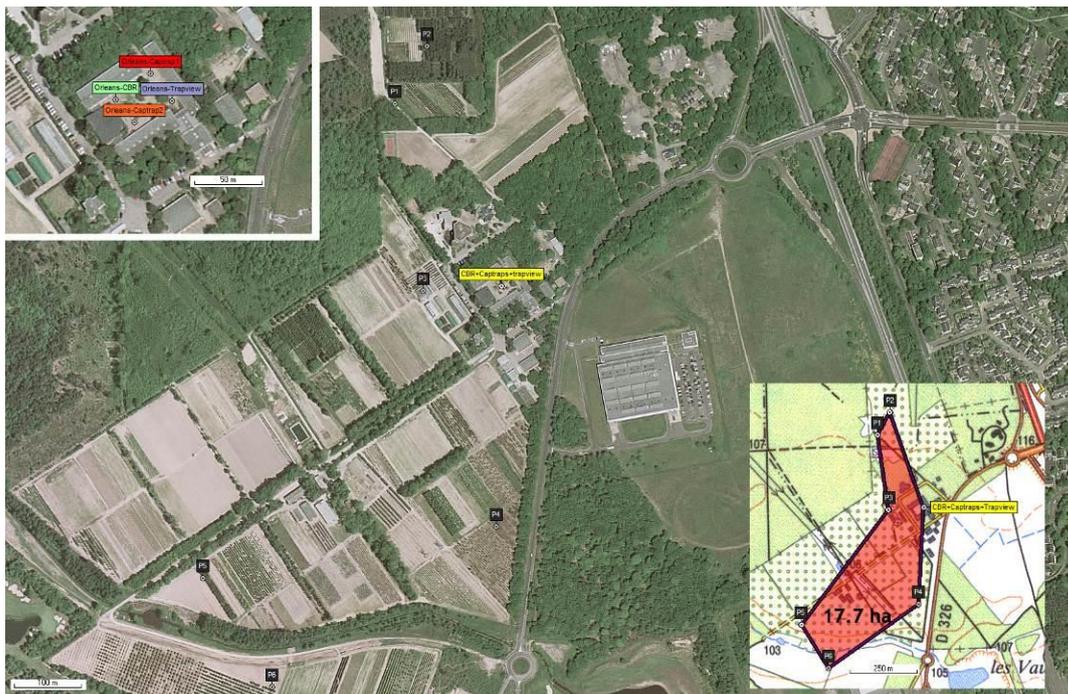
Les mâles émergent plus tôt dans la nuit que les femelles, ce qui est généralement interprété comme un évitement de la consanguinité et/ou de la compétition entre apparentés chez cette espèce grégaire. Des observations (non expérimentales et non quantifiées) semblent indiquer qu'ils cherchent à disperser avant de chercher à s'accoupler.

Ces *a priori* ont justifié le choix d'un *design* expérimental de base (commun à tous les sites) avec peu de pièges concentrés dans l'espace, donc dans un environnement identique (moins coûteux qu'un dispositif basé sur un grand nombre de pièges dispersés sur plusieurs kilomètres). Cependant, ce *design* expérimental suppose un niveau de captures, et donc un niveau de population, ne correspondant pas à une année basse (creux d'un cycle) pour que les pièges concentrés dans l'espace ne se partage pas de façon stochastique le peu de mâles patrouillant localement et échantillonne dans la population de façon représentative de la phénologie. L'autre raison du choix effectué est que les gestionnaires utilisent généralement un nombre très limité de pièges (le plus souvent sur un site entre 1 et 3 pièges, espacés de quelques dizaines à quelques centaines de mètres).

Les cartes ci-dessous présentent l'environnement des dispositifs.



Emplacement du dispositif à Aramon



Emplacement du dispositif à Ardon

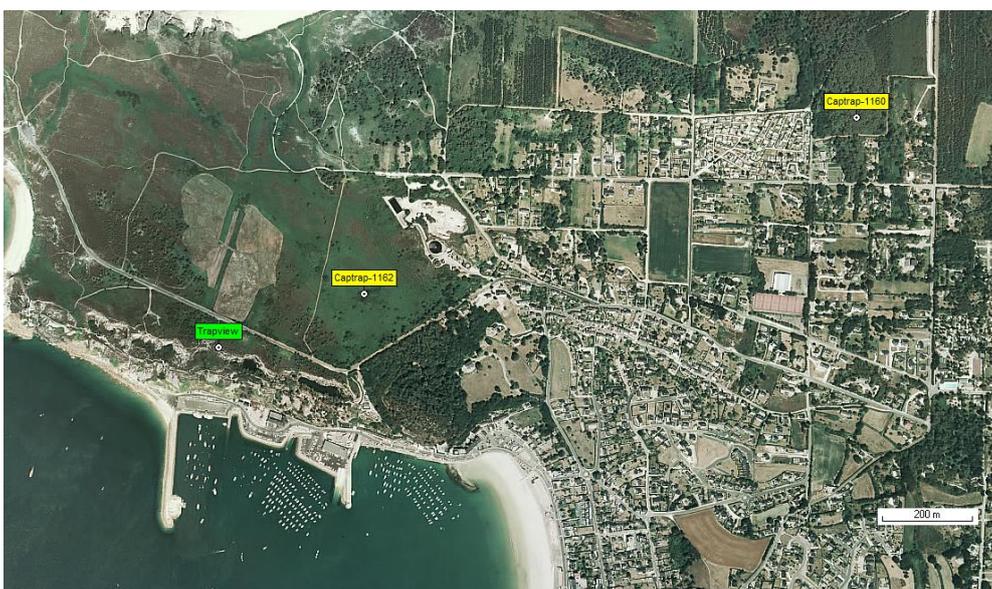


Emplacement du dispositif à Préhérel, Fréhel (sans Cameratrap hors CBR, sinon identique à Aramon)

### 3.2. Protocole 2018

Le même protocole a été appliqué qu'en 2017 à la différence que le piège *Collection Bottle Rotator*<sup>®</sup> n'a pas été conservé du fait de son manque de fiabilité due à des pannes récurrentes.

Vu le faible niveau d'attaque à Aramon, nous avons délocalisé l'essai sur le camp militaire de La Cavalerie (Larzac, près de Millau) très fortement attaqué en 2017 avec un grand nombre de nids par arbre. En raison de l'éloignement géographique et des disponibilités du personnel militaire, les relevés ont été effectués 3 fois par semaine (et non quotidiennement). Les pièges ont tous été installés à hauteur d'homme entre 1,50 et 1,80m. Dans le département des Côtes d'Armor, le site a été déplacé de Fréhel à Erquy, suite à une convention de collaboration entre le Conseil Départemental 22 et l'INRA. Un des deux captraps (1162) a été placé à 5 m de hauteur dans un milieu ouvert entouré de pins attaqués. Le Trapview et le Captrap 1160 ont été installés sur piquet à 1,5 m de hauteur à proximité de pins attaqués.



Emplacement du dispositif simplifié à Erquy



Emplacement du site de La Cavalerie

**3. c. Pour améliorer les protocoles de préconisation, le dispositif Cameratrapp d’Orléans a été utilisé.**

Afin de comprendre si le faible taux de capture dans les pièges automatisés, nous avons utilisé les données des pièges témoins (cameratrapp) du site d’Orléans pour vérifier l’impact de la localisation du piège sur le taux de capture.

Pour cela, nous avons considéré que la somme des effectifs des 6 pièges nous donnait une distribution représentative de la population locale.

- date à laquelle nous dépassons 50 % de la population
- 50 % indique le pic de population et entraîne un déclenchement des stratégies de lutte 4 à 5 semaines suivantes (pic de ponte, estimation émergence 1<sup>er</sup> stade larvaire).

**III. d. Comparaison de l’opérabilité des pièges**

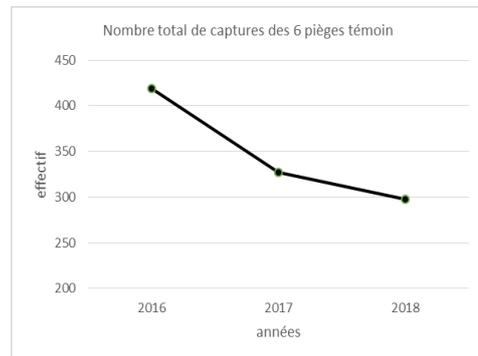
Symbole pour la grille de synthèse des pièges	--	-	+	++	NC = non-concerné
<b>FACILITE D'UTILISATION</b>					
Pose	Nécessité d’acquérir de nouvelles compétences ou d’avoir un appui technique pour manipuler le piège	Difficile pour un utilisateur expérimenté	Facile pour un utilisateur expérimenté	Sans difficulté pour un utilisateur inexpérimenté	
Intervention sur le piège	Régulières avec des difficultés à identifier les sources des problèmes et à les résoudre	Régulières mais problèmes facilement identifiables et résolus	Peu fréquentes et facilement identifiables et résolus	Rares et facilement identifiables et résolus	
Ajustement sensibilité du modèle	Impossible de régler la sensibilité	Difficile et contraignant	Facile mais contraignant (déplacement sur le terrain)	facile et sans contraintes	
Saturation du piège (le nombre d’interventions est arbitraires et peut-être à affiner avec les données)	Très rapide avec nécessité d’intervenir souvent au cours de la saison de piégeage (>6 fois)	Rapide avec 4 à 6 interventions par saison	Lente avec 2 à 4 interventions par saison	Très lente avec 0 à 2 interventions pas saison	
<b>SAV</b>					
Réponse en cas de problème	Aucune, réponse, SAV inexistant ou non-coopératif	Complexe, nombreuses relances et pas d’informations pertinentes	Facile mais nécessitant plusieurs échanges	Aucune difficulté	
Réactivité pour une intervention	Pas d’intervention ou de résolution du problème	Lente et difficile	Rapide mais difficile	Rapide et résolution du problème	
<b>FIABILITE</b>					
Taux de faux positifs / faux négatifs --> ajouter classes ? A définir	Très élevés	Elevés	Peu élevés	Rares voire nuls	
Transmissions de données --> idem taux faux postifs	Très élevés	Elevés	Peu élevés	Rares voire nuls	
<b>AUTONOMIE</b>					
Batterie	Faible, remplacement ou charges très fréquentes avec impact sur les données	Faible avec remplacement fréquent mais peu ou pas d’impact sur les données	Modéré, remplacement rares et pas d’impact sur les données	Fort: pas de remplacement de la saison, pas d’impact sur les données	
<b>COÛTS</b>					
Achat / location (indiquer les prix? gamme de prix?)	Onéreux, investissement difficile pour les participants d’un réseau	Onéreux mais réalisable pour les participants d’un réseau	Abordable, prix envisageable pour les participants d’un réseau	Economique, pas de frein à l’investissement	
Main d’oeuvre (entretien, suivi du piège)	Onéreux, avec déplacements fréquents	Moins onéreux avec déplacements moins fréquents	Modérés avec déplacements réguliers	Faibles avec peu ou pas de déplacements	
Quantité de phéromone nécessaire	2 phéromones --> double le coût			1 phéromone : coût moindre	
<b>INTERFACE LOGICIELLE</b>					
Praticité/intuitivité	Non intuitive, nécessite un apprentissage pour la maîtriser	Peu intuitive, nécessite quelq’un d’expérimenté	Assez intuitive, nécessite de se familiariser avec l’outil	Très intuitive, prise en main rapide et efficace	

N.B. : le premier niveau d’interprétation des résultats sera discuté dans la section résultats afin de centrer la discussion sur les éléments intéressant directement les objectifs du projet

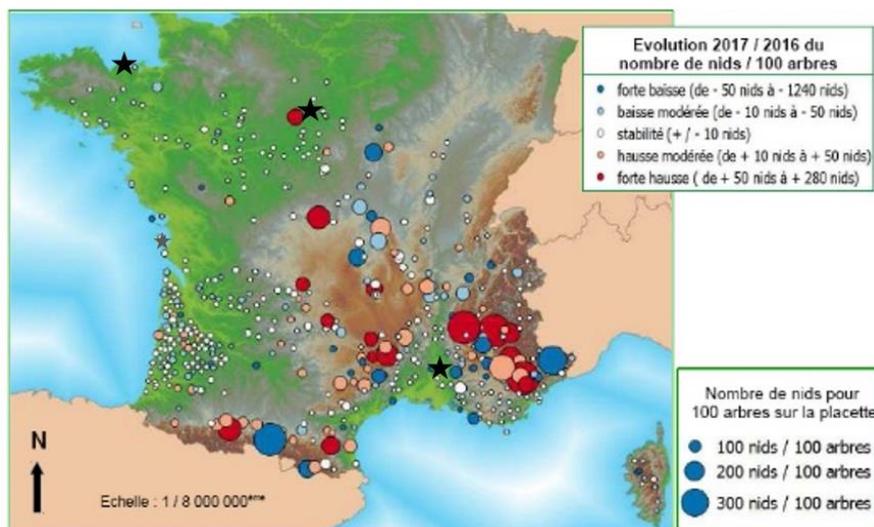
#### 4. Résultats

##### 4.1. Evolution du niveau de population de processionnaire du pin de 2016 à 2018

Les données des 6 pièges témoins d'Orléans (ci-contre) montrent une baisse du nombre total de papillons capturés sur l'ensemble de ces pièges de 2016 (année précédant l'étude) à 2018. La baisse est de 22% de 2016 à 2017 et de 9% de 2017 à 2018.

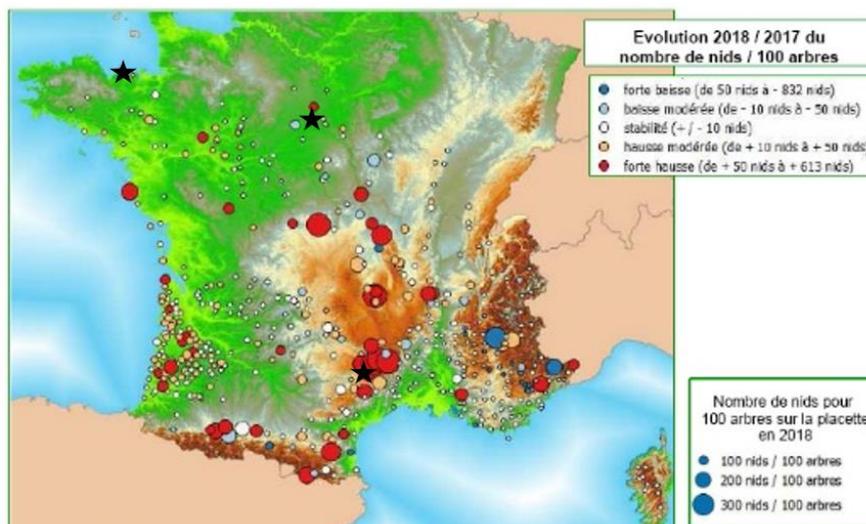


Des données similaires ne sont pas disponibles pour les autres sites mais les deux cartes ci-dessous publiées dans les bilans annuels du Département de la Santé des Forêts (DSF) représentent les niveaux d'infestation au niveau national. Elles indiquent que les 3 sites expérimentaux étaient situés dans des régions à faible niveau de population durant les deux de l'étude, ainsi que l'année précédente (avec un niveau stable ou en baisse sur les 3 ans). Les données du DSF indiquent même une surprenante stabilité à bas niveau depuis 2015.



Carte n° 3 : Importance des populations et évolution 2017 / 2016 du nombre de nids / 100 arbres sur les placettes du réseau de surveillance de la processionnaire du pin

Source : *Bilan de la Santé des Forêts, Département de la Santé des Forêts*



Carte n° 3 : Importance des populations en 2018 et évolution 2018 / 2017 du nombre de nids / 100 arbres sur les 455 placettes communes en 2017 et 2018.

#### 4.2. Nombre total de captures par saison de piégeage et par site

Le tableau ci-dessous présente le nombre total de captures de papillons de processionnaire du pin (authentifiés après relevé) pour chaque piège (par site et par saison).

	climat méditerranéen		climat océanique dégradé		climat océanique			Total (hors Ars-en-Ré)
	Aramon 2017	La Cavalerie 2018	Ardon 2017	Ardon 2018	Fréhel 2017	Erquy 2018	Ars-en-Ré 2017	
trapview	41	0	8	3	3	9	-	<b>64</b>
captrap 1	30	27	8	10	6	41	8	
captrap 2	5	14	2	8	3	4	-	
<i>total 2 captraps</i>	<i>35</i>	<i>41</i>	<i>10</i>	<i>18</i>	<i>9</i>	<i>45</i>	<i>8</i>	<b>158</b>
<i>trapview + 2 captraps</i>	<i>76</i>	<i>41</i>	<i>18</i>	<i>21</i>	<i>12</i>	<i>54</i>	<i>8</i>	
CBR sous cameratrap	0	-	3	-	0	-	-	
<b>nombre de pièges</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	
<b>total pièges auto</b>	<b>76</b>	<b>41</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>12</b>	<b>54</b>	<b>8</b>	
Témoin 1	20	5	118	148	-	-	-	
Témoin 2	-	-	4	7	-	-	-	
Témoin 3	-	-	133	96	-	-	-	
Témoin 4	-	-	19	12	-	-	-	
Témoin 5	-	-	3	3	-	-	-	
Témoin 6	-	-	6	36	-	-	-	
<b>nombre de pièges</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	-	-	-	
<b>total témoins</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>327</b>	<b>298</b>	-	-	-	
<b>nombre de pièges</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	
<b>Total tous pièges</b>	<b>96</b>	<b>46</b>	<b>348</b>	<b>319</b>	<b>12</b>	<b>54</b>	<b>8</b>	

Le nombre total de capture sur l'ensemble de la saison par piège varie de 0 à 148 (de 0 à 41 pour les pièges automatiques et de 3 à 148 pour les pièges témoin). Les captures ont été extrêmement faible avec le CBR (seulement 3 sur l'ensemble des sites ; N.B. : le piège n'a pas été réinstallé en 2018). Sur l'ensemble des sites (hors Ars-en-Ré) et des années, Trapview et Captrap ont capturé un nombre de mâles par piège similaire (respectivement 64 pour 1 piège et 158 pour 2 pièges, soit 79 par Captrap ; en moyenne  $10.7 \pm 13.9$  contre  $13.2 \pm 12.6$ ). Sur l'ensemble des pièges témoins (sites et années), la moyenne des captures par piège est de  $43.6 \pm 54.4$  ( $36.1 \pm 51.8$  si on inclut les cameratrap sur CBR). Sur l'ensemble des pièges (sites et années, témoins et pièges automatiques), la moyenne de capture sur la saison est de  $23.9 \pm 38.7$  par piège (soit environ 1 papillon tous les 4 jours si on considère seulement la période du 15/06 au 15/09). Ce résultat est très inférieur à celui escompté.

En 2017, pour le même effort d'échantillonnage en pièges automatiques (4), Aramon est le site qui a le plus piégé (76 mâles), suivi d'Ardon (21 mâles) et de Fréhel (12 mâles). En 2018 (3 pièges), c'est Erquy (54 mâles) suivi de La Cavalerie (41) et d'Ardon (21).

#### 4.3. Distribution des captures au cours de la saison de piégeage dans chaque site

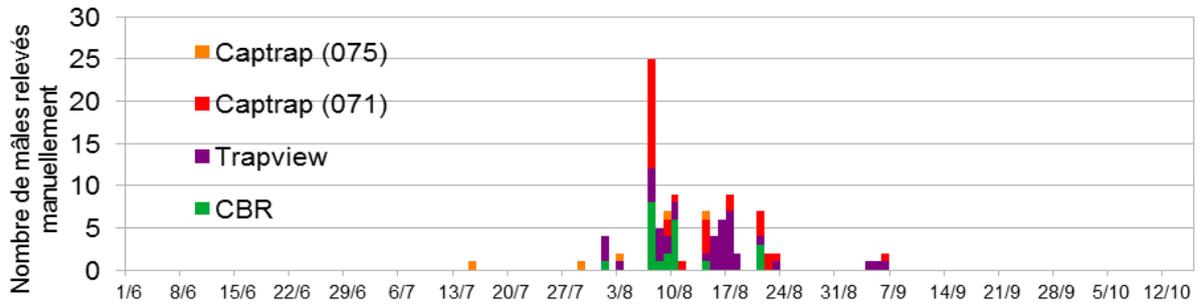
##### 4.3.1. Zone méditerranéenne

###### A. 2017 (Aramon)

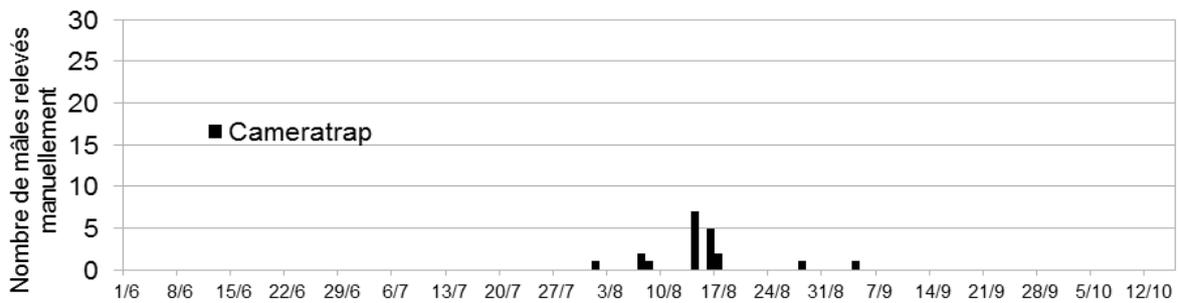
A Aramon, le nombre de captures a été relativement faible en 2017 mais cohérent avec la faible infestation observée l'hiver précédent. La date de franchissement des 50% d'émergence estimée avec les captures cumulées des 3 pièges automatiques télétransmettant les données (2 captraps + 1 trapview, est le 14/08/2017 (sur un total de 76 captures). Les premières captures ont lieu le 15/07 et les dernières le 06/09. La date de 50% de captures est également le 14/08 pour le cameratrap témoin (sur un total de 20 captures). La date des dernières captures est le 04/09, donc très proche des pièges automatiques. Par

contre, la date d'enregistrement des premières captures est beaucoup plus tardive (le 01/08, soit 17 jours plus tard). Dans l'ensemble, ces résultats sont cohérents avec ceux attendus en région méditerranéenne (Démolin, 1969 ; Abgrall, 2001 ; Robinet et al, 2015).

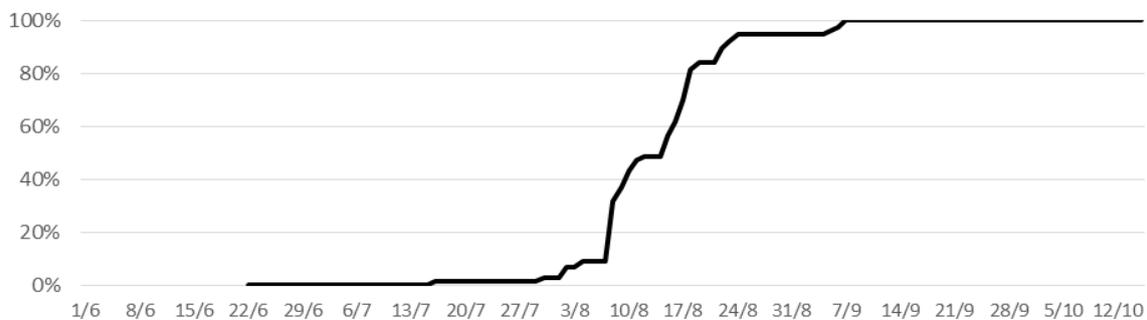
Captures pièges auto - Aramon - 2017



Captures témoin - Aramon - 2017



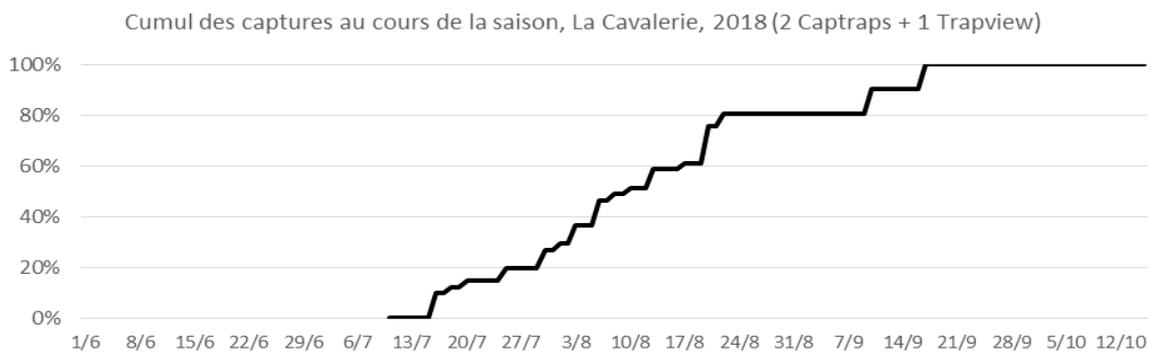
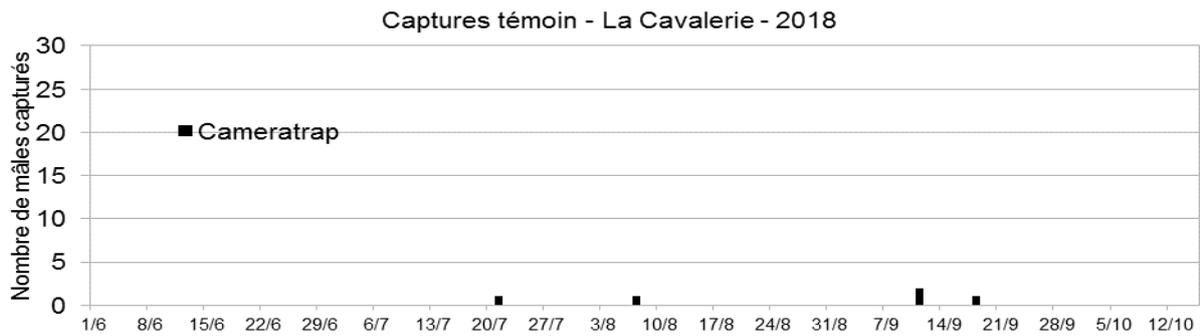
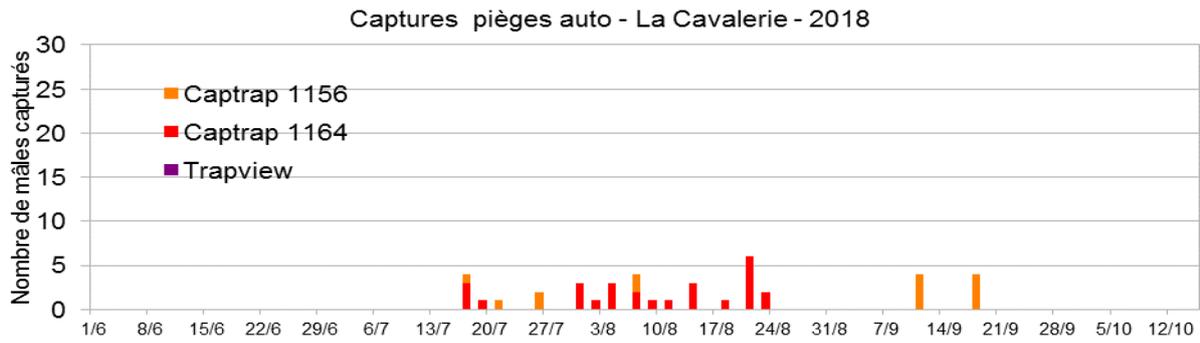
Cumul des captures au cours de la saison, Aramon, 2017 (2 Captraps + 1 Trapview)



Distribution des captures à Aramon (2017) 4 pièges automatisés (2 Captrap®, 1 Trapview® et 1 CBR®) et 1 piège témoin Cameratraps®

### B. 2018 (La Cavalerie)

A la Cavalerie en 2018, le nombre de capture est de nouveau faible (et même très faible) par rapport à un niveau d'infestation très important mesuré l'hiver précédent. Cependant, les militaires sur les lieux ont remonté un départ en procession tardif avec très peu de chenilles par procession ainsi que des gelées tardives. Le début des captures a eu lieu le 16/07 et la fin le 17/09, avec une date de 50% au 10/08. Le cameratraps qui n'a presque pas capturé au cours de la saison a enregistré les dernières captures en même temps, et les premières a une date similaire (le 20/07 ; N.B. : les relevés étaient effectués seulement 3 fois par semaine sur ce site).

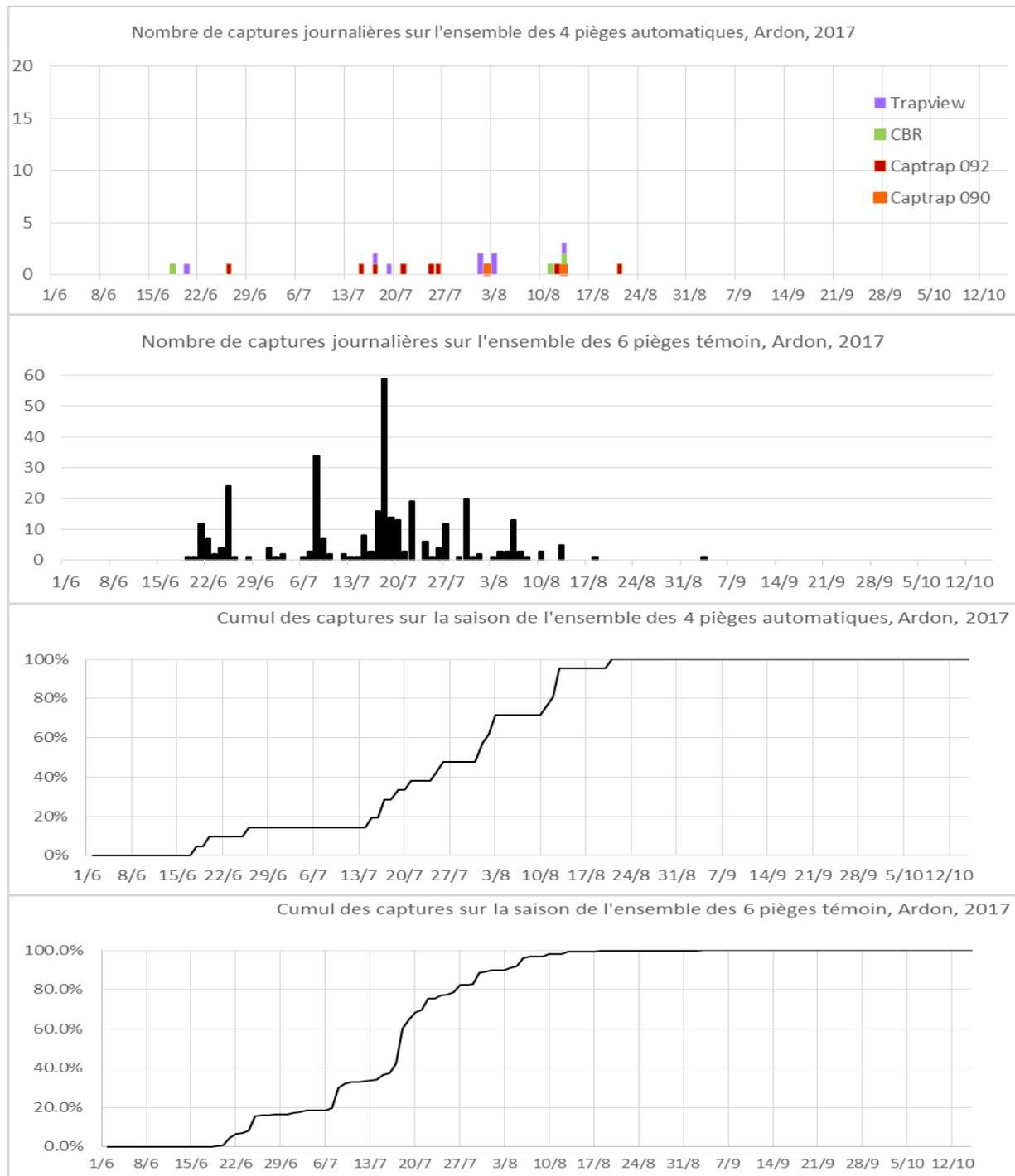


Distribution des captures à La Cavalerie (2018) : 3 pièges automatisés (2 Captrap®, 1 Trapview®) et 1 piège témoin Cameratraps®

### 4.3.2. Zone océanique dégradée

#### A. 2017 (Ardon)

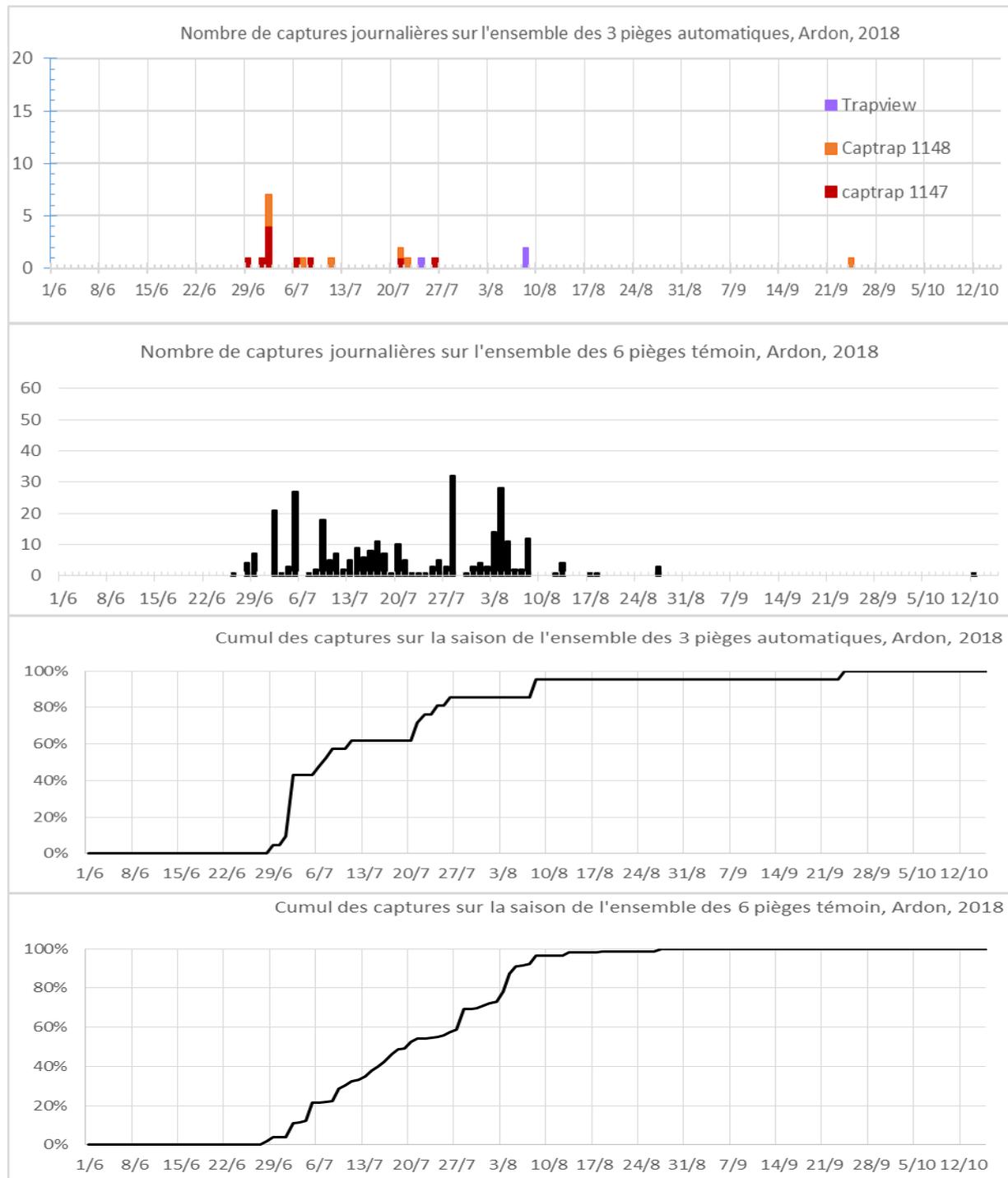
A Ardon en 2017, le nombre de captures dans tous les pièges automatisés a été extrêmement bas (cf. tableau, section 4.2.). A noter, le CBR, défaillant en cours de saison (absence de rotation) a été suivi visuellement. Pour les pièges automatisés, la date de début des captures a été le 18/06, la fin le 21/08 et la date de franchissement du 50% le 01/08. Il n'y a aucun pic de vol marqué. Les captures apparaissent stochastiques. Sur l'ensemble des 6 pièges témoins, le début est le 19/06, la fin le 03/09, et le 50% le 18/07. Seule la distribution du vol au cours de la saison enregistré avec les pièges témoin est conforme à celle attendue pour la région (50% entre la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> semaine de juillet, début 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> semaine de juin, et fin dernière semaine d'août ou 1<sup>ère</sup> de septembre ; toutefois, il est à noter des enregistrements du vol avec des patrons différents ces dernières années, par exemple en 2015 à Ardon, avec un pic fin juin / début juillet puis début août).



Distribution des captures à Ardon (2017) : 4 pièges automatisés (2 Captrap®, 1 Trapview® et 1 CBR®) et 6 pièges à entonnoir témoin

**B. 2018 (Ardon)**

Il est à noter qu'à Ardon en 2018 le nombre de captures dans tous les pièges automatiques est resté très faible. Malgré le changement de type de phéromone entre 2017 et 2018 sur ce site (et celui d'Erquy), le total de captures est stable (21 papillons) et donc apparaît (sans aucune valeur statistique) seulement en très légère croissance vu la différence d'effort d'échantillonnage (3 pièges en 2018 contre 4 en 2017, 7 papillons contre 5 en moyenne).



Distribution des captures à Ardon (2018) : 3 pièges automatisés (2 Captrap® et 1 Trapview®) et 6 pièges à entonnoir témoin

Pour les pièges automatiques, la date de début de capture a été le 29/06, la fin le 24/09 et la date de franchissement du 50% d'émergence le 08/07. Là aussi il n'y a aucun pic de vol marqué et les captures apparaissent à nouveau stochastiques. Sur l'ensemble des 6 pièges témoins, le début est le 26/06, la fin le 12/10, et le 50% le 20/07. Début de vol et date de 50% sont dans la gamme attendue pour la région, mais la date de fin de vol enregistrée est totalement inhabituelle. Cependant la capture d'un seul papillon 7 semaines après la fin des précédentes (et 3 semaines après celle des pièges automatiques) reste anecdotique, d'autant qu'à notre connaissance aucune surveillance n'est conduite habituellement jusqu'à cette date. Le vol apparaît atypique en 2018 avec sa bi-, voire tri-modalité (deux pics

marqués fin juin/ début juillet et fin juillet / début août, en plus d'un pic moins marqué mi-juillet, période habituelle connue depuis les années 1970).

En 2018, la phéromone commerciale (testée pendant un mois sur un seul emplacement supplémentaire sur le site d'Ardon ; lot mai 2018) donne un niveau de captures dans la gamme de ceux des pièges équipés avec la phéromone préparée par l'INRA IEES (et utilisée à Ardon et Erquy).



### 4.3.3. Zone océanique

#### A. 2017 (Fréhel)

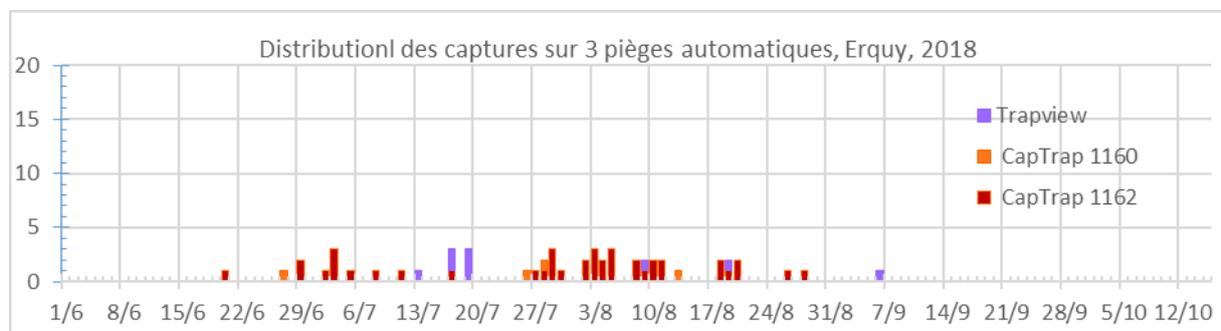
Sur le site de Fréhel, le nombre de captures a été extrêmement bas dans les pièges automatiques. Pour rappel, le suivi étant assuré par la commune, aucun Cameratrap témoin n'a été installé (seul) afin de réduire l'effort de suivi (le Cameratrap sur CBR étant considéré comme remplissant cette fonction). Le premier CBR mis en place a été défaillant dès le surlendemain de l'installation (absence de rotation). Le CBR installé en remplacement la semaine suivante a lui-même été défaillant une semaine plus tard. Un suivi visuel a été réalisé 2 à 3 fois par semaine pendant un mois puis abandonné jusqu'à la fin de la saison. Il n'a été constaté aucune capture. Les deux premiers Captraps installés n'ont pas réussi ou ont eu des difficultés à accrocher le réseau SIGFOX (nombre d'antennes disponibles bas, et probablement défaillance d'un des deux pièges). Ils ont été remplacés par un nouveau modèle (en version GSM) ayant complètement réglé ce problème pour le reste de la saison.



Distribution des captures à Fréhel (2017) : 4 pièges automatisés (2 Captraps, 1 Trapview et 1 CBR)

### B. 2018 (Erquy)

Le nombre total de captures a été multiplié par 4.5 par rapport à Fréhel (2017), alors que seulement 3 pièges (et non 4) ont été installés (la distance entre les pièges des 2 sites étant de 8 km ± 200 m). Cette différence est due principalement au Captrap 1162 (83% des captures du site), placé en milieu ouvert à 5 m de hauteur.

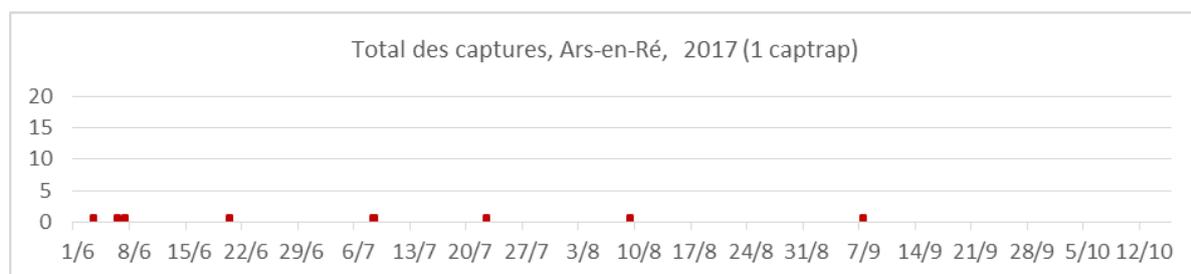


Distribution des captures à Erquy (2018) : 3 pièges automatisés (2 Captraps et 1 Trapview)

La date de début de capture est le 20/06, de 50% le 02/08 et de fin le 06/09. La distribution apparaît multimodale (mais le nombre de captures reste trop faible pour le tester et l'affirmer). Il n'existe pas de données phénologiques sur le littoral de la Manche atteint par l'insecte en 2005. Les données enregistrées correspondent néanmoins à la gamme de vol du littoral du Morbihan et de la Loire Atlantique dans les années 1970 (début mi-juin, pic(s) de fin juin à mi-août selon les années et fin de vol de fin août à mi-septembre).

### C. 2017 (Ars-en-Ré)

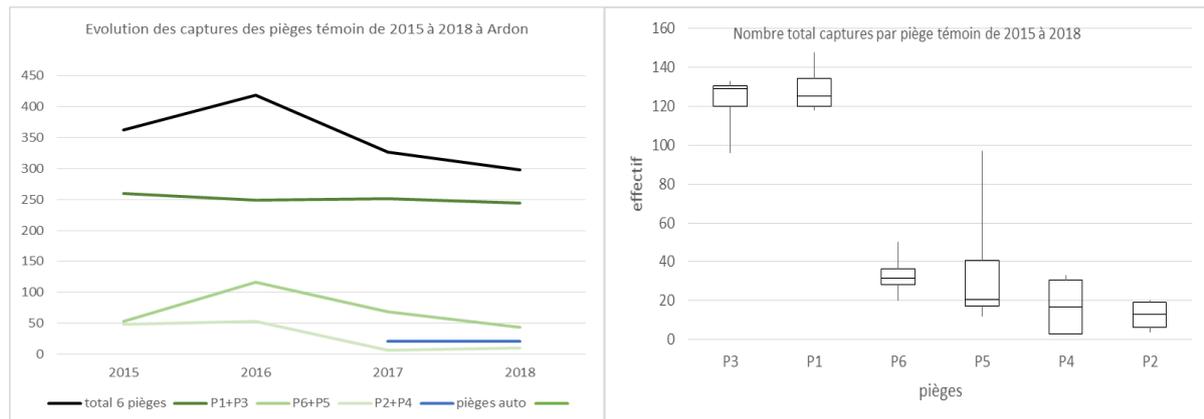
Le nombre de captures a été très faible alors que le niveau de population (nids d'hiver) environnant était élevé (notamment dans la forêt domaniale de la Combe à l'Eau adjacente au site, ainsi que dans la forêt domaniale du Lizay, à une distance de 2.5 à 4.5 km ; en outre, présence d'au moins 1 nid par arbre dans les arbres à quelques mètres du piège au sein de la déchetterie de la communauté de communes). Les captures ont démarré tout début juin conformément à ce qui était attendu pour la région (début mi-juin dans les années 1970, attendu un peu plus précoce aujourd'hui, pic en juillet mais avec une forte variabilité interannuelle, et fin début septembre).



Distribution des captures au cours de la saison à Ars-en-Ré (2017) : 1 Captrap

#### 4.4. Distribution des captures entre pièges (dans l'espace et entre années)

Le suivi sur 4 ans (2015-2018) des 6 pièges à entonnoir utilisés comme témoin à Ardon a permis de mettre en évidence une inattendue (relative) stabilité du patron de captures entre pièges (tout au moins dans un contexte de bas niveau de population perdurant, et même semble-t-il dans l'ensemble décroissant). Deux des 6 pièges capturent toujours beaucoup plus que les 4 autres (figure ci-dessous). Chez ces derniers, 2 pièges montrent toujours des niveaux de captures très bas. Le piège P1 (un des deux meilleurs) et P2 (le moins bon) ne sont pourtant séparés que de 98 m. Inversement, P1 et P3 (les deux meilleurs) sont séparés de 282 m. Nous ne disposons que de quatre années de répétition à l'issue de ce projet, mais ce qui semblait pouvoir résulter du hasard après 2015 et 2016, semble résulter plutôt d'une disparité de la dispersion des mâles dans l'espace après 2017 et 2018.



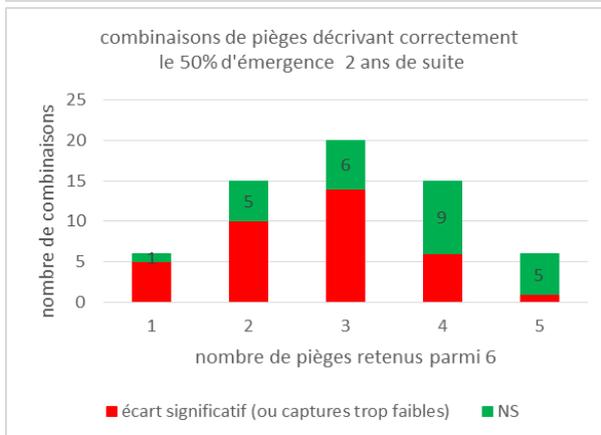
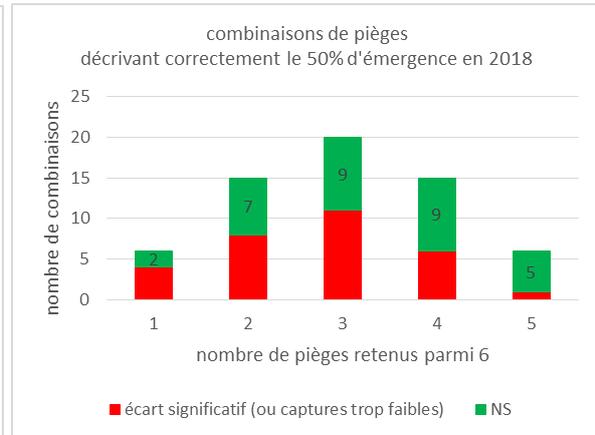
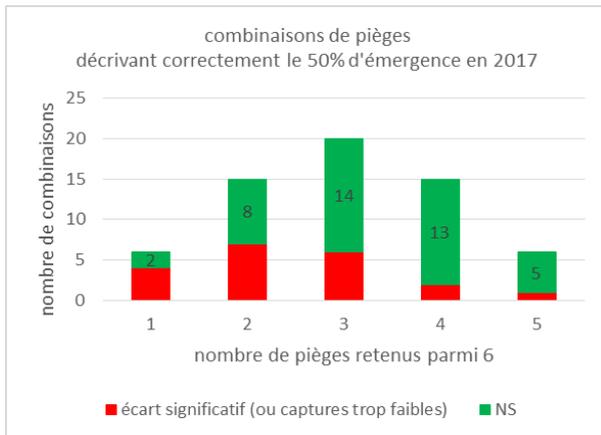
Evolution de 2015 à 2018 du nombre total de captures par pièges (total témoin, groupes de 2 pièges témoin haut niveau de captures, 2 bas et 2 très bas, total pièges automatiques) (à gauche) et volume de capture par piège sur 2015-2018 (à droite)

L'évolution du niveau global de captures (sur 6 pièges) apparaît surtout liée à celles des pièges capturant toujours peu. Les deux meilleurs pièges restent en effet relativement stables au cours de ces 4 années (indiquées à bas niveau de population régional par le DSF). Si les papillons ne circulent pas aléatoirement dans le paysage, cela peut résulter en une probabilité de capture différente dans l'espace, et donc d'un piège à l'autre. Les pièges les moins bien placés seraient par ailleurs soumis à plus de stochasticité en matière de volume de captures (et donc de distribution des captures au cours de la saison), en particulier à bas niveau de population.

Les figures ci-dessous montrent, si l'effort d'échantillonnage avait été moindre (respectivement combinaisons de 1 à 5 pièges sur les 6 réellement installés), la proportion de combinaisons pour lesquelles la distribution des captures avant et après la date de franchissement des 50% d'émergence correspond à celle attendue (pour rappel, la date et les proportions théoriques attendues sont ici estimées à partir de celles de l'ensemble des 6 pièges, et non à partir d'un nombre minimal de pièges pour lequel l'évaluation de la date de 50% d'émergence commencerait à être stable ; l'écart entre la date de 50% de chaque combinaison et celle attendue n'a pas été considérée ici). Les autres paramètres de la courbe de vol (queues de distribution, multi-modalité, ...) ne sont pas non plus évalués ici. Les données collectées ne permettant pas une analyse sérieuse de cette question, nous resterons à la simple confrontation avec la littérature (le plus souvent grise) des dates de début et de fin de captures (présentée dans la section 4.3).

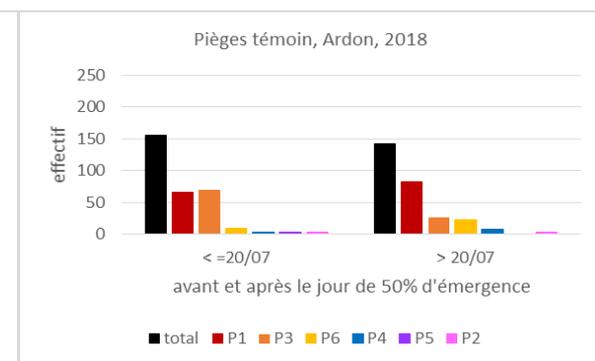
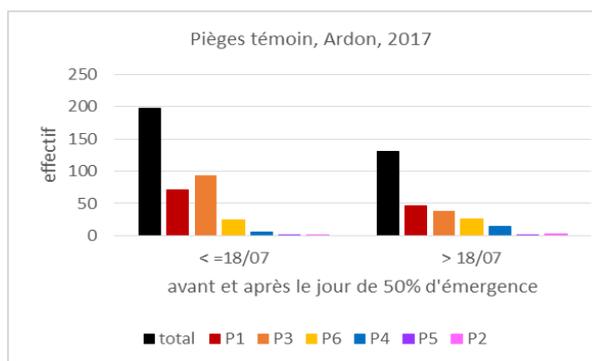
Les proportions de combinaisons de pièges dont la distribution des captures ne diffèrent pas significativement de celle attendue (pour le paramètre pris en compte ; en vert) varient entre 2017 et 2018. La figure en bas à gauche indique les combinaisons non significativement différentes de l'attendu sur les deux années (et avec un effectif suffisant). Les combinaisons de pièges répondant à ce critère ne deviennent majoritaires qu'à partir de 4 pièges. Avec 1 piège, seul P1 (correspondant respectivement à 36% et 50% des captures totales) présente une distribution homogène avec celle attendue (avant et après le 18/07 en

2017 et le 20/07 en 2018). Il est à noter que la puissance des tests diminue avec le nombre de captures. Par ailleurs, les combinaisons de pièges capturant le plus contribuent plus fortement au total servant à estimer la date du 50% et les proportions théoriques.

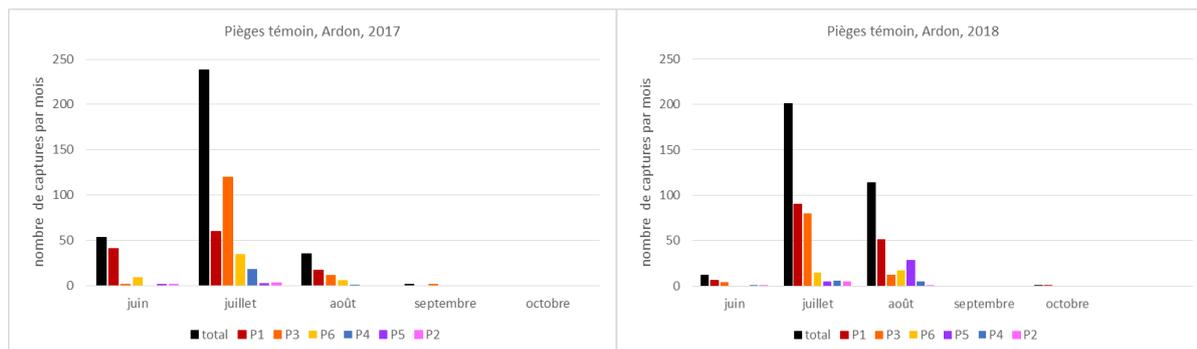


2017	1			2			3			4			5		
	NS	*	<5												
75-100%				1			4			6			4		
50-75%				1			5	1		6	1		1	1	
25-50%	1	1		5	2		5	1		1					
10-25%	1			1	2			3			1				
0-10%		1	2		2	1		1							
2018	1			2			3			4			5		
	NS	*	<5												
75-100%				1			4	1		6	1		4		
50-75%				3	1		2	4		1	3		1	1	
25-50%	1	1			4		1	4		2	1				
10-25%		1		1	2		1	2			1				
0-10%	1			2	2		1	1							

Nombre de combinaisons de 1 à 5 pièges dont la distribution avant et après la date de franchissement du 50% de captures est homogène avec celle attendue (estimée à partir de l'ensemble des 6 pièges témoins du site d'Ardon ; en haut à gauche, en 2017 ; en haut à droite, en 2018 ; en bas à gauche, en 2017 et en 2018 ;  $\chi^2_{0.05, 1}$ ), et contribution de la combinaison de pièges au volume total de captures selon le résultat du test (non significatif, significatif, effectif théorique inférieur à 5 ; en bas à droite)



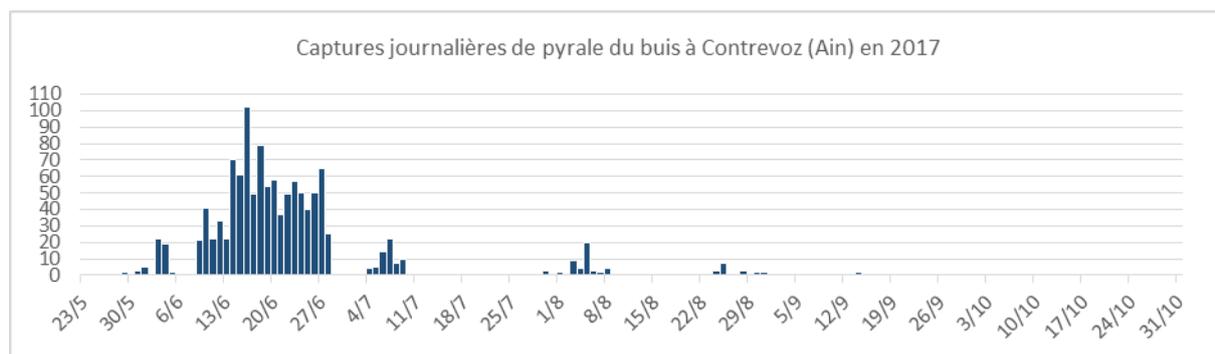
Nombre de captures avant et après la date de franchissement du 50% de captures pour chaque piège et le total (ce dernier, en noir, a déterminé la proportion théorique attendue des tests pour chaque combinaison de pièges possible de 1 à 5 pièges ; en 2017, le total des captures passe de 41.3% à 58.4% du 17/07 au 18/07 ; en 2018, de 49.0% à 52.3% du 19/07 au 20/07)



Nombre de captures par mois pour chaque piège et le total résumant l'évolution des queues de distribution et de l'étalement de la période d'émergence

#### 4.4. Essai préliminaire Captrap sur la pyrale du buis

Le Captrap placé à Contrevoz (Ain) en 2017 (équipé d'une « chaussette » de 30 cm sous le fond du piège préalablement percé) a capturé 8 274 papillons à la date du 23/06 (première visite sur le site un mois après l'installation) pour 812 papillons comptés automatiquement (la sensibilité du détecteur n'a pas été réglée et est restée sur sa valeur par défaut). Le Captrap a comptabilisé 1182 papillons sur l'ensemble de la saison. Le piège a émis correctement (transmettant les données plusieurs fois par jour) malgré la faible couverture Sigfox. Sur le terrain, le DSF a signalé le début de vol le 06/06 et le démarrage d'émergences massives à partir du 15/06. Le Captrap a détecté les premiers vols le 27/05 et une nette augmentation des captures journalières à partir du 14/06.



Pour cette espèce, des données comparatives avant et après réglage de la sensibilité seront disponibles (avec 2 saisons à Contrevoz, plus une comparaison à Caen du patron de captures avec des données hebdomadaires FREDON à un niveau de population 3 à 4 fois plus bas que celui de Contrevoz).

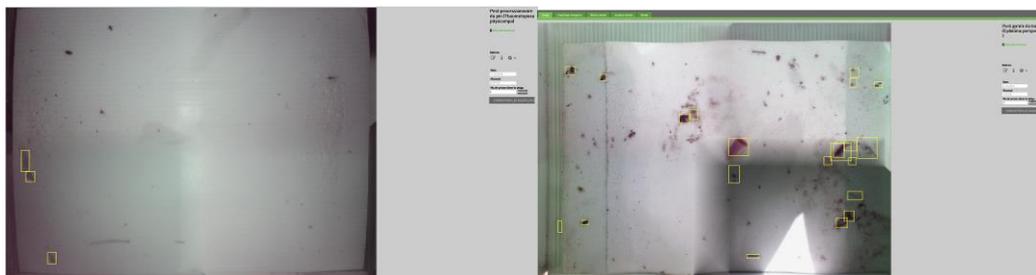
#### 4.6. Critères de fiabilité et de facilité d'utilisation des pièges

##### 4.6.1 Faux-positifs

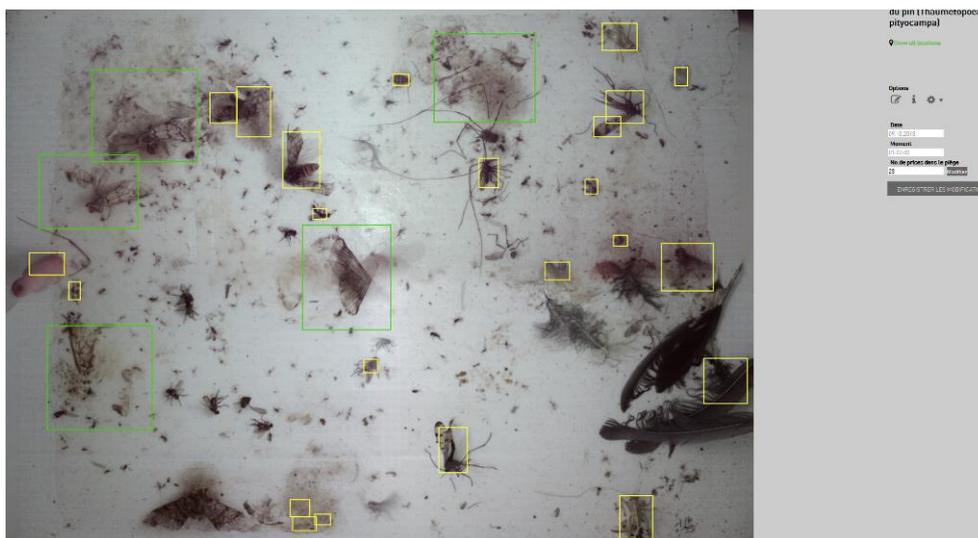
###### Trapview

Structurellement de par la transmission d'une photographie, le Trapview présente très peu de risque de faux-positifs puisque chaque image peut être contrôlée par l'utilisateur (au fil ou en fin de la saison) et que les risques de confusion avec une autre espèce que la processionnaire du pin sont quasi-nuls (si l'image est de bonne qualité et que l'insecte n'a pas été prédaté dans le piège en n'en gardant que la trace, ce qui est possible avec un piège de type delta).

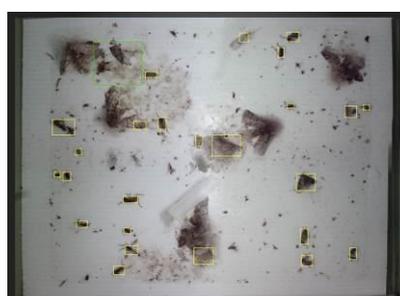
Par contre, le système d'analyse d'images, permettant d'éviter un suivi régulier chronophage de chaque piège par l'utilisateur sur l'interface, ne s'est pas avéré exploitable en l'état pour cette espèce. Pour éviter d'accumuler les faux-positifs initiaux (corrigeables), il nécessite de marquer les captures authentifiées régulièrement (exemple ci-dessous). Les papillons de processionnaire ont peu donné à plusieurs comptages pour un seul papillon.



Exemple de photos transmises et analysées par le système Trapview (La Cavalerie, 2018 à gauche ; Ardon, 2018 à droite) montrant des comptages sans capture, ainsi que des traces de captures (Ardon, en haut à gauche de la capsule de phéromone)

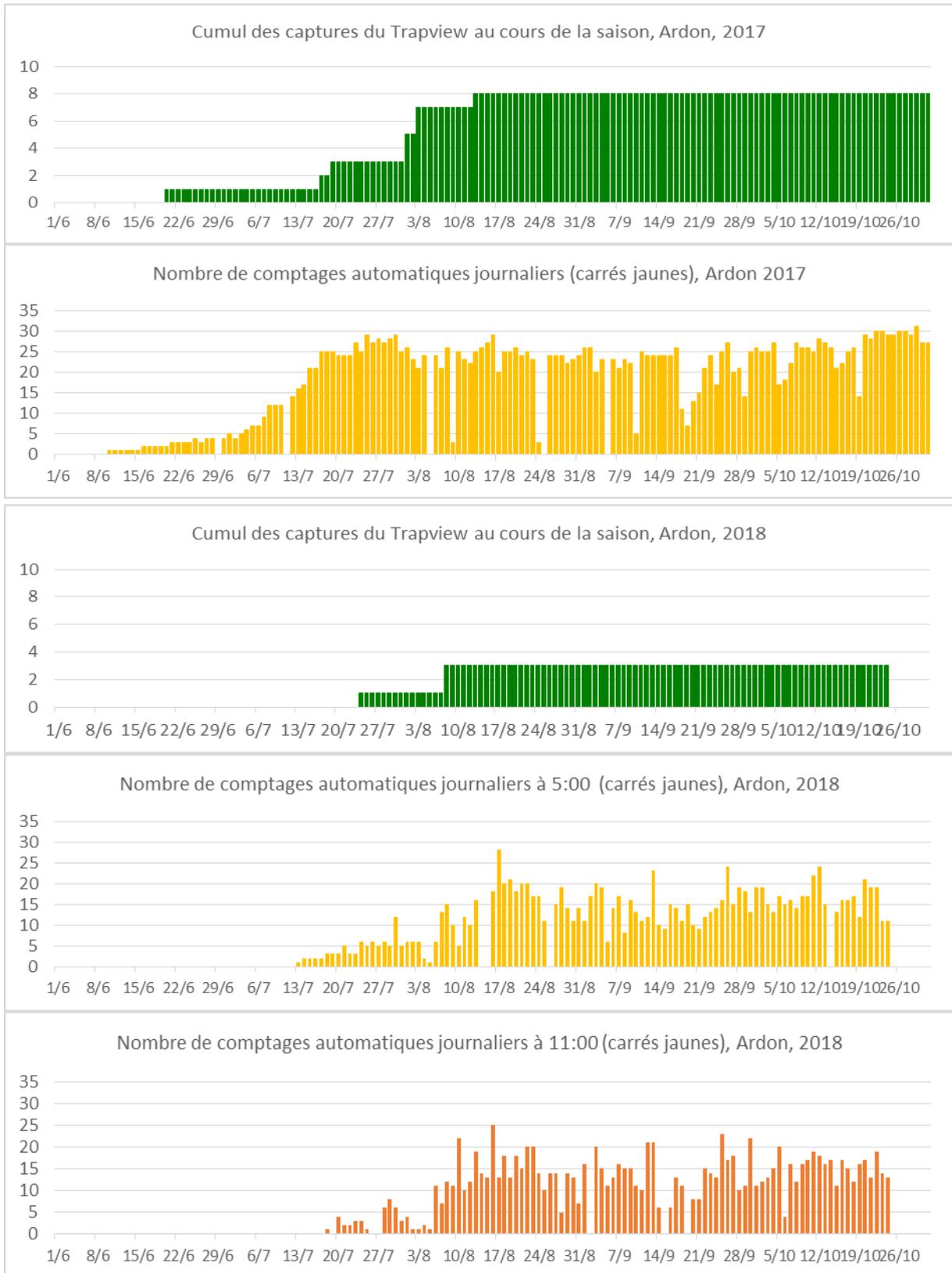


Exemple de photo transmise et analysée par le système Trapview (Erquy, 2018) : les carrés jaunes indiquent les captures automatiquement prises en compte, les carrés verts celles authentifiées et marquées par l'utilisateur (en plus ou en remplacement des identifications automatiques).

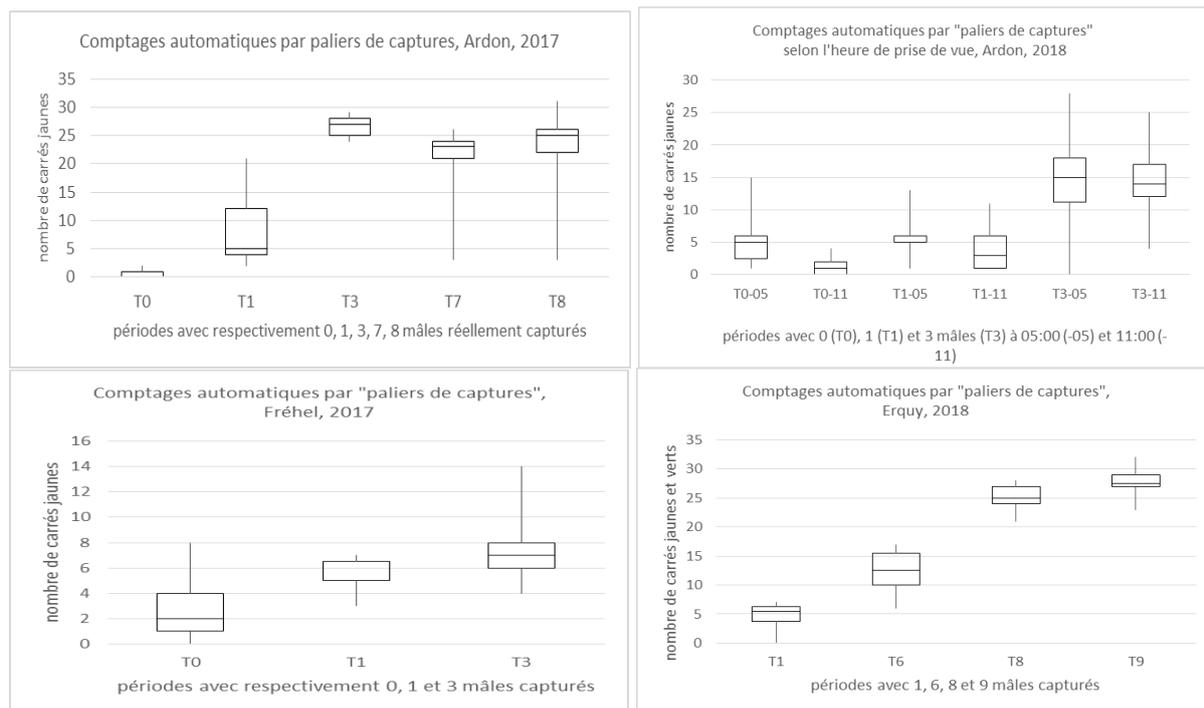


Variations de la qualité de la prise de vue (Orléans le 10/09/2017 à 2:59 et le 11/09/2017 à 2:59)

L'écart entre le nombre de papillons réellement capturés et celui indiqué par défaut est très élevé (exemples ci-dessous). Il varie d'une prise de vue à l'autre pour le même nombre de captures réelles et il varie au cours de la saison en fonction de la salissure de la plaque par des espèces non cibles interceptées passivement (vu le faible nombre de captures, la même plaque a été laissée toute la saison). Il varie également en fonction de l'heure de la prise de vue (voir Ardon, site pour lequel 2 photos par jour étaient disponibles).



Nombre cumulé de capture à Ardon en 2017 et 2018 (en vert), et nombre de comptages automatiques journaliers (à 3:00 du matin en 2017, en jaune, et à 5:00 et 11:00 du matin en 2018, respectivement en jaune et en orange)



Variations des comptages automatiques pour un même « palier » du cumul de captures (T0 : période pour laquelle il n'y a eu aucune capture ; T1 : période avec 1 mâle capturé, ... ; le nombre de jours varie pour les différents paliers ; les paliers d'une durée trop courte n'ont pas été retenus)

### Captrap

Un seul faux-positif (dû au comptage d'un Lépidoptère non cible de même gabarit que la processionnaire du pin) a été comptabilisé tous sites et toutes saisons confondus (1 papillon sur le site d'Ars-en-Ré en 2017). Le paramétrage de la sensibilité adopté (modifié après un test de 15 jours en 2016 ; modifiable par l'opérateur sur le site, et bientôt modifiable à distance) s'est également avéré permettre un comptage exact du nombre de papillons du gabarit des mâles de processionnaire sur l'ensemble des sites (pas de faux-positifs lié à plusieurs comptages d'un même papillon). Les espèces d'insectes de taille inférieure (<10 par piège) n'ont pas été comptabilisés. Aucun macro-lépidoptère n'a été identifié dans les captures de pyrale de buis à Contrevoz. La spécificité de la phéromone associé au risque structurellement plus faible des pièges de type entonnoir à intercepter passivement des espèces non-cible apparaissent garantir des faux-positifs pouvant rester du domaine du bruit de fond. Il n'y aucune raison de penser qu'un plus haut niveau de population de processionnaire du pin aurait pu affecter ce constat.

N.B. : Aucune chauve-souris n'a été retrouvée piégée dans nos dispositifs (ces captures accidentelles d'espèces protégées semblent très rares mais ont déjà été signalées dans le cas de pièges à entonnoir utilisés à forte densité en piégeage de masse).

### CBR

Dans le cas du CBR, les papillons capturés sont triés et comptés par l'utilisateur. Cependant, aucun macro-lépidoptère n'a été capturé.

#### 4.6.2 Faux-négatifs

Pour mémoire, le niveau de captures a été faible, et ne permet pas d'interpréter ce qu'aurait pu être les résultats à un niveau de population plus élevé.

#### Trapview

Là aussi les photographies présentent l'avantage de ne commettre aucune erreur (sauf prédation qui interviendrait peu de temps après la capture). Restera à évaluer ce problème

avec un système d'analyse d'images plus « stringent » en matière d'identification de processionnaires par rapport aux autres espèces interceptées.

#### *Captrap*

Tous les mâles capturés ont été comptabilisés en 2016 et 2017 (alors que dans le court essai préliminaire de 2016, sans réglage de la sensibilité du détecteur, une grande partie des papillons n'avait pas été détectée).

#### *4.6.3 Saturation*

Le niveau de captures bas n'a pas permis d'évaluer ce paramètre en situation opérationnelle. Pour rappel, la périodicité à laquelle une visite est nécessaire pour changer la plaque de glue ou vider le piège est un critère important affectant les contraintes et les coûts de la mise en œuvre d'un *monitoring* sur une période de plusieurs semaines à plusieurs mois (puisque'il ne s'agit pas ici de déclencher la lutte à un certain seuil de capture en cours de *monitoring*, mais plusieurs semaines après).

#### *Trapview*

Le Trapview est le piège attendu le plus saturant étant donné le *design* proche du type delta. C'est pour lui que le défaut de réelle évaluation est le plus préjudiciable. La plaque d'environ 400 cm<sup>2</sup> ne peut mécaniquement accueillir qu'une quantité limitée de papillons pouvant occuper de l'ordre de 2 à 10 cm<sup>2</sup> (en fonction du déploiement des ailes et du débattement dans le piège). En outre, la salissure de la plaque (ou l'occupation de la place par les mâles déjà capturés) peut éventuellement permettre le ré-envol du papillon (néanmoins sans doute plus faible ici que pour un delta classique, les faces avant et arrière du piège n'étant pas totalement ouvertes et l'entrée des papillons se faisant par une « fenêtre » réduisant l'ouverture). L'évaluation des faux-positifs en analyse d'image confirme par contre indirectement ce risque potentiel de saturation de la plaque au cours de la saison (plus la saison avance plus la plaque se couvre d'espèces non-cible). Le nombre de changements nécessaires de la plaque de glue en fonction du niveau de population n'a pas pu être évalué.

#### *Captrap*

Le sur-risque de saturation par rapport à un piège à entonnoir classique est dû à l'encombrement du réceptacle par la partie électronique du piège (l'encombrement est réduit chez les Captraps nouvelle génération). L'essai préliminaire réalisé à Contrevoz indique néanmoins que le risque de saturation est faible même à très haut niveau de population à partir du moment où l'on adjoint une « chaussette ».

#### *CBR*

Pour le CBR, la rotation quotidienne et le volume des bouteilles minimise ce risque. L'entreprise propose à la vente des chaussettes en lieu et place des bouteilles.

#### *4.5.4 Problèmes techniques rencontrés*

##### *Pannes matériel*

##### *Trapview*

Les Trapviews ont fonctionné correctement sur les deux saisons et dans tous les sites. Ils n'ont nécessité aucune maintenance en cours de saison.

##### *Captrap*

Un Captrap ancienne génération a dû être remplacé sur Fréhel en 2017 juste après son installation. En dehors de cet incident, tous les captraps ont fonctionné correctement sur l'ensemble des saisons et des sites. Au niveau maintenance, deux batteries ont été remplacées en tout début de saison (après avoir montré des signes d'éventuelle faiblesse, le niveau de charge pouvant être suivi sur l'interface web).



#### 4.6.5 Facilité de mise en œuvre

Les deux pièges connectés sont faciles à mettre en œuvre et les interfaces sont intuitives. Le *Collection Bottle Rotator*<sup>®</sup> est également assez simple à déployer, mais la programmation demande plus d'attention et de temps lors de la première utilisation car les erreurs sont faciles. Les notices fournies sont claires pour tous les pièges (mais uniquement en anglais pour le CBR). Les trois entreprises se sont montrées facilement joignables par e-mail et téléphone et très réactives pour aider à la mise en place ou à la maintenance.

#### 4.6.6 Tableau comparatif des pièges

	Trapview	CapTrap	CBR	Cameratrap (non automatisé)
<b>FACILITE D'UTILISATION</b>				
Pose	+	+	--	++
Intervention sur le piège	--	-	--	--
Ajustement sensibilité du modèle	--	+	--	NC
Saturation du piège (le nombre d'interventions est arbitraires et peut-être à affiner avec les données)	-	+	--	--
<b>SAV</b>				
Réponse en cas de problème	++	++	--	NC
Réactivité pour une intervention	+	++	--	NC
<b>FIABILITE</b>				
Taux de faux positifs / faux négatifs	+	+	NC	NC
Transmissions de données	+	--	NC	NC
<b>AUTONOMIE</b>				
Batterie	++	+	--	NC
<b>COUTS</b>				
Achat / location	--	--	--	++
Main d'oeuvre (entretien, suivi du piège)	--	+	--	--
Quantité de phéromone nécessaire	++	--	++	++
<b>INTERFACE LOGICIELLE</b>				
Praticité/intuitivité	-	+	NC	NC

### 5. Discussion générale

#### 5.1 Niveaux de capture : impact sur les objectifs du projet

Les niveaux de capture ont été plus faibles qu'attendus sur l'ensemble des sites au cours des deux saisons d'expérimentation.

A Aramon (dispositif qui a le plus piégé en 2017 relativement à l'effort d'échantillonnage), le nombre total de captures sur la saison a été seulement de 0 à 41 papillons par piège (Trapview<sup>®</sup>, 41 ; Captraps<sup>®</sup>, 5 et 30 respectivement ; CBR<sup>®</sup> sur Cameratrap<sup>®</sup>, 0 ; Cameratrap seul, 20). Si on ne considère que les pièges automatisés installés en 2017 (au même nombre sur tous les sites, à l'exception d'Ars-en-Ré), Fréhel et Ardon sont les sites qui ont le moins piégé avec respectivement un total de 12 et 21 papillons (contre 76 à Aramon), et de seulement 0 à 8 papillons par piège sur l'ensemble de la saison. Etant donné ce très faible niveau de capture, aucun des pièges n'a pu échantillonner de façon représentative dans la population, y compris les témoins. Il s'est donc avéré impossible de réellement comparer les performances des pièges par rapport aux témoins et entre eux (ainsi que le niveau d'investissement de l'utilisateur pour une même performance) pour les différents paramètres souhaités de la courbe de vol (notamment différents quantiles de capture permettant d'apprécier la distribution du vol au cours de la saison, nombre et date de pics de vol et queues de distribution). Il a donc été décidé de reconduire l'expérimentation en 2018, mais les résultats sont restés décevants. Seul le nombre de témoins plus élevé sur Ardon (6 pièges classiques à entonnoir), avec des données disponibles sur plusieurs années, a permis d'explorer les origines envisageables des problèmes rencontrés, conduisant à des préconisations opérationnelles en matière de suivi phénologique de cette espèce. Il reste donc essentiellement des appréciations qualitatives et non quantitatives des performances des différents pièges.

## 5.2 Niveau de capture : causes possibles

Le premier facteur à considérer est le niveau de population au niveau régional et local.

Les données du Département de la Santé des Forêts (DSF, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation) indiquent une relative stabilité à bas niveau de population dans toutes les régions où les dispositifs expérimentaux ont été installés de 2015 à 2018 (voir 4.1.). Cette durée est assez surprenante car les cycles d'abondance chez cette espèce sont généralement de 6 à 9 ans (le cycle le plus long étant landais), Les populations du nord de la France dans les zones colonisées entre une dizaine et une vingtaine d'années peuvent même montrer des niveaux épidémiques pendant de nombreuses années (contrairement aux régions « historiques »). Toutefois, les données du DSF (sur des parcelles de type plantation forestière) indiquent pour la région dite « Bassin Parisien – Seuil du Poitou » une atténuation des cycles depuis les années 2000 (tendant vers un bas niveau de population). A ce jour, on ne peut que spéculer sur les raisons de celle-ci, mais le lien éventuel avec l'évolution de la phénologie et une plus grande variabilité des périodes d'émergence mériterait une attention particulière. G. Démolin, qui a étudié cette espèce des années 1960 aux années 2000, considérait qu'une population « en bonne santé » (selon ses termes) présentait toujours des pics d'émergence marqués (comm. pers.), dont on peut attendre qu'ils permettent une bonne probabilité de rencontre des sexes (cf. les concepts d'effet Allee et de *mate limitation*).

Cette explication du niveau de population à une échelle régionale ne semble néanmoins pas suffisante, car les populations n'étaient pas localement basses sur tous les sites si on considère le nombre de nids durant les hivers 2016-2017 et 2017-2018. Même s'ils n'ont pas été formellement dénombrés avec un protocole standardisé (type DSF), leur nombre dans les environs des dispositifs n'était très bas qu'à Aramon (qui a pourtant relativement le plus piégé). La partie ouest de l'île-de-Ré était par endroit fortement infestée (avec parfois des défoliations totales dès octobre). Au niveau de Fréhel, la situation était telle qu'à l'initiative de la municipalité, une réunion a réuni en 2016 plusieurs collectivités territoriales, la FDGDON 22 et les services de l'Etat (préfecture, DSF-DDTM, ARS) afin de définir un plan de gestion conjointement avec nos deux unités INRA. Il a fallu des efforts considérables et conjugués de tous les acteurs (particuliers compris ; et plusieurs dizaines de milliers d'euros) pour arriver à une situation considérée acceptable en 2018. Le site voisin d'Erquy correspond à un « espace naturel sensible » du CD 22 avec de grandes surfaces de pins noirs (essence préférée) et de pins maritimes (souvent moins attaqués) et ne permettant pas la mobilisation des mêmes moyens (en particulier le *Btk*). Même si la relation entre nombre de papillons et nombre de nids les hivers précédent et suivant est loin d'être directe, le niveau de population locale dans les environs des dispositifs ne semble pas pouvoir être partout la seule explication du faible niveau de captures.

L'existence d'une différence entre les pièges automatiques (commune à ceux-ci) et les pièges à entonnoir témoins conduisant structurellement à un plus faible nombre de captures ne peut pas constituer ici une explication des observations. En effet, les Camaretraps à proximité immédiate des pièges automatiques (seul ou sur CBR) n'ont pas mieux piégés (et même plutôt moins bien). Seuls deux témoins sur Ardon ont nettement plus piégé et quatre se sont situés dans la même gamme que les Trapviews et les Captraps (voir 4.2.). Par ailleurs, Captraps et Trapviews ont montré sur l'ensemble des sites et des saisons les mêmes niveaux de capture alors qu'ils sont structurellement très différents. En outre, le Captrap est de type piège à entonnoir comme les Camaretraps. La concentration des pièges dans l'espace et le dosage de la phéromone ne sont pas attendus pour avoir entraîné un effet de confusion sexuelle (Martin, comm. pers. ; la lutte par piégeage de masse est recommandé à un minimum de 6 pièges par ha). Par contre, étant donné le bas niveau de population, la concentration des pièges automatiques dans l'espace a probablement résulté en une compétition entre piège et une forte stochasticité dans les dates et niveaux de capture par piège.

Après l'expérimentation de 2017, l'hypothèse d'un problème avec le lot de phéromone utilisé en 2017 a été privilégiée (voir rapport intermédiaire). Sur Ardon, les 6 pièges témoin

étaient équipés les deux années précédant l'étude avec une phéromone préparée par l'INRA URZF et IEES. Le changement pour une phéromone commerciale (effectuée en 2017 pour (i) standardiser le protocole sur l'ensemble des sites (ii) se rapprocher des conditions utilisateurs (iii) faire face au départ en retraite de l'ingénieur biochimiste de l'URZF) était l'évolution la plus notable pouvant expliquer le bas de niveau de capture sur l'ensemble des sites indépendamment du niveau de population locale. L'expérimentation 2018 ne permet pas de retenir cette explication. Le niveau de capture est resté similaire en 2018 avec le retour à une phéromone préparée par l'IEES. Par ailleurs, le test d'un mois avec un lot 2018 du même type de phéromone qu'en 2017 a montré un niveau de capture dans la gamme des pièges témoin.

A l'issue des 4 années de piégeage sur Ardon dans les mêmes conditions pour les pièges témoins, l'hypothèse retenue est celle d'un effet du positionnement des pièges et d'une forte hétérogénéité de la probabilité de capture des mâles dans l'espace, y compris à une échelle très locale. Le patron de capture au cours des 4 ans s'est montré relativement, et étonnamment, stable (voir 4.4.). Les « bons » et « mauvais » pièges l'ont été pendant 4 ans. Les pièges ayant le plus et le moins capturé étaient deux pièges voisins séparés de moins de 100 m. Les « mauvais pièges » ont été les plus sensibles à la baisse du niveau global de capture, traduisant sans doute une plus forte stochasticité de l'échantillonnage dans la population dans leur cas (ces emplacements sont donc sans doute plus sensibles à toute perturbation supplémentaire par rapport aux conditions optimales). Seuls 2 pièges témoins sur 6 ont capturé plus de 100 papillons sur une saison. Les pièges automatiques ont été vraisemblablement concentrés dans un emplacement à basse probabilité de capture durant ces années à bas niveaux de population. Ceci tendrait à indiquer que la dispersion des mâles est structurée dans l'espace, et dépendrait de la structure du paysage, par définition très variable en JEVI. Aucune analyse du paysage n'a été réalisée ici, mais les zones les plus ouvertes apparaissent les plus favorables au piégeage. En forêt, le maximum de captures à hauteur d'homme est obtenu le long des routes et chemins forestiers.

La hauteur d'installation du piège apparaît devoir être prise en considération. Bien que trop de facteurs confondants nous empêche de l'affirmer, le nombre de capture très supérieur d'un des deux Captraps placé à 5 m à Erquy semble l'indiquer. Des retours de terrain récents mais plus nombreux pour la processionnaire du chêne vont également dans ce sens. Un *monitoring* de la processionnaire du pin et de la processionnaire du chêne doit être mis en place en 2019 dans le cadre d'une convention avec l'ARS IdF. Au total, une vingtaine de Captraps seront déployés sur le territoire francilien. Nous compléterons ce dispositif par des pièges à entonnoir classiques placés soit à hauteur d'homme soit à 5 m de hauteur pour comparer les volumes de captures. De même, dans le cadre de la convention 2019 avec le CD22, nous veillerons à augmenter le nombre de pièges et à tester différents emplacements et différentes hauteurs.

En conclusion, l'emplacement, plus que la nature du piège ou de la phéromone, apparaît déterminant.

### 5.3. Enregistrement de la phénologie

Nous ne considérerons pas ici les pièges pris individuellement, mais regroupés par site et par saison. Malgré le faible nombre de captures, les distributions de celles-ci au cours de la saison mesurées par les pièges automatiques à Aramon en 2017 et à Erquy en 2018 se sont avérées cohérentes à celles attendues pour la région (en comparaison avec les données historiques pour la région méditerranéenne, et avec celles de la FDGDON22 et de la commune obtenues à Fréhel dans le cadre du suivi d'un piégeage de masse en 2016). Sur Ardon en 2017 et 2018, Fréhel en 2017 et Ars-en-Ré, le niveau de captures est insuffisant pour en tirer de réelles conclusions, même si les débuts et fin de vol enregistrés sont cohérents avec les attendus (voir 4.3.). Sur Ardon, seuls les 6 témoins considérés dans leur globalité donnent les résultats escomptés en volume, et cohérents avec les attendus phénologiques pour la région. Lorsqu'on considère des combinaisons de seulement 1 à 5 pièges parmi les 6 installés, il faut un minimum de 4 pièges pour décrire correctement sur les 2 ans le 50% d'émergence dans la majorité des cas (voir 4.4.). Toutefois, il est à rappeler

que nous n'avons pas testé ici l'évolution de l'estimation du 50% de captures avec un nombre de piège supérieur à 6. C'est donc le volume total des captures des 6 pièges avant et après la date de franchissement du 50% qui a été utilisé pour tester les combinaisons avec un nombre de piège inférieur.

Sur l'ensemble, les variations régionales de la phénologie sont correctement décrites par nos données : pic de vol en août en zone méditerranéenne et pic(s) plus précoce(s) et plus variable(s) en zone océanique franche ou dégradée (et une période de vol plus étalée, ce qui correspond à une des prédictions de notre hypothèse visant à rendre compte de l'existence de processions à la fois pré et post-hivernales certaines années, en fonction des températures avant l'arrivée des froids hivernaux) (voir 4.3.).

La phénologie du vol de la pyrale du buis mesurée à Contrevoz correspond à celle attendue, ainsi qu'à des observations de terrain indépendantes (voir 4.5.).

#### 5.4. Intérêts et limites des différents pièges

Après nos essais sur le terrain, seul le CBR est disqualifié pour le *monitoring* de la processionnaire du pin du fait de plusieurs pannes. Par ailleurs, le relevé hebdomadaire est très contraignant pour un suivi à distance au regard de la fiabilité et de l'autonomie des deux modèles transmettant les données (Trapview et Captrap). Le CBR reste un système intéressant pour collecter des échantillons temporellement, ou pour du *monitoring* sur une période de temps limitée (en particulier heures d'émergence au cours de la nuit). Même si les causes des pannes n'ont pas été identifiées, il est sans doute préférable de l'installer sous abri pour un échantillonnage de très longue durée en conditions extérieures.

Trapview et Captrap (version GSM ou nouvelle génération en Sigfox) n'ont nécessité aucune intervention en cours de saison (5 mois pour la processionnaire du pin) (voir 4.6.). En ce qui concerne le Trapview, le système d'analyse d'image nécessite d'être paramétré pour cette espèce. Le nombre d'interventions nécessaires en cours de saison à haut niveau de population (du fait du caractère saturant de ce type de piège) n'a pas pu être évalué. L'avantage de ce piège est le très faible risque de perte de données. En ce qui concerne le Captrap, le caractère anecdotique des faux-positifs (un seul sur l'ensemble des sites et saisons) le rend utilisable en l'état sans chercher à développer l'enregistrement de la signature acoustique du vol du papillon. Par ailleurs, une fois la sensibilité du détecteur adapté, aucun faux-négatif n'a été constaté en 2017 et 2018 (mais le nombre de captures était faible). Il apparaît être le piège qui nécessite le moins d'intervention sur le terrain et sur l'interface (jusqu'à 7 mois pour la pyrale du buis avec des milliers de papillons capturés par un seul piège).

#### 6. Conclusions et préconisations

Les deux pièges télétransmettant les données (Trapview et Captrap) s'avèrent utilisables pour le *monitoring* de la processionnaire du pin. Le Captrap est celui qui réduit le plus l'investissement en temps de l'utilisateur (pas de correction des comptages à réaliser sur l'interface, pas de risque de saturation avec une « chaussette »). C'est un avantage en particulier pour un suivi à longue distance avec un grand nombre de pièges sur plusieurs sites en parallèle (correspondant aux besoins de nos unités). Cet avantage sur le Trapview est moindre pour un suivi d'un nombre limité de pièges sans déplacement de longue durée.

Quel que soit le modèle de piège retenu, la principale préconisation à l'issue de ce projet concerne le nombre et l'emplacement des pièges pour assurer un *monitoring* correct de la phénologie de la processionnaire du pin.

La pratique usuelle consiste à installer 2 ou 3 pièges par site, ce qui limite le temps de relevé. Nos résultats montrent que ces dispositifs présentent de forts risques de *monitoring* incorrect à la fois de l'abondance et de la phénologie à bas niveau de population, y compris pour un paramètre de base comme le 50% d'émergence utilisé aujourd'hui pour le déclenchement de la lutte. La hauteur semble à privilégier (ainsi que les milieux ouverts). Elle limite les risques de vol et de dégradation et pourrait améliorer le niveau de capture.

Nous distinguerons deux cas :

- Il existe préalablement à la mise en place des pièges automatiques des connaissances *a priori* (séries temporelles de données de captures sur plusieurs années). Il est envisageable dans ce cas d'investir dans un nombre limité de pièges (2 à 4) en les positionnant à des emplacements connus pour piéger plus de 100 papillons sur l'ensemble d'une saison à bas niveau de population
- Il n'existe aucune information avant la mise en place, il est alors préférable soit de déployer plusieurs pièges automatiques (dans notre cas, sur 2 ans, 6 aurait été un minimum, une dizaine apparaît raisonnable, même s'il faudrait le vérifier), soit de mettre en place *a minima* une année test avec un grand nombre de pièges classiques disséminés sur le territoire à surveiller pour déterminer les meilleurs emplacements.

### 7. Valorisation

Les résultats découlant de ce projet exploratoire seront utilisés dans le cadre de deux conventions, l'une avec l'ARS IdF, l'autre avec le CD 22, visant à surveiller les populations de processionnaires. Une thèse sur la modélisation de la phénologie de la processionnaire du pin a démarré en octobre 2018 à l'URZF, et un projet ANR sur ce thème est en cours d'évaluation (il intègre un WP de *monitoring* et une tâche visant à développer un réseau d'utilisateurs).

Ils ont fait l'objet de 2 communications dédiées, l'une en Bulgarie en novembre 2018 dans le cadre d'un échange bilatéral avec l'Académie des Sciences pour le suivi de populations avec et sans processions précoces dans ce pays, l'autre en Tunisie, dans le cadre d'une conférence sur les processionnaires en décembre 2018 réunissant les collègues de la zone euro-méditerranéenne intéressés par ces espèces. Ils ont également été intégrés à plusieurs communications avec l'objectif de faire connaître ces nouveaux outils de monitoring (journée technique « processionnaire » en juin 2017, commune de Fréhel en avril 2017, conférence IUFRO en Grèce en septembre 2017, Conseil Départemental 31 en octobre 2017, Réseau Français de Santé Végétale en octobre 2018, réseau lépidoptères ADALEP en octobre 2018, réseau phénologie TEMPO, cellule de crise processionnaire à Millau en janvier 2019, formation FREDON-France en mars 2019, conférence IUFRO à venir au Canada en juillet 2019).

## 7. ANNEXE : TEXTES DES PUBLICATIONS

*Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).*

*Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.*

### ➤ **Publications scientifiques parues**

*Merci de joindre des tirés à part, et d'indiquer les restrictions éventuelles en termes de droits de reproduction. Notez que ce rapport sera mis en ligne sur le portail ECOPHYTOPIC et éventuellement sur d'autres sites valorisant les travaux du plan ECOPHYTO.*

### ➤ **Publications scientifiques à paraître**

En raison des faibles effectifs lors deux années d'essais, nous avons préféré ne pas publier de datapaper ou d'article scientifique.

### ➤ **Publications scientifiques prévues**

Celles-ci seront envisagées dans le cadre de la thèse sur la modélisation de la phénologie de la processionnaire du pin qui démarrera fin 2018 (bourse de l'école doctorale d'Orléans-Tours) et qui se basera en partie sur des données d'observation dans plusieurs régions bioclimatiques françaises reposant sur les pièges testés (*a minima* le Captrap®) dont l'opérationnalité sur cette espèce est maintenant confirmée.