



RÉSUMÉ

Pour évaluer l'effet d'Infrastructures agro-écologiques (IAE) particulières (haies, bandes enherbées, jachères fleuries...) sur la colonisation des cultures par les insectes phytophages et leurs ennemis naturels, différents outils de mesure peuvent être utilisés : filets-fauchoir, pièges-fosses ou tentes malaises. Cependant, leur utilisation est chronophage et ne permet pas de multiplier les points de mesure (espace et temps). Pour mesurer l'activité des populations d'insectes de façon continue, dynamique et en de nombreux endroits simultanément, une caméra (BEEcam) et un logiciel (Agathe) de dénombrement d'insectes ont été conçus par le Ctifl et la société Advansee. Ce procédé compte le nombre d'insectes fréquentant une IAE particulière ou se déplaçant à proximité d'un élément particulier (ruche, piège...), trace leurs trajectoires dans un périmètre donné et analyse leur comportement.

THE BEECAM AND THE AGATHE SOFTWARE : INNOVATIVE TOOLS TO MEASURE THE ACTIVITY OF INSECT POPULATIONS

In order to assess the effects a particular agro-ecological infrastructure (AEI) (hedgerows, grass strips, floral fallow fields) has on the colonisation of crops by phytophagous insectes and their natural enemies, different measuring tools can be used (sweep nets, pitfall traps, malaise traps). However, their use is time-consuming and does not allow multiple measurement points (time and space). To continuously measure the activity of insect populations, in a dynamic way and in several places simultaneously, a camera (BEEcam) and software (Agathe) for insect counting were developed by the Ctifl and the company Advansee. This method records the number of insects present in a particular AEI or that move near to a particular feature (hive, trap), traces their movement within a given perimeter and analyses their behaviour.

LA CAMÉRA BEECAM ET LE LOGICIEL AGATHE DES OUTILS INNOVANTS POUR MESURER L'ACTIVITÉ DES POPULATIONS D'INSECTES

La caméra BEEcam et le logiciel Agathe constituent un outil innovant permettant de mesurer l'activité des populations d'insectes. Ils peuvent notamment être utilisés pour comparer l'attractivité de différents milieux (haies, bandes enherbées, jachères fleuries...) vis-à-vis des populations d'insectes ou pour caractériser des niveaux de pollinisation.



> DISPOSITIF DE PRISE DE VUE POUR L'ACQUISITION DES DONNÉES À L'AIDE DE LA CAMÉRA BEECAM



DES OUTILS INNOVANTS POUR ÉTUDIER LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

L'évolution des politiques publiques (plan Ecophyto, projet Agroécologique pour la France) et des demandes sociétales font des questions d'environnement une préoccupation majeure pour le secteur agricole. Pour accompagner ces évolutions et concevoir des systèmes de production à très faible impact environnemental, des solutions durables faisant appel à des techniques d'ingénierie écologique doivent être mises au point. Ces techniques doivent aider les producteurs à diminuer le recours aux intrants phytosanitaires de synthèse et à mobiliser les ressources propres de leur exploitation. Une des ressources propres les plus importantes est la diversité biologique du système de culture car celle-ci rend de nombreux services à la production via son action sur la fertilité biologique des sols, la pollinisation des plantes et la protection des cultures contre les maladies et les insectes phytophages. La compréhension des relations entre les différentes composantes de cette diversité biologique devrait permettre de définir des innovations dans les conduites culturales, de les intégrer dans la conception de systèmes de production résilients et durables et d'ajuster les paramètres bio-techniques leur permettant d'être opérationnelles. Pour cela, l'élaboration de nouveaux outils de mesure est nécessaire. Une des innovations possibles dans ce domaine consiste à utiliser l'image comme source principale d'information pour caractériser et inventorier des éléments de biodiversité

animale et végétale ayant une influence sur les cultures, sous abri comme en plein-champ. La mise en œuvre de capteurs d'images permet une mesure à grande échelle et donc un échantillonnage représentatif tout en autorisant la simultanéité de nombreuses mesures et donc des comparaisons entre sites. L'architecture modulaire de dispositifs organisée autour d'un socle matériel simple et efficace et d'un jeu de logiciels pour répondre aux besoins spécifiques des clients ouvre par ailleurs des champs d'application très variés : protection biologique intégrée (PBI), étude des niveaux d'activité d'insectes nécessaires pour des processus de pollinisation efficaces, phénotypage, capteurs combinés et communicants... Les informations véhiculées par l'image permettent aussi des classifications pour la certification d'outils, des mesures spécifiques, ou encore des tris à haut débit.

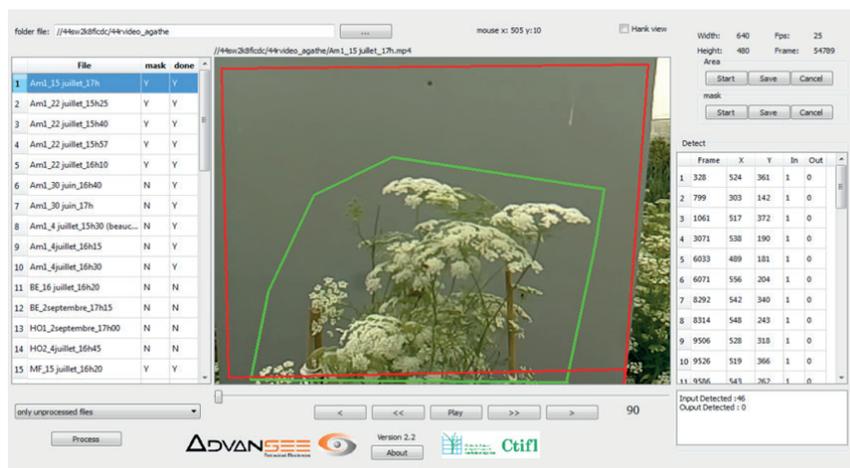
ATTIRER, MAINTENIR ET AMPLIFIER LES POPULATIONS D'ENNEMIS NATURELS

Pour répondre à cette problématique, le Ctifl mène des travaux dont la finalité est de concevoir des systèmes de production maraîchers résilients face aux attaques de ravageurs en mobilisant le service de régulation naturelle fourni par les arthropodes prédateurs et/ou parasitoïdes naturellement présents dans l'environnement des cultures (Picault, 2014). Le premier objectif de ces travaux est d'étudier le rôle de certains groupes d'auxiliaires invertébrés dans la régulation naturelle des principaux

insectes phytophages s'attaquant aux cultures légumières (mouches, thrips, pucerons, tordeuses, noctuelles...) ainsi que de mieux comprendre les interactions entre ces groupes d'auxiliaires (compétition intra-guille par exemple). Le second objectif de ces travaux est de caractériser l'attractivité de certaines infrastructures agroécologiques (haies, bandes fleuries, bandes enherbées...) vis-à-vis des principaux arthropodes prédateurs et/ou parasitoïdes rencontrés en cultures légumières, et d'évaluer l'effet induit de ces infrastructures sur les processus de régulation naturelle. Enfin, le troisième et dernier objectif de ces travaux est d'étudier les flux d'arthropodes prédateurs et/ou parasitoïdes entre les cultures maraîchères et certaines infrastructures agroécologiques implantées sur leur pourtour, et d'identifier les facteurs biotiques (densité des populations de proies par exemple) et/ou abiotiques (densité du couvert végétal ou architecture de l'arbre par exemple) susceptibles de les influencer. Pour atteindre ces objectifs, le Ctifl met au point des méthodologies innovantes permettant de mieux comprendre les processus écologiques en jeu dans les cultures légumières et développe, avec ses partenaires de la Recherche mais aussi en collaboration avec des sociétés privées, de nouveaux instruments de mesure pour étudier ces processus. Ces travaux sont menés avec un concours financier du Casdar.

BEECAM ET AGATHE

En 2013 et 2014, une caméra (caméra BEEcam) et un logiciel informatique (logiciel Agathe) ont été conçus par la société Advanee et le Ctifl dans le but de caractériser l'attractivité de différentes espèces végétales ou de dispositifs agroécologiques particuliers (haies ou abris à insectes par exemple) vis-à-vis des populations d'insectes. Le logiciel Agathe permet de dénombrer, sur une période pouvant s'étendre de quelques minutes à plusieurs heures, voire plusieurs jours, les entrées et les sorties d'insectes dans un périmètre clairement délimité par l'utilisateur et filmé par la caméra BEEcam, et d'y mesurer par conséquent la densité d'activité de leurs populations. Le logiciel



> LOGICIEL AGATHE : LES INSECTES FRANCHISSANT LE LISERAI VERT DANS UN SENS COMME DANS L'AUTRE SONT DÉNOMBRES

Agathe permet également de tracer les trajectoires empruntées par l'ensemble des insectes observés sur la période d'observation et de voir par conséquent si ces trajectoires sont influencées ou non par la présence d'un élément particulier dans le périmètre d'étude ou à proximité directe de ce périmètre. Ces trajectoires sont par ailleurs converties en un nombre total de pixels qui peut être utilisé comme variable pour évaluer la densité d'activité des populations d'insectes filmées. Le matériel, d'utilisation très simple, ne nécessite que très peu d'instrumentation du site. Les prises de vues peuvent se faire aussi bien en extérieur que sous abri. Pour faciliter l'installation, la caméra se comporte comme un « hotspot » WiFi permettant de visualiser la scène visée et de paramétrer la caméra depuis un smartphone ou un tout autre appareil disposant du Wifi et d'un navigateur internet (pas de logiciel spécifique à installer). L'architecture de la caméra a été pensée pour pouvoir évoluer, que ce soit en termes de capacités de mesures (des nouveaux capteurs sont ajoutés et les informations combinées), d'interface homme/machine ou de communication. Un écran peut être ajouté et offrir la disponibilité immédiate des résultats; une communication de type Internet-des-Objets autorise le transfert, sur des distances de l'ordre de 10 km, et à des coûts réduits, des résultats pré-traités des mesures ou des alertes. À ce jour, le logiciel Agathe ne permet pas d'identifier l'espèce, le

genre, la famille ou même l'ordre des insectes filmés. Toutefois, l'utilisation d'un filet-fauchoir, d'un aspirateur, d'un piège à cornet et/ou d'une tente malaise en complément du logiciel Agathe permet d'obtenir une information entière, le logiciel apportant une information quantitative (activité des populations d'insectes) et les autres outils une information qualitative (structure spécifique des populations d'insectes).

PRISE DE VUE ET SENSIBILITÉ DU DISPOSITIF DE MESURE

L'acquisition des données avec la caméra BEEcam nécessite d'aménager un dispositif de prise de vue particulier constitué d'une petite scène avec un panneau gris en arrière-plan. Il est possible de mesurer la densité des populations d'insectes (nombre total d'individus dans un laps de temps donné) dans une zone définie au-dessus d'un couvert végétal (dispositif « exclusif ») ou bien à l'intérieur-même d'une strate herbacée ou arbustive (dispositif « intrusif »). La sensibilité du dispositif de mesure constitué par la caméra BEEcam et le logiciel Agathe » (c'est-à-dire sa capacité à détecter le mouvement des insectes) dépend de plusieurs paramètres tels que la distance entre le capteur de la caméra et le fond gris (D_{C-F}), la vitesse des insectes et la luminosité. Des tests ont été effectués en 2015 au laboratoire du centre Ctifl de Carquefou pour apprécier cette sensibilité. Ces tests ont consisté à laisser tomber, toujours à la

même vitesse (c'est-à-dire 2 à 3 m/s), des objets assimilables à des insectes de différentes tailles, formes et couleurs le long du panneau gris mis en place en arrière-plan du dispositif de prise de vue et à comparer le nombre de passages comptés par le logiciel Agathe au nombre de passages réels. Les objets utilisés (Tableau 1) dans ces tests étaient les suivants: graine de moutarde (1,5 mm; couleur jaune), graine de ciboulette (2,6 mm; couleur noire), graine de carotte (2,8 mm; couleur grise), graine de radis (3,3 mm; couleur blanche), graine de sorgho (4,3 mm; couleur marron clair) et graine de pois (6,9 mm; couleur marron foncé).

Les tests ont été effectués en laissant tomber les objets étudiés à 30 cm du capteur de la caméra BEEcam, d'une part, et à 60 cm, d'autre part, dans trois conditions de luminosité différentes: 4000 à 30000 lux (luminosité équivalente à une matinée d'automne avec un temps couvert, gris et maussade), 30000 à 60000 lux (luminosité équivalente à une belle journée de printemps avec quelques nuages blancs) et 60000 à 100000 lux (luminosité équivalente à une belle journée d'été). Chaque objet a été lâché 12 fois dans chaque test et l'erreur de la mesure a été calculée (nombre de passages détectés par le dispositif de mesure/nombre de passages réels).

Les résultats obtenus (Figure 1) montrent que la sensibilité du dispositif de mesure est d'autant plus élevée que la taille de l'objet filmé est grande et que sa couleur

TABLEAU 1 : TAILLE DES OBJETS ÉTUDIÉS ET DES ENNEMIS NATURELS ASSOCIÉS				
Moutarde (< 2 mm)	Ciboulette et carotte (2 à 3 mm)	Radis (3 à 4 mm)	Sorgho (4 à 5 mm)	Pois (> 6 mm)
Larve d' <i>Orius</i> sp. Adulte de <i>Thrips</i> sp. Adulte d' <i>Aeolothrips</i> sp. Larve de <i>Macrolophus</i> sp. Larve de <i>Nesidiocoris</i> sp. Adulte de <i>Stethorus</i> sp. Larve d' <i>Oligota</i> sp. Larve d' <i>Aphidoletes</i> sp. Adulte d' <i>Encarsia</i> sp. Adulte de <i>Trichogramma</i> sp.	Larve de <i>Deraeocoris</i> sp. Adulte d' <i>Orius</i> sp. Larve d' <i>Anthocoris</i> sp. Larve de <i>Dicyphus</i> sp. Adulte de <i>Macrolophus</i> sp. Adulte de <i>Scymnus</i> sp. Larve de <i>Stethorus</i> sp. Larve d' <i>Aphidoletes</i> sp. Adulte d' <i>Aphidius</i> sp. Adulte de <i>Praon</i> sp. Adulte d' <i>Aphelinus</i> sp. Adulte de <i>Diglyphus</i> sp.	Adulte d' <i>Anthocoris</i> sp. Adulte de <i>Nesidiocoris</i> sp. Adulte de <i>Coenosia</i> sp. Adulte de <i>Dacnusa</i> sp.	Adulte de <i>Dicyphus</i> sp. Adulte de <i>Cotesia</i> sp.	Adulte de <i>Deraeocoris</i> sp. Larve de <i>Chrysopidae</i> Adulte de <i>Chrysopidae</i> Larve d' <i>Hemerobiidae</i> Adulte d' <i>Hemerobiidae</i> Larve de <i>Coccinella</i> sp. Adulte de <i>Coccinella</i> sp. Larve de <i>Scymnus</i> sp. Adulte de <i>Cryptolaemus</i> sp. Larve d' <i>Harmonia</i> sp. Adulte d' <i>Harmonia</i> sp. Larve d' <i>Hippodamia</i> sp. Adulte d' <i>Hippodamia</i> sp. Adulte d' <i>Aleochara</i> sp. Adulte d' <i>Anchomenus</i> sp. Larve de <i>Syrphidae</i> Adulte de <i>Syrphidae</i> Adulte de <i>Tachinidae</i> Adulte de <i>Diadegma</i> sp. Adulte de <i>Diadromus</i> sp.



est sombre, surtout dans des conditions de faible luminosité. Pour une distance D_{C-F} de 60 cm et pour une luminosité comprise entre 4 000 et 30 000 lux seulement, l'erreur moyenne de la mesure ($\pm SE$) est ainsi très élevée pour la graine de moutarde ($95 \pm 2\%$; $n = 5$), qui est de petite taille, tout comme pour la graine carotte, qui est plus grosse mais de couleur claire ($98 \pm 5\%$; $n = 5$). Dans les mêmes conditions de luminosité, l'erreur moyenne de la mesure ($\pm SE$) est significativement plus faible pour la graine de ciboulette ($52 \pm 13\%$; $n = 5$), dont la taille est équivalente à celle de la graine de carotte mais qui est beaucoup plus sombre, tout comme pour la graine de radis ($48 \pm 1\%$; $n = 6$), qui est plus grosse que la graine de ciboulette mais plus claire. L'erreur moyenne de la mesure ($\pm SE$) est enfin très faible pour les graines de sorgho et de pois, toutes deux de grande taille (respectivement $1 \pm 13\%$, $n = 5$ et $1 \pm 1\%$, $n = 7$).

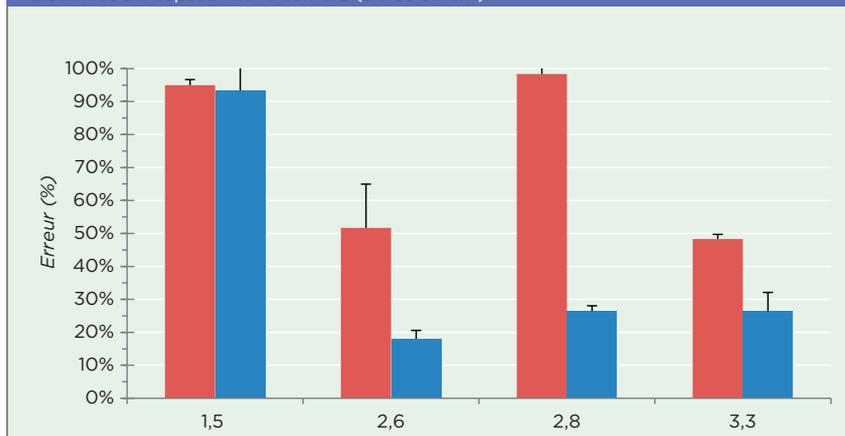
L'erreur moyenne de la mesure ($\pm SE$) diminue très significativement lorsque la luminosité augmente. Toujours pour une distance D_{C-F} de 60 cm mais avec une luminosité comprise entre 30 000 et 60 000 lux, elle est ainsi de $23 \pm 4\%$ ($n = 4$) pour la graine de ciboulette, de $17 \pm 4\%$ ($n = 4$) pour la graine de carotte, de $7 \pm 10\%$ ($n = 4$) pour la graine de radis et de $4 \pm 3\%$ ($n = 7$) pour la graine de sorgho. L'erreur de la mesure est particulièrement faible pour la graine de moutarde (4 %) mais cette information est à relativiser car elle n'est le résultat que d'une seule et unique mesure ($n = 1$). Pour la graine de pois en revanche, l'erreur moyenne de la mesure ($\pm SE$) est plus élevée pour une luminosité comprise entre 30 000 et 60 000 lux ($23 \pm 2\%$; $n = 5$) que pour une luminosité inférieure à 30 000 lux ($1 \pm 1\%$; $n = 7$). Il est possible que l'ombre de la graine de pois projetée sur le panneau gris, bien plus grosse que celle des autres graines, fausse les résultats (l'objet et son ombre sont comptés comme deux individus au lieu d'un seul). Enfin, il est probable que l'erreur de la mesure estimée dans des conditions de luminosité très élevées (plus de 60 000 lux) soit équivalente à celle estimée pour une luminosité comprise entre 30 000 et 60 000 lux. Cette hypothèse doit cependant être confirmée car elle n'est le fruit que de quelques tests effectués dans ces conditions.

FIGURE 1 : Pourcentage d'erreur du dispositif de mesure ($\pm SE$) dans trois conditions de lumière différentes



Pourcentage d'erreur calculé pour des objets de différentes tailles et de différentes couleurs (graine de moutarde de 1,5 mm; graine de ciboulette de 2,6 mm; graine de carotte de 2,8 mm, graine de radis de 3,3 mm, graine de sorgho de 4,3 mm et graine de pois de 6,9 mm) lâchés à 60 cm du capteur de la caméra BEecam. Ce pourcentage d'erreur a été calculé dans trois conditions de lumière différentes: luminosité inférieure à 30 000 lux (barres bleu), luminosité comprise entre 30 000 et 60 000 lux (barres rouge) et luminosité supérieure à 60 000 lux (barres vert); résultats Ctiffl®

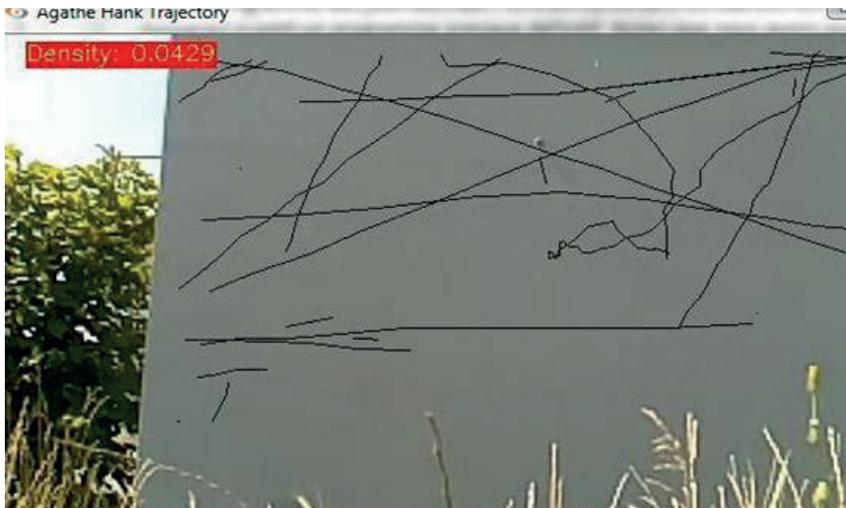
FIGURE 2 : Pourcentage d'erreur du dispositif de mesure ($\pm SE$) calculé à différentes distances du capteur de la caméra (30 et 60 cm)



Pourcentage d'erreur calculé pour des objets de différentes tailles et de différentes couleurs (graine de moutarde de 1,5 mm; graine de ciboulette de 2,6 mm; graine de carotte de 2,8 mm et graine de radis de 3,3 mm) dans des conditions de luminosité comprises entre 10 000 et 30 000 lux. Barres rouge : lâchers à 60 cm, barres bleu : lâchers à 30 cm, résultats Ctiffl®

Pour finir, les résultats obtenus (Figure 2) montrent que plus la distance D_{C-F} est faible, plus la sensibilité du dispositif de mesure est bonne. Dans des conditions de lumière faible (luminosité inférieure à 30 000 lux), le pourcentage de graines de ciboulette, de carotte et de radis détectées par le dispositif de mesure s'améliore par exemple significativement lorsque la distance D_{C-F} diminue. Dans ces conditions, l'erreur moyenne de la mesure ($\pm SE$) est ainsi, pour une distance D_{C-F} de 60 et 30 cm

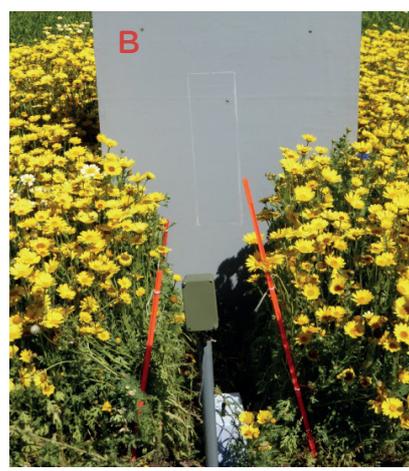
respectivement, de $52 \pm 13\%$ ($n = 5$) et $18 \pm 3\%$ ($n = 6$) pour la ciboulette, de $98 \pm 5\%$ ($n = 5$) et $26 \pm 2\%$ ($n = 5$) pour la carotte et de $48 \pm 1\%$ ($n = 6$) et $26 \pm 6\%$ ($n = 6$) pour le radis. La détection de la moutarde, dont la graine est claire et de petit calibre, est en revanche très difficile dans ces conditions de luminosité, aussi bien pour une distance D_{C-F} de 60 cm que de 30 cm (l'erreur de mesure est de $95 \pm 2\%$ et $93 \pm 10\%$ respectivement; $n = 6$). Ces travaux seront complétés par des travaux supplémentaires actuellement en cours



> TRAJECTOIRE DES INSECTES À PROXIMITÉ D'UN ÉLÉMENT PAYSAGER PARTICULIER (MÉLANGE DE GRAMINÉES).



> OBJETS UTILISÉS POUR LES TESTS DE SENSIBILITÉ : GRAINE DE MOUTARDE, DE CIBOULETTE, DE CAROTTE, DE RADIS, DE SORGHO ET DE POIS.



> DEUX TYPES DE DISPOSITIFS DE PRISE DE VUE PEUVENT ÊTRE MIS EN PLACE : UN DISPOSITIF « EXCLUSIF » (A) ET UN DISPOSITIF « INTRUSIF » (B).

et dont le but est d'évaluer la sensibilité du dispositif de mesure pour différentes valeurs de D_{C-F} (20, 30, 40, 50 et 60 cm) dans des conditions de luminosité comprises entre 30 000 et 60 000 lux. Par ailleurs, la sensibilité de la caméra peut être améliorée en choisissant une caméra avec une optique réglable permettant de se rapprocher de la cible et observer des individus de taille inférieure.

DES ÉCHANTILLONNAGES PRÉCIS

Contrairement aux outils et méthodes habituellement utilisés pour mesurer l'activité des insectes dans un milieu donné (filet-fauchoir, tente malaise, piège à corne, aspirateur à insectes, dénombrement *de visu*...), la caméra BEEcam et le logiciel Agathe permettent non seulement de mesurer une activité ou des flux entre deux

éléments paysagers de façon continue et totalement objective (la qualité de la mesure est invariable) mais aussi de visualiser les trajectoires empruntées par les insectes à proximité d'éléments paysagers ou de dispositifs particuliers. Ils permettent également de multiplier significativement les sites d'échantillonnage et d'effectuer des mesures à différents endroits simultanément et donc d'obtenir des données réellement comparables entre plusieurs stations d'observation avec ces outils, les biais liés à l'heure à laquelle est effectuée la mesure sont supprimés. Les mesures effectuées avec la caméra BEEcam et le logiciel Agathe sont par ailleurs non destructives et sans incidence sur les populations d'insectes étudiées. De plus, l'inventaire des éléments de biodiversité se fait souvent par des mesures terrain réalisées par des opérateurs. Cette composante humaine présente deux défauts majeurs : son coût, qui en limite fortement l'utilisation, et sa dispersion, due à des interprétations ou des faiblesses d'attention. La caméra BEEcam et le logiciel Agathe constituent un outillage performant, novateur, et à bas coût qui, correctement exploité, permet d'obtenir des données fiables, répétitives et synchronisées, que ce soit en termes de quantification des populations ou bien d'acquisition de références qualitatives sur le comportement d'insectes. La propriété de connectivité de ces outils permet un déploiement éloigné sur les sites de production, évitant des déplacements onéreux. Enfin, il n'existe pas à ce jour d'outils permettant la vérification *in situ* et continue des activités de pollinisation en verger et petits fruits.

EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS

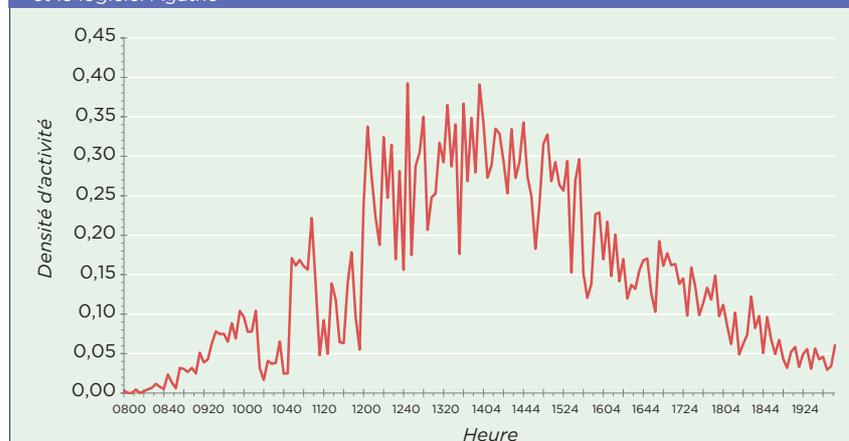
La caméra BEEcam et le logiciel Agathe ont été utilisés à grande échelle par le Ctifl dans le cadre d'une expérimentation conduite en 2015 (projet Casdar Agath). Dans cette expérimentation, plusieurs patchs végétaux (patchs de chrysanthème, d'achillée millefeuille, de mélilot ainsi qu'un patch constitué d'un mélange de plusieurs espèces) ont été implantés sur le pourtour d'une parcelle de poireau dans le but d'attirer les ennemis



naturels du thrips *Thrips tabaci*. Afin de caractériser l'attractivité des patchs végétaux vis-à-vis de ces ennemis naturels, la structure spécifique de leurs populations (*i. e.* proportion de chaque espèce dans l'ensemble de la population échantillonnée) a été déterminée à quatre dates d'observation (le 21/07/15, le 22/07/15, le 29/07/15 et le 04/08/15) à l'aide d'un filet-fauchoir (prélèvement des insectes sur les végétaux et détermination des espèces ciblées au laboratoire). À chaque date d'observation, la densité d'activité des populations d'insectes a été également mesurée simultanément sur tous les patchs végétaux à l'aide de la caméra BEEcam et du logiciel Agathe, de façon continue entre 8 heures et 20 heures. Les données acquises avec la caméra BEEcam et le logiciel Agathe, complémentaires à celles acquises avec le filet-fauchoir, ont d'abord permis de tracer la cinétique des populations d'insectes aux quatre dates d'observation et d'identifier à quel moment de la journée leur activité était la plus forte (Figure 3). Ce type d'information est très utile par exemple si l'on souhaite effectuer les prélèvements d'insectes pour déterminer la structure spécifique de leurs populations au moment où l'activité de ces derniers est maximale. Dans les travaux menés par le Ctifl, l'activité des populations d'insectes mesurée en juillet sur les patchs de chrysanthème s'est par exemple avérée maximale entre 12 heures et 15 heures, et c'est sur cette plage horaire que les échantillonnages avec le filet-fauchoir ont par conséquent été effectués.

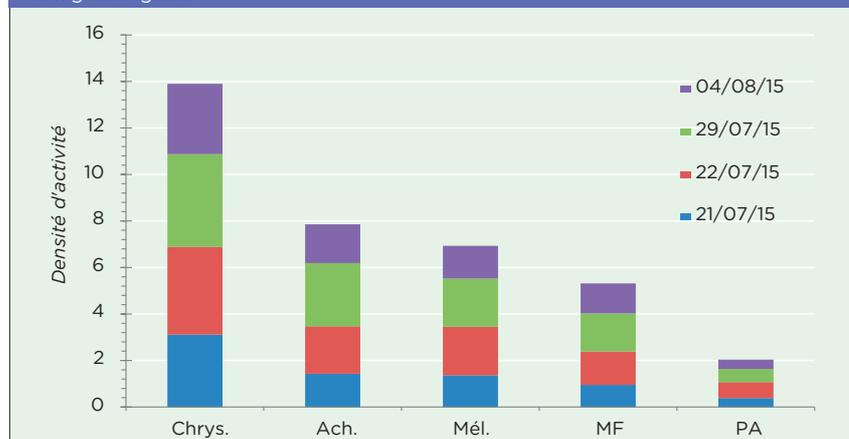
Les données acquises avec la caméra BEEcam et le logiciel Agathe ont ensuite permis de comparer l'activité des populations d'insectes entre les différents patchs végétaux étudiés d'une part, et entre la parcelle de poireau entourée par ces patchs et une parcelle de poireau témoin (parcelle de poireau identique en termes d'itinéraire technique mais sans aucune infrastructure agroécologique particulière sur ces abords) d'autre part. Les résultats obtenus montrent par exemple que l'activité des populations d'insectes est plus élevée sur les patchs de chrysanthème que sur les autres patchs (Figure 4). Ce résultat suggère que le chrysanthème pourrait posséder des qualités particulièrement intéressantes pour les insectes en général et peut-être pour les ennemis naturels de

FIGURE 3 : Cinétique des populations d'insectes observée avec la caméra BEEcam et le logiciel Agathe



Densité d'activité observée le 09/07/15 entre 8 h et 20 h sur un patch de chrysanthème (résultats de travaux menés par le Ctifl en 2015)

FIGURE 4 : Activité des populations d'insectes mesurée avec la caméra BEEcam et le logiciel Agathe



Densité d'activité des populations d'insectes mesurée sur des patchs de chrysanthèmes (Chrys.), d'achillée millefeuille (Ach.) et de mélilot (Mél.) ainsi que sur un mélange fleuri du commerce (MF) et dans une parcelle de poireau adjacente (PA) sur la période du 21/07/15 au 04/08/15 (résultats de travaux menés par le Ctifl en 2015)

thrips en particulier (nectaires facilement accessibles avec des nectars riches en composés glucidiques, pollen riche en acides aminés, présence de proies ou d'hôte de substitution...). Des analyses complémentaires au laboratoire permettraient de confirmer cette hypothèse. Les résultats obtenus montrent également que l'activité des populations d'insectes est significativement plus élevée sur tous les patchs végétaux étudiés que sur la culture de poireau adjacente. Cela suggère que les flux d'insectes des patchs végétaux vers le centre de la culture de poireau sont assez faibles. La mise en place d'un dispositif d'observa-

tion particulier avec la caméra BEEcam pourrait permettre de répondre assez facilement à cette question (mise en place de plusieurs caméras le long d'un transect culturel perpendiculaire aux patchs végétaux), ce qui serait beaucoup plus difficile (voire impossible) avec les instruments de mesure traditionnels. Enfin, les résultats obtenus la caméra BEEcam et le logiciel Agathe montrent de façon évidente que l'activité des insectes est significativement plus élevée dans la parcelle de poireau entourée avec les patchs végétaux étudiés que dans une parcelle de poireau témoin (Figure 5).

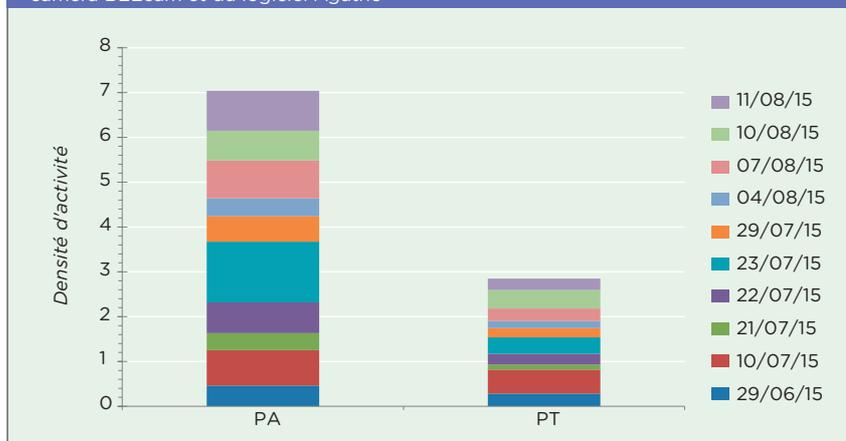


PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT

Après deux années de mise au point et une année de tests en parcelle expérimentale, la caméra BEEcam et le logiciel Agathe sont opérationnels et disponibles pour les chercheurs et les expérimentateurs qui s'intéressent à la protection des cultures contre les insectes phytophages et aux pollinisateurs. L'utilisation de ces outils devrait permettre de caractériser avec précision l'attractivité d'infrastructures agroécologiques particulières vis-à-vis des populations d'insectes, ou encore de cartographier l'activité de ces populations dans les parcelles de cultures dans le but de mieux comprendre leurs flux (sous réserve de disposer d'un nombre suffisant de caméras et d'un logiciel de cartographie adéquat).

La caméra BEEcam et le logiciel Agathe sont évolutifs et pourront être adaptés à l'avenir à différents besoins ou différentes problématiques. Ils pourraient par exemple être utilisés pour automatiser le suivi de ravageurs ciblés dans les cultures (mouches, noctuelles, thrips et pucerons) et améliorer ainsi l'efficacité des moyens de protection mis en œuvre. Utilisés par les producteurs, ils pourraient devenir des outils de monitoring innovants permettant de développer des stratégies de traitement sur seuil et de limiter *in fine* le recours aux insecticides de synthèse tout en maintenant les performances économiques de la filière. Ils pourraient aussi être améliorés pour pouvoir identifier automatiquement les ordres, voire les familles, d'insectes en fonction de la taille et des caractéristiques de vol des individus filmés par exemple, même si cela apparaît pour le moment futuriste. Enfin, on constate aujourd'hui des limitations de rendement en vergers à cause de problématiques liées à la faiblesse de la pollinisation. Ce frein à la productivité et sa difficulté de prédiction peuvent être en partie résolus par une meilleure connaissance, au niveau du territoire, des forces et faiblesses en présence. Connaître la disponibilité des colonies d'insectes pollinisateurs naturels, travailler à favoriser la présence de ceux-ci à proximité des cultures aux moments adéquats, savoir calculer précisément

FIGURE 5 : Densité d'activité des populations d'insectes mesurée à l'aide de la caméra BEEcam et du logiciel Agathe



Densité d'activité mesurée dans une parcelle de poireau entourée avec différents patchs végétaux susceptibles d'attirer les ennemis naturels de thrips (PA) et dans une parcelle de poireau sans infrastructure agroécologique particulière sur ses abords considérée comme parcelle témoin (PT) sur la période du 29/06/15 au 11/08/15 (résultats de travaux menés par le Ctifl en 2015)

TRACER LES POPULATIONS D'INSECTES

Le concept BEEcam réside dans la mise en œuvre de techniques de traitement d'images pour fournir un inventaire de la biodiversité pour un territoire. Cette innovation majeure est organisée autour d'une caméra « intelligente » et différents logiciels qui comptabilisent et recensent les insectes volants ainsi que ceux qui marchent sur le sol dans un biotope donné. Tout d'abord développé pour des travaux de recherche menés par le Ctifl sur des stratégies innovantes de biocontrôle et de lutte biologique intégrée, cet outil a depuis été étendu à la recherche des interactions insecte/plante. En particulier, étudier les capacités de pollinisation d'un territoire est maintenant possible grâce à des mesures précises de visites des insectes sur les plantes, chiffres mis en relation avec les colonies d'insectes disponibles ou les effets de compétition entre les cultures et la végétation naturelle à proximité. D'autres paramètres, comme le nombre de visites nécessaires pour une pollinisation effective et donc des rendements maîtrisés, sont maintenant quantifiables. Ce qui était limité par un échantillonnage réduit et des captures ponctuelles et destructrices de la faune (filet faucheur) est devenu possible à grande échelle et en simultanéité sur plusieurs sites.

le nombre de ruches d'insectes domestiques par hectare nécessaires pour assurer un rendement optimal, assurer une activité optimale de la ruche tout en s'interrogeant sur les qualités sanitaires nécessaires à sa pérennité, sont autant de problématiques que la caméra BEEcam et le logiciel Agathe pourraient aider à résoudre. ■

Les travaux menés pour élaborer et tester la caméra BEEcam et le logiciel Agathe ont été effectués avec la collaboration de Theresa Koch (stagiaire Ctifl-AgroCampus Ouest- Hochschule Weihenstephan-Triesdorf), Pierre Gauguet (Ctifl), Honoré Labanca (apprenti de l'ESA au Ctifl), Emmanuel Poirier (Advansée) et Mickaël Guivarch (Advansée).

BIBLIOGRAPHIE

Picault S., (2014). Biodiversité fonctionnelle en cultures légumières : vers une gestion agroécologique des pucerons et des thrips. Infos-Ctifl n° 300 avril, p. 46-55.

Vidéo présentant les travaux du Ctifl en matière de biodiversité fonctionnelle : https://www.youtube.com/watch?v=I-47j_5iMKU&feature=youtu.be

Vidéo présentant la caméra BEEcam : <http://beecam.advansée.com>