

## Une caméra pour mettre en évidence la prédation des insectes à la surface du sol

Jean-Marc Teulé, Gilles Grandeau, Dominique Le Floch, Amaury Guillet, Guillaume Wetzell et Antoine Gardarin<sup>1</sup>

**Résumé :** La prédation entre arthropodes est une composante importante de la régulation des insectes ravageurs dans les cultures, mais elle est difficile à mettre en évidence et à quantifier. Pour répondre à des besoins de visualisation au champ des prédateurs en action, nous avons développé notre propre instrument pour la capture d'images en time-lapse, sur une base de nano-ordinateur Raspberry Pi. En parallèle, une interface de programmation sur mesure a été développée. L'utilisation du dispositif au champ confirme le rôle des carabes, des araignées et des faucheux dans la prédation des larves d'insectes à la surface du sol, mais il met aussi en évidence l'importance de prédateurs inattendus tels que les limaces.

**Mots clés :** Prédation, Raspberry Pi, PiScope, PiTANCE, photographie, insecte, analyse d'images

**Abstract:** Predation amongst arthropods is an important key in the regulation of ravaging insects in crops but it is difficult to highlight it and to quantify it. To be able to visualise those predators in action in the field, we have developed our own instrument to capture image in time-lapse in a nano-computer Raspberry Pi. A tailored programming interface was developed in the meantime. This device is used to confirm the role of ground beetles, spiders and harvestmen in the predation of insect grub at the ground surface. It highlights the importance of unexpected predators such as slugs.

**Keywords:** Predation, Raspberry Pi, PiScope, PiTANCE, photography, insect, image analysis

### Introduction : de la difficulté de mettre en évidence la régulation réalisée par les prédateurs épigés

Les arthropodes épigés, c'est-à-dire vivant à la surface du sol (principalement les carabes, staphylins, araignées et faucheux ou opilions) jouent un rôle majeur dans la régulation des ravageurs des grandes cultures. En consommant les larves d'altises, charançons et méligèthes lorsqu'elles chutent des plants de colza pour se nymphoser dans le sol, ces prédateurs limitent fortement le renouvellement des populations de la génération suivante (Büchs et Nuss, 2000 ; Zaller et al., 2009). De même, dans les cultures de blé d'hiver, l'exclusion des prédateurs entraîne une augmentation significative des effectifs de pucerons (Collins *et al.*, 2002).

Malgré la connaissance du potentiel de régulation que peuvent apporter les prédateurs épigés, la prédation effectivement réalisée est techniquement difficile à quantifier car la prédation ne laisse pas de trace, contrairement au parasitisme effectué par les micro-guêpes parasitoïdes. Ces difficultés et ces manques de

---

<sup>1</sup> UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, 78 850 Thiverval-Grignon, France. Jean-Marc.Teule@inra.fr

connaissances sont un frein à la conception à l'évaluation de systèmes de culture qui amplifieraient ces régulations naturelles.

L'utilisation de proies sentinelles consiste à déposer au champ un nombre connu de proies mimant des ravageurs puis à mesurer leur disparition dans un délai donné (Lövei et Ferrante, 2017). Ceci permet de mettre en évidence un potentiel de prédation réalisé par toute la faune, sans possibilité de connaître les organismes qui en sont responsables. Le piégeage des arthropodes marcheurs permet d'estimer la quantité et la diversité des prédateurs supposés, mais en raison de leur régime alimentaire très généraliste, le lien avec la prédation réalisée est rarement clairement établi. Parmi les méthodes permettant de préciser les relations prédateurs-proies (Birkhofer et al., 2017), celles basées sur l'analyse moléculaire des contenus stomacaux sont précieuses pour identifier par exemple le cortège des prédateurs d'un type de proie mais elles n'indiquent rien sur le comportement des prédateurs ni sur la fréquence des événements de prédation. Les observations directes apportent beaucoup plus d'informations mais elle restent très chronophages et biaisées par la présence de l'observateur.

Pour progresser dans la compréhension des effets des arthropodes épigés sur la prédation, la prise d'images au champ apporte des informations complémentaires à celles obtenues par piégeage des prédateurs supposés. Ceci permet de réaliser de nombreuses observations avec répétitions, de déterminer l'identité des prédateurs, mais aussi leur comportement lors de la prédation (fréquence d'attaque, temps de manipulation) ou leurs interactions avec les autres prédateurs (Birkhofer et al. 2017). Grieshop *et al.* (2012) ont ainsi mis en évidence de fortes disparités entre les prédateurs piégés dans des cultures de myrtilliers (carabes, araignées) et ceux responsables de la prédation des ravageurs observés à l'aide de caméras, c'est-à-dire des fourmis, qui parviennent à éviter les pièges.

Des dispositifs de prise d'image ont déjà été utilisés par ailleurs, mais ils ne sont pas toujours suffisamment décrits pour être reproduits (par exemple Walton et Grieshop, 2016 ; Zou et al. 2017). Le matériel est parfois volumineux, non portable, non autonome et requiert un volume pour le stockage des vidéos très important (Grieshop et al., 2012 ; Hemerik et al., 2018). Il existe également dans le commerce des caméras prêtes à l'emploi de type piège Bushnell®, mais leurs caractéristiques manquent de précision ou de possibilités de programmation pour une diversité d'usages voulus.

Pour répondre aux besoins d'un dispositif portable et aisément déplaçable sur le terrain, aussi solide que les pièges Bushnell, mais techniquement plus souple, nous avons besoin d'une solution sur mesure, proche de celle déjà mobilisée par Kistner et al. (2017), permettant :

- de descendre à une prise de vue jusqu'à la seconde sur un time-lapse de longue durée ;
- d'avoir un éclairage infra-rouge de la scène à une longueur d'onde réellement invisible aux prédateurs pour ne pas influencer leur comportement. Par exemple, le modèle Bushnell mentionne seulement « *Black IR* » ce qui est imprécis et l'éclairage est bien trop puissant. Même au minimum pour une scène très rapprochée, les images sont brûlées si on ne filtre pas les LED IR avec plusieurs couches de papier linge ;
- de pouvoir programmer plusieurs séquences indépendantes consécutives.

Notre objectif a donc été de mettre au point un dispositif de prise d'images au champ et de tester sa capacité à révéler les organismes responsables de la prédation de proies sentinelles. Nous présentons la conception du dispositif de prise d'images, simplement nommé le PiScope, puis des exemples d'utilisation.

# Le Cahier des Techniques de l'Inra 2019 (97)

## 1. Description du dispositif PiScope

### Cahier des charges, objectifs

Le dispositif PiScope a pour objectif de constituer un système de prises de vues de terrain, la nuit, avec les caractéristiques suivantes :

- gestion fine du time lapse (intervallomètre) jusqu'à 1 image par seconde ;
- équipement réellement programmable ;
- transportable en un seul ensemble ;
- équipé :
  - d'une caméra sans filtre infrarouge,
  - d'un éclairage infrarouge non perturbant pour la faune et suffisamment performant pour le capteur de la caméra ;
- résistant aux intempéries ainsi que stable et insensible à la surface du terrain ;
- et suffisamment autonome pour au moins 12 heures de prise de vue (alimentation par batteries).

### Description matérielle

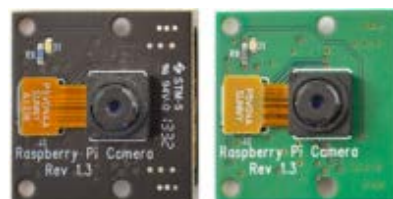
Le PiScope est un ensemble composite constitué des éléments de base suivants :

- un nano-ordinateur Raspberry Pi 3 (Figure 1A) - coût : 33 € ;
- une caméra Pi NoIR V1 (5 mégapixels) ou V2 (8 mégapixels) qui se distingue par le circuit imprimé de couleur noire et non vert (Figure 1B) - coût : 28 € ;
- un boîtier en aluminium pour contenir (et protéger) le Raspberry Pi 3 et la camera Pi NoIR (Figure 1C) après découpe pour l'objectif - coût : 16 € ;
- un disque dur ou ssd externe USB pour stocker à la volée les prises de vues, solution préférée aux clés USB pour des questions d'espace de stockage et de fiabilité - coût : matériel de récupération issu de recyclage d'ordinateurs portables ;
- un éclairage LED infrarouge émettant à 940 nm Kingbright BL0106-15-28 pour extérieur et alimenté en 6 volts continus (Figure 1D) - coût : 8 € ;
- deux types de batteries : un *powerbank* lithium ion de 20800 mA/h fournissant les 5 volts et 2,1 ampères et suffisants au fonctionnement du Raspberry Pi (sans écran connecté) plus le disque dur externe – coût : 33 € et une batterie au plomb de 6 volts uniquement dédiée à l'éclairage infrarouge - coût : 26 €.

A



B



C



D



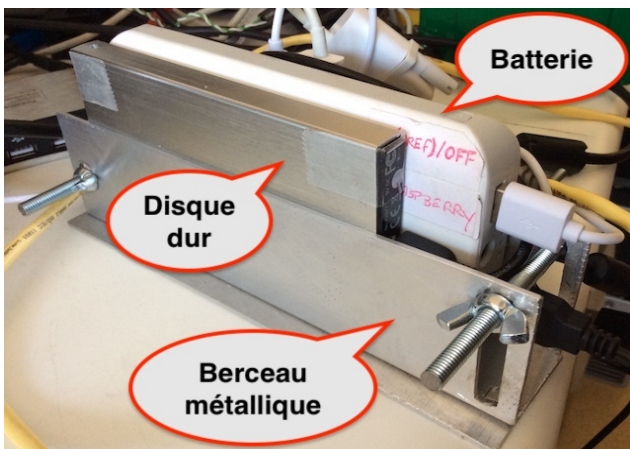
Figure 1. Composants de base du PiScope.

Ces éléments sont assemblés comme suit :

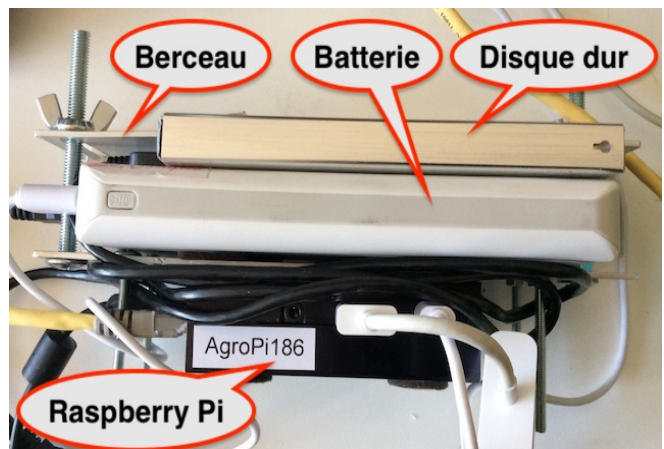
- un berceau métallique de fixation créé à partir de cornières en aluminium, avec un serrage-desserrage via un écrou papillon pour assembler en un bloc rigide le Raspberry Pi, la batterie Li-ion et le disque externe et orienter l'ensemble selon la visée désirée : vers le sol ou vers la végétation (Figure 2 A, B et C) - coût : matériel de récupération ;
- une boîte de dérivation électrique (Figure 2D) avec couvercle jointé et détourné de son usage initial pour servir de contenant pouvant résister aux intempéries (IP 66) et avec suffisamment de place pour contenir tous les éléments ci-dessus (sauf lampes IR placées à l'extérieur) - coût : matériel de récupération ;
- du Patafix (gomme collante repositionnable) pour arrimer les batteries et certains éléments sans les fixer définitivement et garder une grande diversité de configuration – coût plaque entière : 3 € ;
- quatre pieds de type table basse et fixés à l'envers sous le boîtier pour une meilleure stabilité sur le terrain. Ils délimitent aussi la zone de prise de vue au sol. Leur hauteur doit correspondre au focus de la caméra pour la visée verticale vers le sol (Figure 3) - coût : 4,40 € x 4 = 17,60 €.

Coût total du matériel assemblé : 164,60 €

A



B



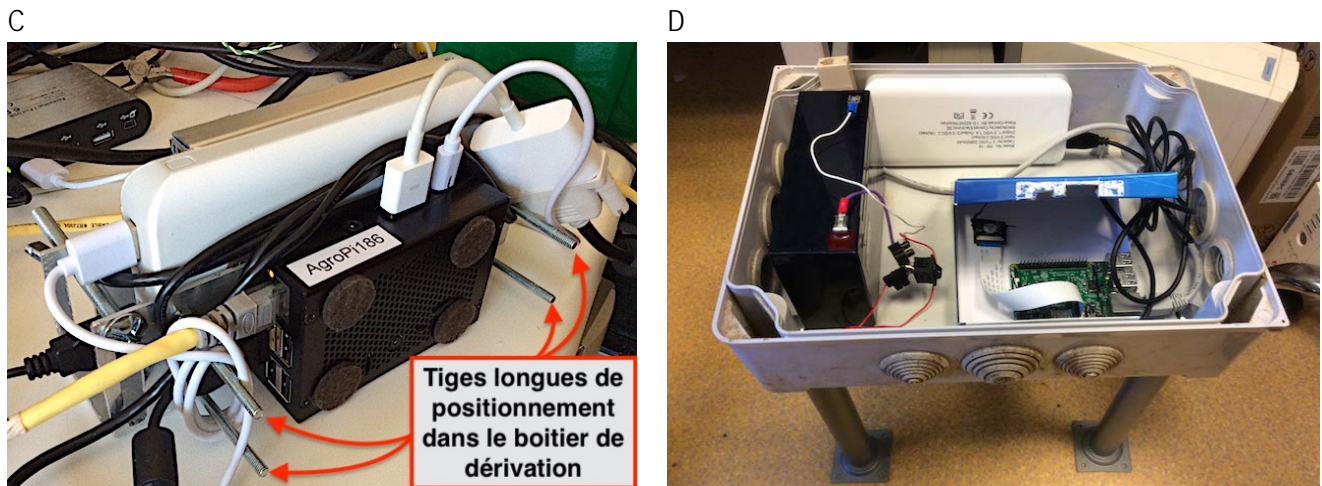


Figure 2. Exemple d'assemblage des différents éléments du PiScope entre-eux et dans le boîtier étanche. Les photos A, B et C montrent comment la batterie, le disque dur et le Raspberry Pi sont fixés dans le berceau métallique. Cette fixation n'était pas présente dans la photo D qui est un autre prototype.



Figure 3. Exemple d'installation du PiScope au champ.

### Développement d'une interface

Le Raspberry Pi est animé par le système Linux Ubuntu Mate. Il a été préféré au système Raspbian générique pour une meilleure gestion d'interface réseau. Ces systèmes intègrent d'origine la commande *raspistill* qui est dédiée au time-lapse (intervallomètre) avec la caméra du Raspberry Pi. Cette commande se programme via un script assez vite complexe à composer, avec tous les risques d'erreurs que ce type d'exercice comporte.

Une interface maison appelée PiTANCE (Pi Time-lApse iNterfaCE) a donc été développée pour permettre une manipulation conviviale des principaux paramètres de la commande native *raspistill* par un utilisateur lambda. Un prérequis indispensable est d'installer la commande *at* (`sudo apt-get install at`) car PiTANCE utilise cette commande pour programmer le déclenchement des séquences de time lapse.

L'application est divisée en quatre zones principales (Figure 4) détaillées dans le tableau 1.

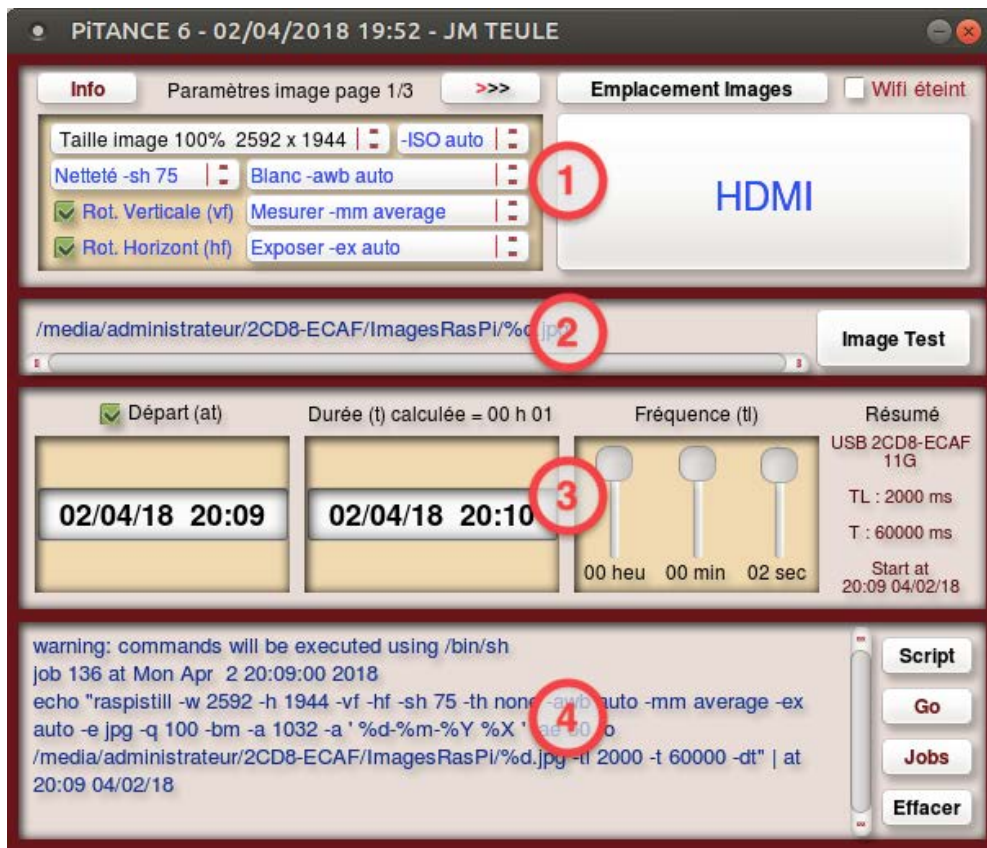


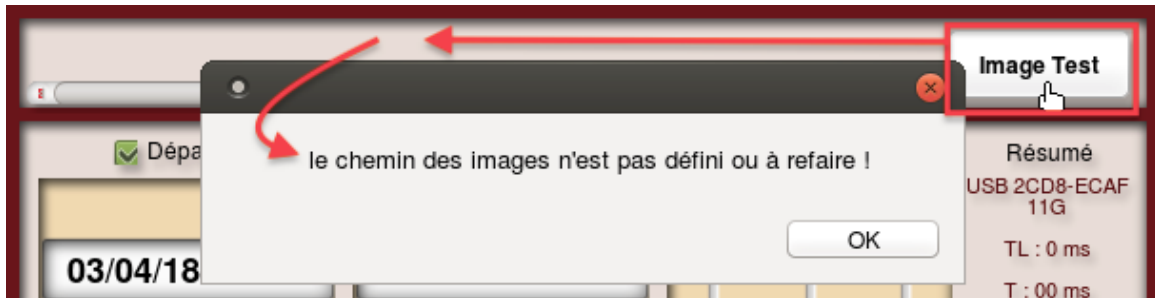
Figure 4. Vue générale de l'interface PiTANCE développée sur mesure pour programmer le dispositif de prise d'images.

Tableau 1. Description des différents espaces de l'interface PiTANCE et de leurs fonctionnalités.

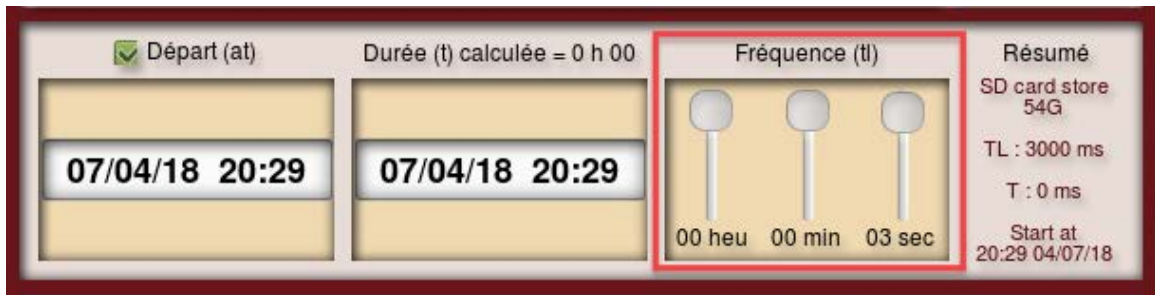
**Zone 1 :** réglage des principaux paramètres de l'image, dont la taille, la netteté, la sensibilité ou les options d'annotation de l'image (illustration), du choix de l'emplacement des images, de l'activation ou désactivation du point d'accès wifi du PiScope (à créer pour permettre un accès depuis une tablette sur terrain sans réseau), et un gros bouton HDMI pour activer l'affichage du retour vidéo de la caméra sur un écran externe compatible.



**Zone 2 :** tester la prise d'image (validation de l'emplacement choisi des fichiers et analyse de la prise de vue).



Zone 3 : réglage de l'intervallomètre en termes de durée et de fréquence, choix d'un départ immédiat ou différé.



Zone 4 : générer les scripts pour *raspistill* à partir des réglages, les activer ou les détruire.

Info Paramètres image page 1/3 >>> Emplacement Images  Wifi éteint

Taille image 100% 2592 x 1944 | -ISO auto |  
Netteté -sh 75 | Blanc -awb auto |  
 Rot. Verticale (vf) | Mesurer -mm average |  
 Rot. Horizont (hf) | Exposer -ex auto |

HDMI

/media/administrateur/PHOTO3/ImagesRasPi/%d.jpg Image Test

Départ (at) Durée (t) calculée = 10 h 00 Fréquence (tl) Résumé  
03/04/18 14:54 04/04/18 00:54 00 heu 00 min 03 sec USB PHOTO3 28G  
TL : 3000 ms  
T : 36000000 ms  
Start at 14:54 04/03/18

```
echo "raspistill -w 2592 -h 1944 -vf -hf -sh 75 -th none -awb auto -mm average -ex auto -e jpg -q 100 -bm -a 1032 -a '%d-%m-%Y %X' -ae 50 -o /media/administrateur/PHOTO3/ImagesRasPi/%d.jpg -tl 3000 -t 36000000 -dt" | at 14:54 04/03/18
```

Script  
Go  
Jobs  
Effacer

warning: commands will be executed using /bin/sh  
job 72 at Mon Mar 26 20:00:00 2018

```
echo "raspistill -w 2592 -h 1944 -vf -hf -sh 75 -th none -awb auto -mm average -ex auto -e jpg -q 100 -bm -a 1032 -a '%d-%m-%Y %X' -ae 50 -o /home/administrateur/ImagesRasPi/Test%d.jpg -tl 3000 -t 36000000 -dt" | at 20:00 03/26/18
```

Script  
Go  
Jobs  
Effacer

72 Mon Mar 26 20:00:00 2018 a administrateur  
73 Wed Mar 28 20:00:00 2018 a administrateur  
74 Thu Mar 29 20:00:00 2018 a administrateur

Afficher les jobs Stopper tout ! Choisir Annuler

00 heu 00 min 03 sec Start at 20:00 03/29/18

```
warning: commands will be executed using /bin/sh  
job 74 at Thu Mar 29 20:00:00 2018  
echo "raspistill -w 2592 -h 1944 -vf -hf -sh 75 -th none -awb auto -mm average -ex auto -e jpg -q 100 -bm -a 1032 -a '%d-%m-%Y %X' -ae 50 -o /home/administrateur/ImagesRasPi/Test%d.jpg -tl 3000 -t 36000000 -dt" | at 20:00 03/29/18
```

Script  
Go  
Jobs  
Effacer



## Le Cahier des Techniques de l'Inra 2019 (97)

PiTANCE n'a été conçu, testé et utilisé que sur l'environnement Ubuntu Mate pour Raspberry Pi mais peut fonctionner sous Rasbian 9 (Strech), sauf pour les commandes de gestion wifi qui sont différentes. PiTANCE a été développé à partir de l'environnement de développement intégré (IDE) Livecode Community 7.04 dans sa version spécifique pour Raspberry Pi sous licence GPL v3.

Le fichier source *livecode* est un binaire et toute ouverture de celui-ci avec un autre éditeur que l'IDE de Livecode le détruira. Livecode Community est la version *open source* de Livecode et est disponible gratuitement pour les principales plateformes (Windows, Mac, Linux, Raspberry).

Les informations complémentaires et le téléchargement du programme sont accessibles sur le site de l'unité Agronomie : <https://www6.versailles-grignon.inra.fr/agronomie/Productions/Dispositif-PiScope/PiScope>

## 2. Exemples d'utilisation

En 2017 et 2018, entre avril et juillet, nous avons testé le PiScope dans une diversité de situations. D'une part, nous avons cherché à maximiser la diversité des systèmes de culture étudiés (avec ou sans pesticides, avec ou sans travail du sol, présence ou non de bande fleurie), ayant des effets contrastés sur les communautés de prédateurs. D'autre part, deux types de proies sentinelles furent placés sous l'objectif (Figure 5), *i.e.* des pucerons du pois et des larves de bruches, tous deux issus d'élevages. Les larves de bruches mesurent quelques millimètres de longueur et sont de la même taille que celles des coléoptères s'attaquant au colza. Tous les résultats présentés concernent des proies placées à la surface du sol. Il est cependant possible de disposer des proies dans la végétation (le PiScope est prévu pour prendre des images dans la végétation, à l'horizontale), mais les événements de prédation y sont beaucoup plus rares.



Figure 5. Les proies sentinelles placées sous l'objectif du PiScope sont des pucerons du pois (*Acyrtosiphon pisum*) à gauche et des larves de bruches du niébé (*Callosobruchus maculatus*) à droite. Dix pucerons sont délicatement collés par le bout des pattes sur un support de papier de verre juste avant d'être exposés à la prédation. Chaque puceron était ensuite entouré d'un cercle au crayon de papier pour mieux les repérer la nuit. Les larves de bruches, immobiles et de couleur blanche, sont déposées sur du compost afin d'augmenter le contraste sur les images. Leur quantité était comprise entre 10 et 50.

Soixante-quatre sessions d'enregistrement ont été réalisées, généralement de 18 h à 6 h du matin, avec une prise d'image toutes les trois secondes. L'autonomie des batteries ne nous a pas permis de prolonger la durée

des enregistrements. Des exemples de vidéos en time-lapse, reconstituées à partir de l'assemblage des images, sont consultables sur le site internet de l'UMR Agronomie<sup>2</sup>.

Les images ont été analysées en les faisant défiler et en répertoriant tous les organismes passant dans le champ de la caméra et leurs interactions éventuelles avec les proies sentinelles. Cinq types d'interactions ont été distingués : un organisme passe et n'interagit pas avec les proies (absence d'interaction) ; l'organisme déplace seulement la proie qui reste dans le champ de la caméra ; l'organisme teste la proie sans la consommer ; la proie est emportée hors du champ de la caméra, peut-être pour la consommer dans un abri ; le prédateur consomme tout ou partie de la proie (prédation). Les prédateurs ont été identifiés au maximum de ce que permettait la qualité des images. Selon l'intensité de l'activité biologique à la surface du sol, décroissante d'avril à juillet, l'analyse d'une nuit d'enregistrement a pris d'une à quelques heures.

### 3. Premiers résultats originaux

Dans 80 % des cas environ, les proies sentinelles déposées étaient consommées au crépuscule et dans la première moitié de la nuit. Au total, 3000 comportements ont pu être observés sur les images. Dans 68 % des cas, les organismes, comme les myriapodes ou les cloportes, ne font que passer sans prêter attention aux proies sentinelles. La prédation au sens large (devant l'objectif ou proie emportée hors du champ du PiScope pour être probablement consommée) représente 25 % des observations (Figures 7 et 8). Les pucerons ont été principalement consommés par des opilions (dans 24 % des cas) et des limaces (20 %), et secondairement par des araignées (12 %) et des carabes (10 %). Dans le cas des larves de bruches, la prédation est très majoritairement effectuée par les carabes (dans 53 % des cas). De nombreux autres organismes contribuent aussi à la prédation, tels que les staphylins, les mouches (diptères), les larves de cantharides, les micromammifères, et même une jeune fauvette grisette picorant les pucerons, ce qui souligne la complémentarité entre toutes ces espèces envers la régulation des insectes.



<sup>2</sup> <https://www6.versailles-grignon.inra.fr/agronomie/Productions/PiScope-et-videos/Videos-proies-sentinelles>

## Le Cahier des Techniques de l'Inra 2019 (97)

Figure 6. Exemple d'image montrant un *Anchomenus dorsalis* (en bas à gauche du disque central) et deux *Pterostichus melanarius* (à droite) consommant des larves de bruches.

Même si la fonction prédatrice de certains taxons de limaces (Barker et Efford, 2004) et de mouches (Sunderland et al., 1987) est connue, ces organismes sont rarement considérés pour leur rôle de régulation possible des insectes ravageurs. Grâce à nos prises d'images, nous constatons que leur contribution à la prédation est loin d'être négligeable. La présence des limaces est très forte durant les périodes pluvieuses, là où les insectes sont généralement moins actifs, probablement du fait de températures plus fraîches. Leur comportement de prédation n'est pas opportuniste, mais il consiste en une recherche active des proies. À l'inverse, les araignées et fourmis, prédateurs attendus, n'ont pu être que rarement répertoriés. Ceci peut paraître surprenant car les araignées surpassent largement, en quantité, les carabes dans le contenu des pièges. Il est probable que les araignées, les fourmis, mais aussi les petits staphylins fassent partie des 25 % d'organismes observés qui n'ont pas pu être identifiés avec certitude sur les images. En effet, les organismes de petite taille (moins de 4 mm) sont difficilement reconnaissables en raison d'une résolution insuffisante et d'un contraste non satisfaisant entre le prédateur et le substrat de fond.

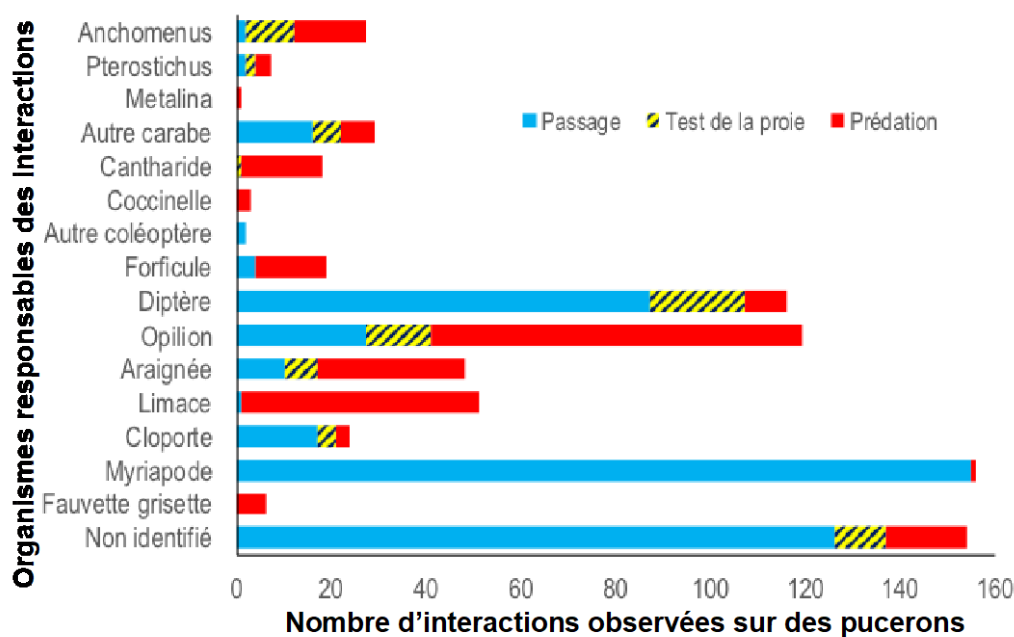


Figure 7. Nombre observations réalisées, classées par type d'organisme et par intensité croissante (de l'absence d'interaction à la prédation). Les images ont été prises par le PiScope avec des pucerons en tant que proies sentinelles. Parmi les carabes, les genres *Anchomenus*, *Pterostichus* et des petits carabes de type *Metallina* ont pu être distingués.

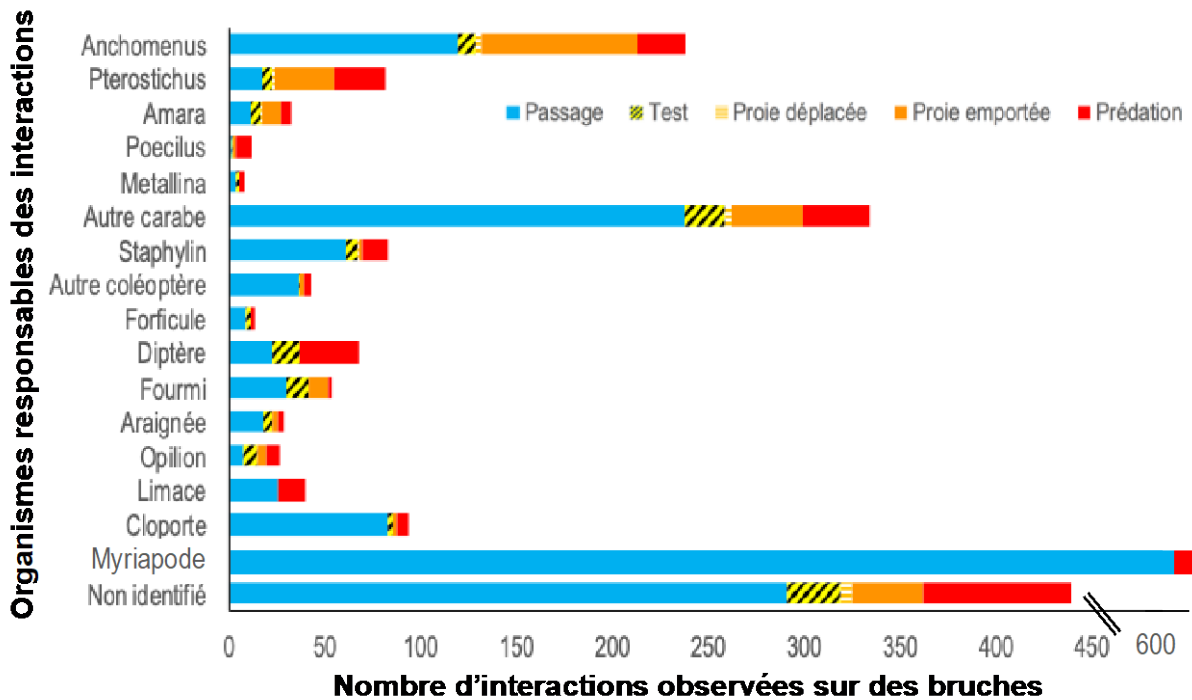


Figure 8. Nombre observations réalisées, classées par type d'organisme et par intensité croissante (de l'absence d'interaction à la prédation). Les images ont été prises par le PiScope avec des larves de bruches en tant que proies sentinelles. Parmi les carabes, les genres *Anchomenus*, *Pterostichus*, *Amara*, *Poecilus* et des petits carabes de type *Metallina* ont pu être distingués.

## Conclusions et perspectives

Les images prises par le PiScope permettent de confirmer ou rejeter un certain nombre d'hypothèses quant à l'identité des organismes impliqués dans la prédation des insectes à la surface du sol. Si nous pouvons confirmer le rôle majeur des prédateurs présumés tels que les carabes et les opilions, nous avons pu mettre en évidence l'importance de prédateurs généralement négligés, tels que des diptères et surtout, des limaces, à la fois sur les pucerons et sur les bruches. Ceci montre que la prise en compte de ces prédateurs est indispensable pour comprendre le déterminisme de la prédation des ravageurs, surtout pendant les périodes pluvieuses. Néanmoins, l'utilisation de proies sentinelles immobiles pourrait avoir augmenté leur susceptibilité vis-à-vis des limaces, ce qui ne serait pas nécessairement le cas avec des proies mobiles (Zou et al., 2017). La résolution des images devrait cependant être améliorée afin d'identifier les très nombreux organismes de petite taille dont certains consomment ou emportent les proies exposées.

L'étroitesse de la fenêtre spatiale (quelques cm<sup>2</sup>) et temporelle (12 h) des observations réalisées avec le PiScope requerrait de démultiplier son usage pour comparer par exemple le fonctionnement des communautés de prédateurs dans un réseau de parcelles d'agriculteurs mettant en œuvre des pratiques contrastées. Il en résulterait un temps d'analyse d'images beaucoup trop important, ce qui pourrait être facilité à l'avenir avec le développement de méthodes de traitement automatique des images. Ces méthodes devront être capables de sélectionner les événements « intéressants » à trier parmi ceux résultant de la forte activité biologique observée à la surface du sol (nombreux myriapodes, cloportes, collemboles, vers de terre), voire de reconnaître certaines catégories de prédateurs par intelligence artificielle.

## Le Cahier des Techniques de l'Inra 2019 (97)

Dans l'état actuel, le PiScope est à utiliser en complément d'autres méthodes, comme le piégeage, pour quantifier les prédateurs potentiels des insectes dans les parcelles cultivées.

Le PiScope pourrait être amélioré sur plusieurs points :

- la résolution d'image maximum : PiTANCE 6 ne propose actuellement que les tailles d'images propres au capteur de la première génération de caméras (5 mégapixels) soit une taille d'image de 2592 x 1944 pixels, considérée comme suffisante. Nous sommes restés à cette dernière résolution. La prochaine version intégrera la possibilité d'utiliser la résolution maximale des capteurs de 8 mégapixels des dernières caméras (V2) ;
- la gestion du temps : le Raspberry Pi 3 ne possède pas d'horloge RTC qui a la fonction de garde-temps dans l'informatique classique. Le Raspberry Pi perd l'heure exacte lorsqu'il est éteint, ce qui fausse toute programmation initiale, et il ne peut se mettre à l'heure que connecté sur un réseau web. Actuellement il est programmé au laboratoire puis transporté toujours actif sur le terrain. Même si ce fonctionnement n'a pas été limitant jusqu'à présent, nous allons tester l'utilisation d'une horloge RTC complémentaire sur le Raspberry Pi 3 ;
- subséquemment à l'ajout de l'horloge RTC, nous pourrions programmer la mise en sommeil et le réveil du PiScope pour des utilisations prolongées et commander via un relais le pilotage de l'émetteur IR au moment voulu ;
- étudier la faisabilité d'utiliser une batterie Li-Ion capable d'être rechargée pendant son utilisation en association avec des capteurs solaires pour tester l'alternance de séquences diurnes de recharge et nocturnes d'acquisition, dans le cas d'une utilisation de nuit ;
- étudier la faisabilité de remplacer le Raspberry Pi 3 par un Raspberry Zero W, plus petit, moins puissant, mais beaucoup plus économe en énergie. Cela permettrait aussi de diminuer l'impact possible de la taille du boîtier qui pourrait avoir un effet sur le comportement des arthropodes, ou de déporter la caméra et les éclairages du reste du dispositif. Une autre solution serait de rajouter au Raspberry Pi 3 de une à quatre cartes Arducam M1 Camera Adapter, chacune pouvant gérer jusqu'à quatre caméras séquentiellement, soit un maximum possible de 16 caméras pour un seul PiScope.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA).



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Le Cahier des Techniques de l'INRA », la date de sa publication et son URL.

## Références bibliographiques

Barker G, Efford M (2004) Predatory gastropods as natural enemies of terrestrial gastropods and other invertebrates. pp. 279-403. In Barker GM (2004) Natural enemies of terrestrial molluscs. CABI Publishing, Wallingford, Royaume-Uni.

Büchs W, Nuss H (2000) First steps to assess the importance of epigeic active polyphagous predators on oilseed rape insect pests with soil pupating larvae. In: Integrated control in Oilseed crops, Paul VH, Föller I, Evans N, Williams IH (Eds.) *Bulletin OILB/SROP*, Prague, Czech Republic, 23: 151-163.

Birkhofer K, Bylund H, Dalin P, Ferlian O, Gagic V, Hambäck P, Klapwijk M, Mestre L, Roubinet E, Schroeder M, Stenberg J, Porcel M, Björkman C, Jonsson M (2017) Methods to identify the prey of invertebrate predators in terrestrial field studies. *Ecology and Evolution* 7(6): 1942-1953.

Collins KL, Boatman ND, Wilcox A, Holland JM, Chaney K (2002) Influence of beetle banks on cereal aphid predation in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **93**(1-3): 337-350.

Grieshop MJ, Werling B, Buehrer K, Perrone J, Isaacs R, Landis D (2012) Big brother is watching: studying insect predation in the age of digital surveillance. *American Entomologist* **58**(3): 172-182.

Hemerik L, Bianchi F, van de Wiel I, Fu DM, Zou Y, Xiao HJ, van der Werf W (2018) Survival analysis of brown plant hoppers (*Nilaparvata lugens*) in rice using video recordings of predation events. *Biological Control* **127**: 155-161.

Kistner EJ, Lewis M, Carpenter E, Melhem N, Hoddle C, Strode V, Oliva J, Castillo M, Hoddle MS (2017) Digital video surveillance of natural enemy activity on *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) colonies infesting citrus in the southern California urban landscape. *Biological Control* **115**: 141-151.

Lövei GL, Ferrante M (2017) A review of the sentinel prey method as a way of quantifying invertebrate predation under field conditions. *Insect Science* **24**(4): 528-542.

Sunderland KD, Crook NE, Stacey DL, Fuller BJ (1987) A study of feeding by polyphagous predators on cereal aphids using elisa and gut dissection. *Journal of Applied Ecology* **24**(3): 907-933.

Walton NJ, Grieshop MJ (2016) Video observations of the natural enemies of eggs of codling moth, *Cydia pomonella*, in apple orchards in Michigan, USA. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **159**(3): 375-377.

Zaller J, Moser D, Drapela T, Frank T (2009) Ground-dwelling predators can affect within-field pest insect emergence in winter oilseed rape fields. *Biocontrol* **54**: 247-253.

Zou Y, de Kraker J, Bianchi FJJA, van Telgen MD, Xiao H, van der Werf W (2017) Video monitoring of brown planthopper predation in rice shows flaws of sentinel methods. *Scientific Reports* **7**: 42210.