

# Mesures de vol chez *Monochamus galloprovincialis* : construction d'un manège de vol (flight mill) et automatisation de la récolte de données

Christophe Chipeaux<sup>1</sup>, Fabrice Vétillard<sup>2</sup>

**Résumé.** Actuellement le nématode du pin *Bursaphelenchus xylophilus* est responsable de dépérissements massifs dans les forêts de pins maritimes principalement au Portugal et en Espagne. Originaire des Etats Unis la dissémination de ce ver est réalisée en Europe par un insecte xylophage longicorne : *Monochamus galloprovincialis*. Un des objectifs de l'étude scientifique, réalisée dans le cadre de la thèse soutenue par G. David en 2014, est d'évaluer la capacité de dispersion de cet insecte vecteur. Pour cela, il était nécessaire d'obtenir des données fiables sur sa capacité de vol en réalisant des essais en milieu contrôlé incluant de nombreux individus et répétitions : ce fut rendu possible grâce à l'utilisation de manèges de vols.

**Mots clés :** manège de vol, carbone, capteur, coût réduit

## Introduction

Les manèges de vols (ou « moulins » de vol) sont des dispositifs expérimentaux régulièrement utilisés en entomologie afin de pouvoir mesurer les capacités de vol (propagation, distance min, max, durée ...) d'insectes ailés. De nature très simple, ils sont souvent construits pour les besoins d'une expérimentation et calibrés selon l'espèce choisie. A notre connaissance, les dispositifs préexistants sont en général assez encombrants, peu mobiles et souvent associés à un dispositif d'acquisition de données complexe et/ou parfois onéreux. L'évolution technologique actuelle permet d'avoir accès à des matériels intégrant un ratio coût/performance/encombrement très intéressant.

Dans cet article, nous allons décrire notre cheminement tant dans le choix des matériaux que dans les méthodes utilisées, afin de créer un nouveau modèle de manège de vol à coût relativement réduit, transportable et pour lequel l'acquisition de données est automatisée.

## Cahier des charges, principes généraux et fonctionnement

A l'issue de nombreux échanges avec le futur utilisateur, en l'occurrence un étudiant, nous avons pu définir les besoins de notre dispositif et ainsi établir un cahier des charges.

**Objectif :** mesurer la distance parcourue par l'insecte, la durée et la vitesse du vol.

**Contraintes :**

- ✓ le dispositif doit être assez léger et à frottement réduit afin de pouvoir être entraîné par l'insecte ;
- ✓ plusieurs mesures doivent pouvoir être effectuées simultanément (nécessité de répétitions /contraintes de l'élevage) ;
- ✓ les conditions expérimentales doivent être celles d'un environnement contrôlé ;
- ✓ le dispositif doit être facilement transportable et démontable ;

1 ISPA Interactions Sol Plante Atmosphère, INRA, 33882 Villenave d'Ornon, France  
christophe.chipeaux@inra.fr

2 BIOGECO Biodiversité Gènes et Communautés, INRA, 33612 Cestas, France  
fabrice.vetillard@inra.fr

- ✓ l'interface doit être intuitive ;
- ✓ l'accès à distance aux données doit être possible ;
- ✓ le faible coût (une centaine d'euros) du dispositif est essentiel.

A l'issue de cet inventaire, deux principaux axes de travail nous sont apparus : un axe organisation matérielle et conception mécanique et un axe acquisition électronique et amélioration logicielle.

## Principe de fonctionnement

Les manèges de vol sont d'une conception somme toute assez simple. Le dispositif consiste en un axe au sommet duquel est placé un roulement de précision sur lequel a été assemblé une tige (ou un capillaire) à laquelle est fixé l'insecte. La longueur de la tige, qui correspond au rayon de la piste de vol, détermine la distance parcourue à chaque tour. Deux petits « bras » sont fixés sur cette tige de part et d'autre de l'axe et à égale distance. Un capteur est placé sur l'axe vertical, il enregistre le passage de chacun des « bras » à chaque demi-tour de l'insecte autour de l'axe (**Figure 1**).

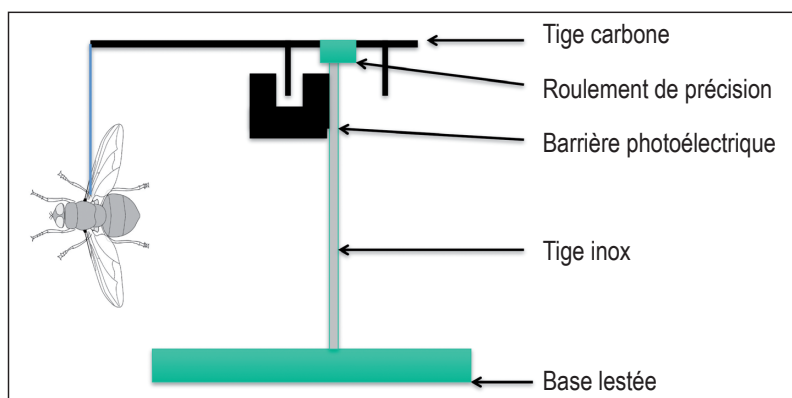


Figure 1. Principe du manège de vol.

## Description de l'équipement mécanique

Notre insecte modèle d'étude étant assez robuste, nous avons pu opter pour une tige d'un diamètre relativement important (4 mm). Nous avons malgré tout choisi le carbone qui allie robustesse, rigidité et faible poids (1,8 g dans notre cas). D'une longueur de 16 cm, la tige fait une révolution à chaque tour qui équivaut à une distance de vol de 1 m. Afin d'équilibrer le poids de l'ensemble, un balancier en PVC (7,3 g) a été fixé à 4,5 cm à l'opposé du système de fixation de l'insecte. A l'opposé, un carré de mousse est collé afin d'épingler le support de vol de l'insecte (simple carré de mousse prolongé par une bande de papier collée sur le pronotum de l'insecte).

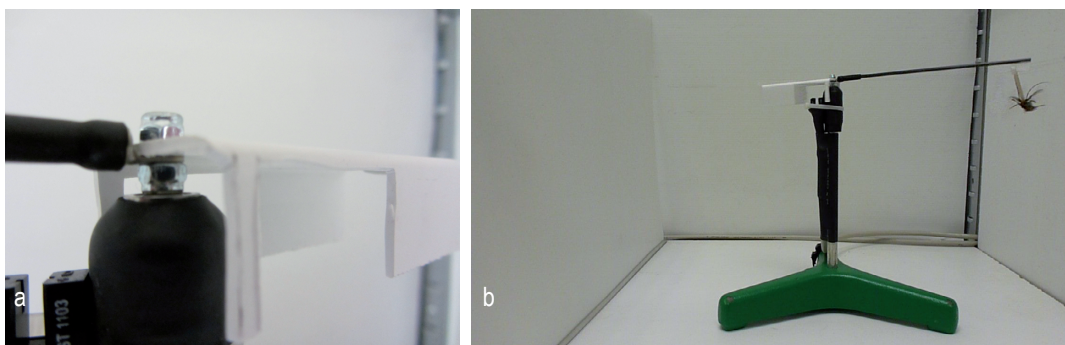


Figure 2. a) détail ; b) manège en action avec *Monochamus galloprovincialis* (photos : F. Vétillard / I. van Halder).

La partie support n'a pas posé de problème car les statifs de laboratoire sont des produits relativement courants dans notre environnement. Nous avons adapté une fiche multipolaire blindée qui s'insère au sommet de la tige afin de recevoir le roulement. Pour ce dernier, nous avons opté pour un roulement de précision très roulant (ABEC 5) qui équipe généralement les anémomètres et les enregistreurs sur bande de papier. Le jonc carbone est fixé via une cosse d'électricité sur un système de tige filetée et d'écrou frein. Chaque manège a été placé dans un compartiment séparé au sein d'une étagère spécialement habillée de plaque de plastique Aquilux®, (**Figure 2b**) afin d'homogénéiser la lumière et de limiter les turbulences dues à la climatisation (25°C constant).

## Acquisition de données

L'analyse du cahier des charges pour la partie acquisition a été réalisée suivant la modélisation présentée dans la **Figure 3**. Elle se compose de deux parties : électronique et logicielle.

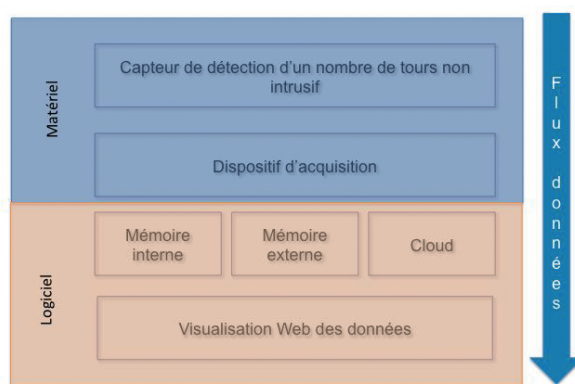


Figure 3. Modélisation du dispositif d'acquisition.

## Matériel électronique

Le matériel est composé d'un capteur de détection permettant le comptage du nombre de tours de vol sur le manège (**Figure 2a**) et d'une carte d'acquisition. Après avoir identifié les capteurs permettant d'effectuer cette mesure (capteur à effet Hall, interrupteur Reed, barrière photoélectrique), la solution retenue a été la barrière photoélectrique : Vishay® CNY 37 ou TCST 2103. Son principe de fonctionnement est de détecter la coupure d'un faisceau infrarouge. Ce capteur, dont le schéma de principe est représenté sur la **Figure 4**, est composé d'une diode émettrice et d'un phototransistor.

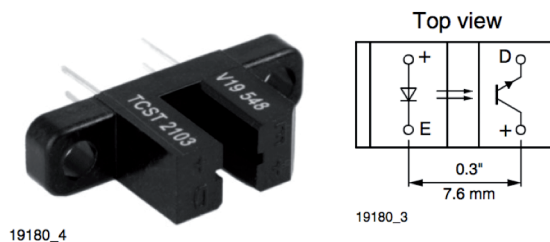


Figure 4. Capteur Vishay® CNY 37 ou TCST 2103 (photo Vishay®).

L'avantage de ce capteur est sa robustesse. En effet, il était l'élément qui permettait de mesurer les déplacements des anciennes souris informatiques équipées d'une boule ; il est également l'élément central des anémomètres à coupelles. Son volume de production permet d'obtenir actuellement un coût de 1 à 2 euros.



La carte d'acquisition retenue est une carte que l'on classe actuellement dans les cartes nano ordinateur, la raspberry pi B+® (Figure 5). Cette carte se compose de 17 entrées ou sorties programmables non conditionnées de type cmos en 3,3 Volt.



Figure 5. Carte Raspberry PI B+® (photo : Raspberry.org).

Afin d'assurer la comptabilité des capteurs avec la carte d'acquisition, il a été nécessaire de réaliser une carte électronique appelée « carte fille » pour le conditionnement. Cette carte possède également une horloge temps réel (composant de chez Texas® DS 1302). Le conditionnement est réalisé à l'aide de résistance de tirage (pull up) et de trigger de Schmitt inverseur (MC54/74HC14A) (Figure 6).

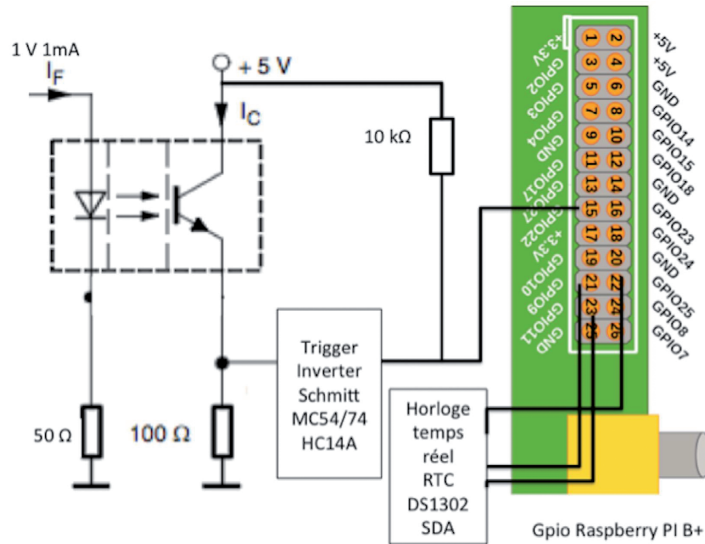


Figure 6. Schéma de principe de la carte fille.

En résumé, le matériel électronique peut-être représenté par le synoptique de la Figure 7.

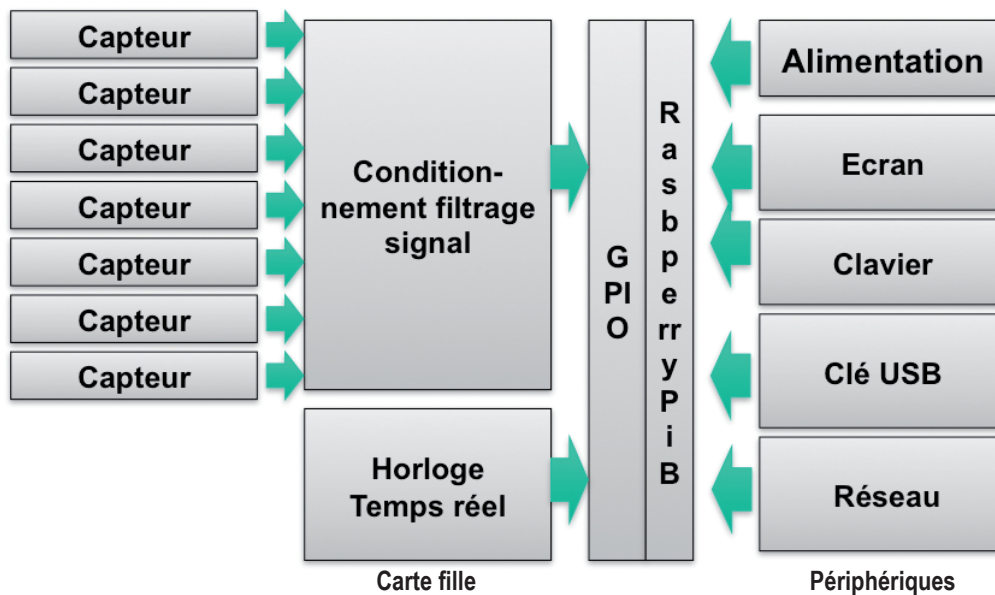
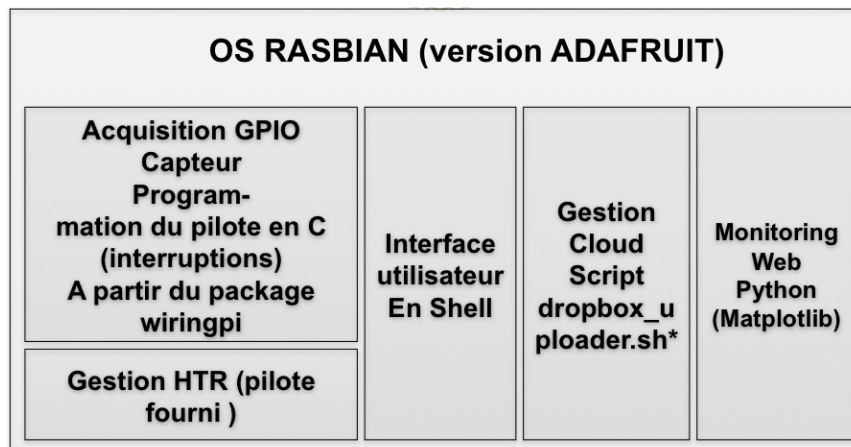


Figure 7. Synoptique de la partie électronique de l'acquisition.

## Partie logicielle

La partie logicielle repose sur le système d'exploitation Raspbian® installé sur une Raspberry Pi®, distribution basée sur la distribution Linux Debian® (Figure 8). Il a été nécessaire de réaliser un pilote d'acquisition en langage C à l'aide de la bibliothèque wiringpi, pour assurer la gestion de l'acquisition des capteurs à une fréquence de 100 kHz. Le même pilote a été également développé en langage Python® puis en Shell (Bash), mais ces derniers avaient des performances d'acquisition de seulement 10 kHz. L'extension temps réel Linux Xenomai® a également été installée mais n'a apporté aucun gain de performance. La gestion de l'horloge temps réel en protocole I2C est assurée par le pilote hwclock.



\*Andréa Fabrizi

Figure 8. Schéma organisationnel de la partie logicielle.

L'interface utilisateur est réalisée avec un script shell (Bash) de seulement 18 lignes. Ce script pilote la gestion de la clé usb, la fréquence d'acquisition, les métadonnées, l'envoi sur le Cloud par l'intermédiaire du script dropbox\_uploader.sh de Andréa Fabrizi (Figure 9). Le monitoring des données sur le Web est possible grâce à une page web (html5 et un script javascript) accompagnée d'un script Python® utilisant la bibliothèque Matplotlib.



```
#!/bin/bash
echo "Mettre la cle USB or Plug the USB Key"
read -p "Appuyez sur Entree pour continuer... or Press enter..."
sudo umount /media/Data_manege >/tmp/logmanege.txt 2>&1;
sudo rm -R /media/Data_manege/* >/tmp/logmanege.txt 2>&1;
sudo mount /media/Data_manege >/tmp/logmanege.txt 2>&1;
path='/media/Data_manege/'
pathbackup='/media/.Databackup/'
nomunique='Exp_$(date --date="now" +%Y%m%d_%H%M%S)'.csv;
sudo manegeinsecte $pathbackup$nomunique 10000;
sudo cp $pathbackup$nomunique $path$nomunique;
echo "Envoi fichier sur la cle usb ...Send file to the usb key"
sudo dropbox_uploader.sh upload $pathbackup$nomunique >/tmp/logmanege.txt;
sudo gzip $pathbackup$nomunique;
sudo umount /media/Data_manege >/tmp/logmanege.txt 2>&1;
echo "Enlever la cle USB or Unplug the USB Key"
echo "Vous pouvez consulter le fichier a l'adresse suivante:";
echo "You can get your file at this web address"
echo
"https://www.dropbox.com/sh/m44srz9cm8dd1ml/P4"
```

```
Copyright Christophe CHIPEAUX INRA-Ephyse
Pour lancer l'acquisition taper:manege
Run the program tapemanege
Pour l'arreter: S + entree, attention S majuscule
Stop the program :S + enter , be careful S caps
enthomo@raspberrypi:~$
```

timestamps	titi	toto	tutu	lili	lolo	lulu	lala	nana
2013-04-08 13:01:39.181	0	0	0	0	0	0	0	0
2013-04-08 13:01:49.085	0	0	0	0	0	0	0	0
2013-04-08 13:01:58.988	332	332	332	332	332	332	332	332
2013-04-08 13:02:08.891	1322	1322	1322	1322	1322	1322	1322	1322
2013-04-08 13:02:18.794	2312	2312	2312	2312	2312	2312	2312	2312
2013-04-08 13:02:28.697	3303	3303	3303	3303	3303	3303	3303	3303
2013-04-08 13:02:38.600	4293	4293	4293	4293	4293	4293	4293	4293

Figure 9. Script et interface utilisateur (photos : I Van Halder).

## Conclusion

Ce projet a abouti à la construction de trois dispositifs de huit manèges de vol. Les expérimentations ont été réalisées simultanément au Portugal, en Autriche et en France avec le même matériel de même qualité métrologique. Le coût d'un dispositif d'acquisition pour huit manèges a été compris dans une enveloppe d'environ 100 €. Un transfert de connaissances a eu lieu vers l'Unité de recherche en Zoologie d'Orléans. La valorisation du dispositif a été réalisée au travers de trois publications (David, 2014 ; David et al., 2014 ; David et al. 2015). Ce projet a permis une collaboration technique entre deux unités INRA : BIOGECO (équipe Diversité et Fonctionnement des Communautés) et ISPA (équipe Modélisation Observation Spatialisation et Télédétection). Le projet a été partie prenante de développements de solutions d'acquisition low-cost Innovantes en 2012, à base de cartes ARM (Raspberry Pi®) avec des possibilités d'envoi de données dans les hébergements du Cloud. L'ensemble des développements informatiques réalisés pour ce projet a été écrit avec des logiciels libres.

## Remerciements

Merci aux collègues qui par leurs remarques ont contribué à l'amélioration de ce projet, à l'infrastructure informatique transversale INRA (CATI DIISCO) qui permet d'avoir du temps libéré pour ce type de projet. Merci également à tous les insectes, grands et petits, qui ont subi les essais des premiers prototypes.

## Références bibliographiques

David G, Giffard B, van Halder I, Piou D, Jactel H (2015) Energy allocation during the maturation of adults in a long-lived insect : implications for dispersal and reproduction. *Bull Entomol Res* **5** : 629-636.

David G (2014) Etude des capacités de dispersion de *Monochamus galloprovincialis* vecteur du nématode du pin *Bursaphelenchus xylophilus*. Thèse de Doctorat. Bordeaux.

David G, Giffard B, Piou D, Jactel H (2014) Dispersal capacity of *Monochamus galloprovincialis*, the European vector of the pine wood nematode, on flight mills. *J Appl Entomol* **8** : 566-576.

<http://ucanr.org/repository/cao/landingpage.cfm?article=ca.v065n01p29&fulltext=yes>

[http://entomology.tfrec.wsu.edu/VPJ\\_Lab/Flight-Mill.html#section2](http://entomology.tfrec.wsu.edu/VPJ_Lab/Flight-Mill.html#section2)

<http://wiringpi.com/>

<https://github.com/andreafabrizi/Dropbox-Uploader>

<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>

<http://matplotlib.org/>

