

## **Développement de techniques optiques d'identification d'insectes volants basées sur la spectroscopie par télédétection. Application à l'activité des insectes nuisibles aux cultures vivrières**

**Benoît K. KOUAKOU, Olivier K. BAGUI et Jérémie T. ZOUEU**

*Laboratoire d'Instrumentation, d'Image et de Spectroscopie, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, BP 1013, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

---

\* Correspondance, courriel : [jeremie.zoueu@inphb.edu.ci](mailto:jeremie.zoueu@inphb.edu.ci)

### **Résumé**

La caractérisation des insectes volants par des méthodes traditionnelles est fastidieuse. Nous avons développé des méthodes optiques basées sur la spectroscopie par télédétection ainsi que des stratégies d'analyse associées pour identifier des espèces volantes par leur signature spectrale et par la fréquence de vibration de leurs ailes en utilisant un télescope et une lunette astronomique. Les résultats obtenus montrent que la spectroscopie par télédétection est un atout majeur pour l'étude et la caractérisation des insectes volants nuisibles aux cultures vivrières.

**Mots-clés :** *télédétection, spectroscopie, culture vivrière, optique, insectes volants.*

### **Abstract**

**Development of optical techniques for the identification of flying insects on the basis of spectroscopic remote sensing. Application to the activity of insect pests in food crops**

Insects characterization with traditional methods is challenging. In this paper we developed a powerful optical methods based on remote sensing spectroscopy followed by a post processing multivariate statistical analysis, in order to identify insects by their spectral signature and wings beats. We have used simultaneously a refractor and a reflector. The result suggest that remote sensing spectroscopy seems to be a powerful instrumentation for the identification and characterization, in real time, harmful insects in a crop food's field in order to conduct a targeted fight.

**Keywords :** *remote sensing, spectroscopy, crop food, optic, harmful insect.*

### **1. Introduction**

L'évolution galopante de l'urbanisation dans les pays développés et du tiers-monde a réduit considérablement les terres cultivables. Par conséquent, les productions agricoles sont en dessous de la demande de la population. Ce qui induit une flambée du coût des denrées alimentaires. Fort est de constater que les populations de classe moyenne n'arrivent pas à manger à leur faim. Dès lors, la question de sécurité

alimentaire demeure une problématique majeure. Pour faire face à ce problème, des politiques d'autosuffisance alimentaire sont adoptés sur presque tout le continent. De nouvelles techniques culturales sont mises en jeu en vue d'une production maximale. Par exemple, les organismes génétiquement modifiés (OGM), l'apport d'engrais, l'utilisation de pesticides, etc., sont des techniques couramment utilisées. Bien que cela ait permis d'améliorer dans une certaine mesure le taux de production des cultures agricoles, leur inefficacité s'est avérée limitée à cause de l'impact des insectes ravageurs. Selon [1], les insectes ravageurs représentent une part importante des agents destructeurs des cultures, soit par la consommation directe des stocks [2], soit par la dégradation de leur valeur nutritive. Par ailleurs, les pesticides utilisés contre les insectes ravageurs tuent presque toutes les espèces d'insectes lorsqu'ils sont administrés dans les champs. Pourtant, certains insectes jouent un rôle important dans la biodiversité agricole [3]. Face à cet enjeu, il est crucial de développer d'autres stratégies de lutte contre les insectes nuisibles aux cultures vivrières en vue d'optimiser les productions agricoles. C'est dans ce contexte que certaines études ont été menées afin de caractériser des insectes destructeurs de cultures vivrières. La méthode traditionnelle utilisée consiste en la capture des insectes.

Cette méthode est laborieuse et inefficace dans le cas des insectes volants et ne permet pas d'avoir en temps réel des informations sur le type d'espèces présent majoritairement dans la plantation. Le radar a permis de lever un peu cette contrainte. Initialement utilisé dans les domaines militaire et météorologique, le radar a été adapté à l'observation des insectes dès les années 1968. Cela a été possible grâce à un appareil-radar construit par G.W. Schaefer. Cet appareil a été utilisé pour caractériser les insectes au sud du Sahara, en Afrique de l'Ouest, avec des résultats satisfaisants. Cependant le radar présente des insuffisances. Il ne permet pas de déterminer les espèces, ni les effectifs de chaque contact (écho ou point radar). Sauf exception, on ne peut différencier un gros oiseau d'un groupe de petits oiseaux en vol compact [4]. Ces dernières années, une équipe de chercheurs de l'université de Suède a développé une technique optique basée sur la spectroscopie par télédétection appliquée à l'étude des insectes en utilisant un spectromètre et un télescope [5 - 8]. Dans cet article, nous présentons une exploitation de cette technique spectroscopique par télédétection ainsi que des stratégies d'analyse associée en utilisant le couple télescope - lunette astronomique et une caméra CCD afin de lier l'information spectrale et spatiale.

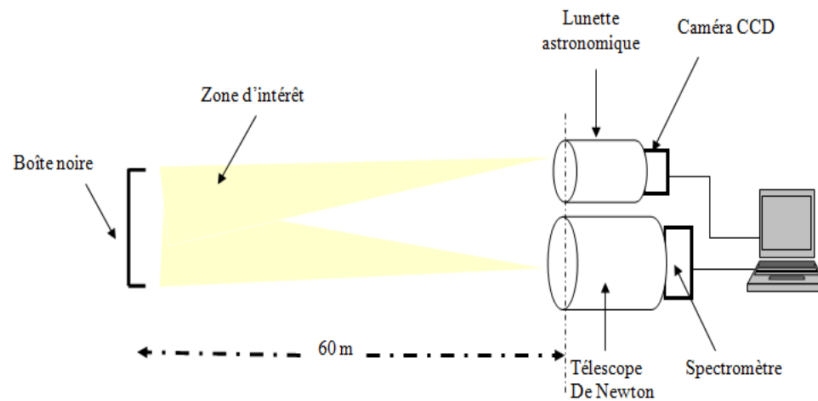
## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Méthodes d'acquisition des données

#### 2-1-1. Mesure de la réflectance par télédétection

Pour l'acquisition des données par télédétection, nous avons utilisé un télescope de newton (Sky-Watcher) de diamètre 200 mm et de distance focale 1000 mm ainsi qu'une lunette astronomique (Bresser Messier AR 90). Le télescope et la lunette astronomique sont montés en parallèle sur un trépied et une monture. Le télescope et la lunette astronomique sont alignés sur une boîte noire (diamètre : 58 cm) se trouvant à 1 mètre au-dessus du sol, à environ 60 m du dispositif expérimental (*Figure 1*). Cette phase d'alignement consiste à utiliser d'abord, un oculaire, puis une caméra CCD connectée à un ordinateur pour observer le même objet (boîte noire). Elle permet de lier l'information spectrale et spatiale de l'évènement. L'utilisation de la boîte noire supprime les bruits de fond et amplifie l'information. Une fois la phase d'alignement terminée, la caméra CCD est connectée à la lunette astronomique puis à un ordinateur pour enregistrer l'information spatiale d'un évènement rare (passage d'un insecte par exemple) et un spectromètre à réseaux (Ocean Optic, USB 4000) est connecté au télescope et au même ordinateur pour enregistrer l'information spectrale du même évènement

rare. Les mesures de références sont effectuées en lâchant des billes de polystyrène blanc dans le plan focal de la boîte noire. La lumière rétrodiffusée par le passage d'un évènement dans la zone d'intérêt est collectée par le télescope et la lunette astronomique. La caméra CCD et le spectromètre sont pilotés chacun par un programme d'acquisition automatique (le seuil d'intensité est fixé à 100 pour capter tous les objets ou insectes traversant la zone d'intérêt). Le dispositif expérimental reste fixe durant le temps de mesure.



**Figure 1 :** Schéma du dispositif expérimental. Mesure spectroscopique par télédétection

### 2-1-2. Mesure de la fréquence de vibration des ailes des insectes

Le montage expérimental précédent est utilisé. Le spectromètre est remplacé par un détecteur à quatre quadrants. Un convertisseur analogique-numérique USB 6009 est utilisé comme point d'interconnexion entre l'ordinateur et le détecteur quatre quadrants.

### 2-2. Méthode d'analyse des données

Pour le traitement des données un programme a été écrit avec le logiciel de programmation Matlab. Ce programme est fondé sur les **Formules** ci-dessous :

$$R = \frac{I_R - I_B}{I_{ref} - I_B} \tag{1}$$

$I_{ref}$ : intensité lumineuse de référence ;  $I_B$ : intensité lumineuse du bruit de fond ;  $I_R$ : intensité lumineuse rétrodiffusée ;  $R$ : réflectance.

$$OCS = \frac{I_R - I_B}{I_{ref} - I_B} (S) \tag{2}$$

$S$ : Surface de la bille de référence ;  $OCS$ : Section efficace

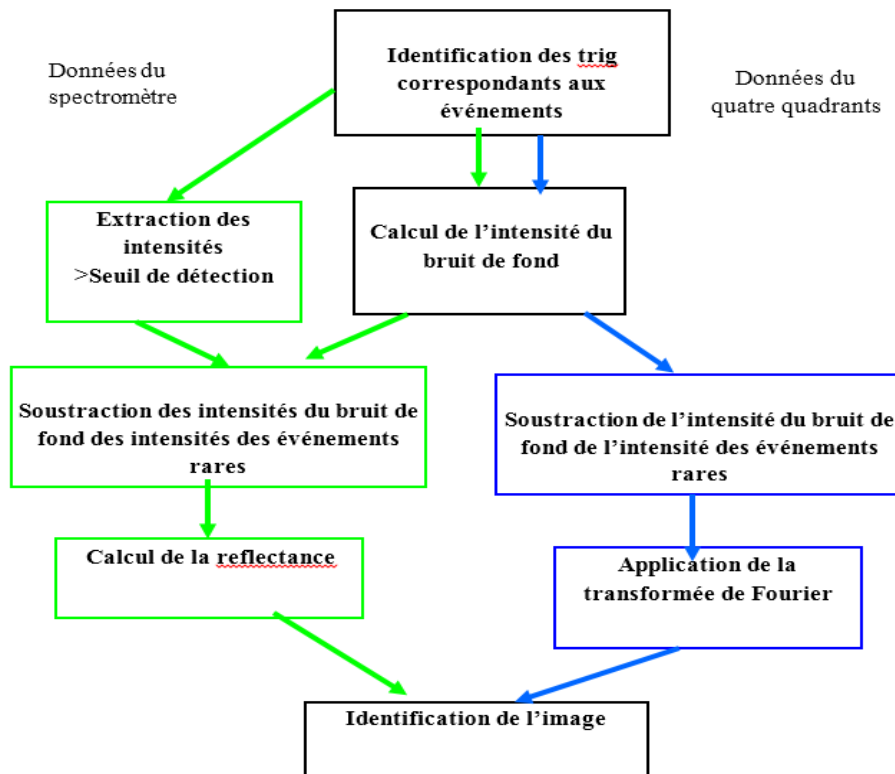


Figure 2 : Algorithme d'analyse des données

### 3. Résultats et discussion

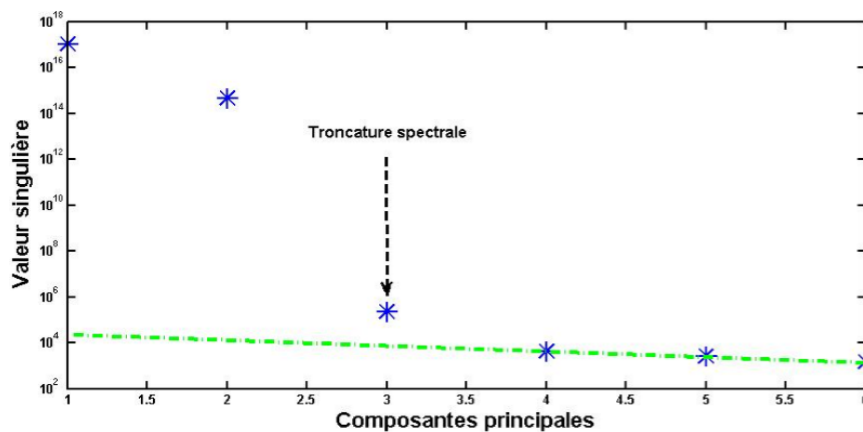


Figure 3 : Décomposition en valeur singulière de 6 spectres de réflectance

La décomposition en valeur singulière montre que seules les trois premières composantes spectrales sont significatives. Les composantes principales se situant sur la ligne verte sont dues aux bruits [8]. Les particules de poussières atmosphériques qui diffusent la lumière dans la zone d'intérêt sont la cause de ces bruits. Car les bruits de fond ont été soustraits lors du calcul de la réflectance. La classification hiérarchique (Figure 4) permet de regrouper les différents insectes en classes. Selon les travaux de [8] le nombre de classes peut être identique, voir supérieur au nombre de composantes principales significatives.

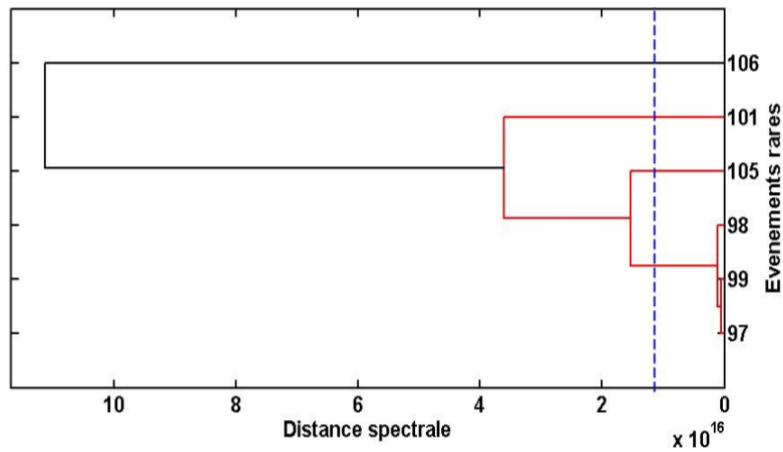


Figure 4 : Classification hiérarchique des insectes

Pour une meilleure appréciation du nombre de classes, une matrice de corrélation (Figure 5) a été établie.

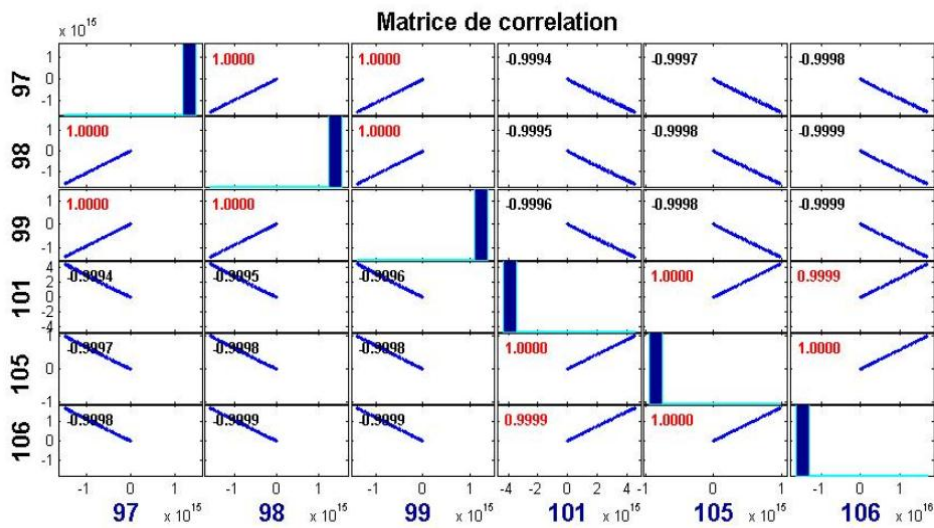


Figure 5 : Matrice de corrélation entre les différentes signatures spectrales des insectes. Les éléments de la diagonale principale représentent l'histogramme des intensités de réflectance

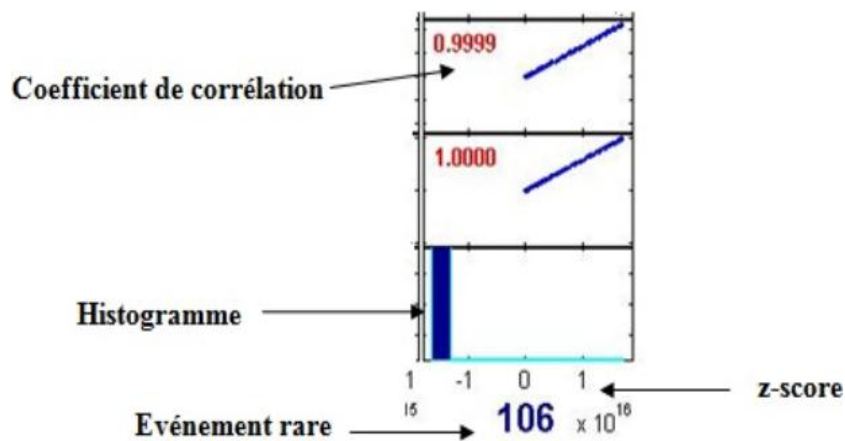
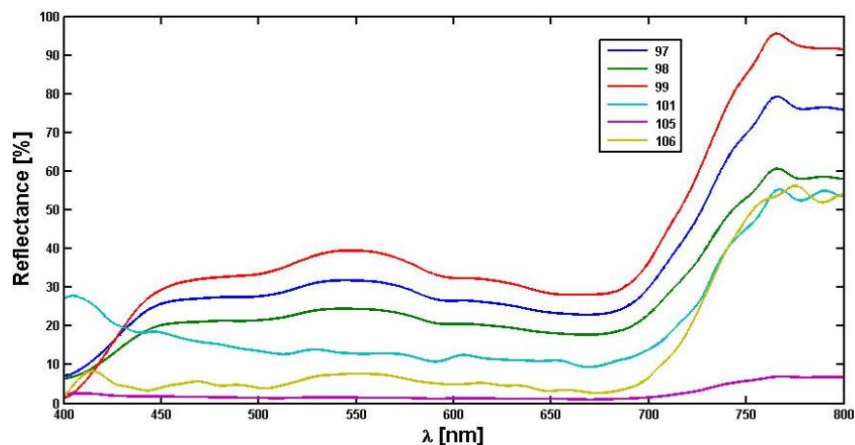


Figure 6 : Éléments caractéristiques de la matrice de corrélation

Les coefficients de corrélations en rouge montrent qu'il y'a une corrélation entre chaque spectre de réflectance. Les événements 97, 98, 99 sont des insectes ayant une même mélanine et par conséquent constituent une classe. Les événements 101, 105, 106 semblent appartenir à une même classe. Les z-scores étant négatifs, cela signifie que les grandeurs mesurées s'écartent des valeurs cibles et par conséquent ces insectes ne peuvent appartenir à une même classe [9] (*Figure 4*). La réflectance de ces insectes est représentée sur la *Figure 7*.



**Figure 7 : Réflectance d'insectes**

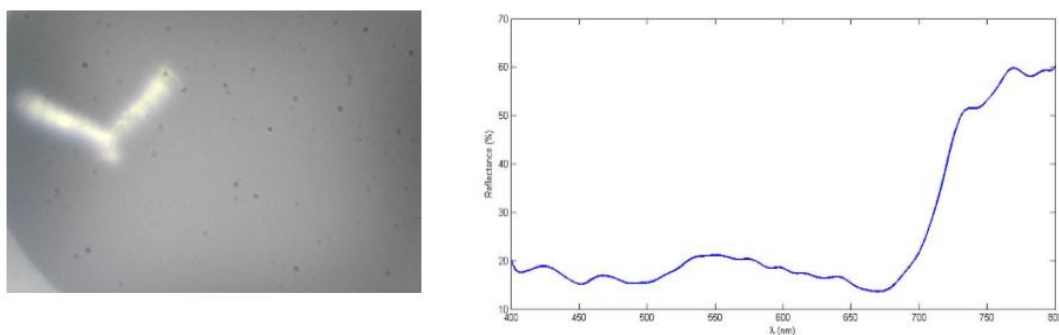


a) Événements 97, 98, 98

b) Événement 105

c) Événement 106

**Figure 8 : Détection spatiale des événements. L'événement 101 n'a pu être associé à aucune image**



**Figure 9 : a) Détection spatiale de l'évènement ; b) Spectre de l'évènement 1**

Le spectre de réflectance présente une forte réflectance entre 750 nm et 800 nm. Cela pourrait être un élément caractéristique du genre de cet oiseau. Les points d'absorption observés entre 600 nm et 700 nm sont dus à la mélanine. Les points d'absorption de la mélanine étant différents révéleraient une nuance de couleur du pelage de l'oiseau.

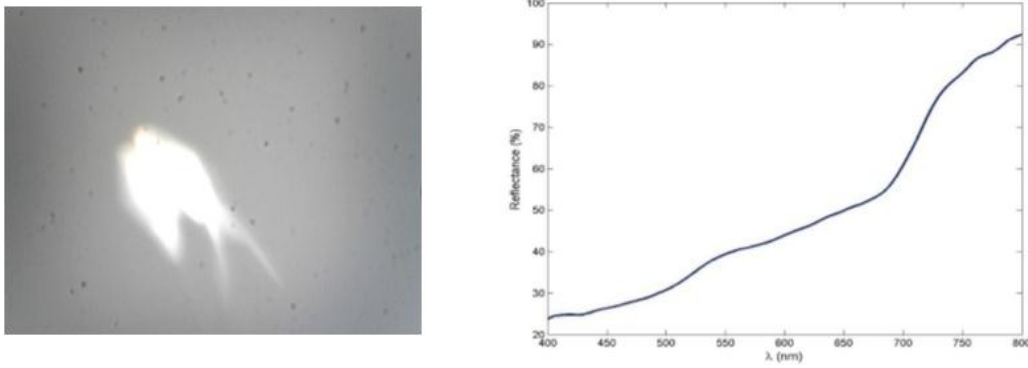


Figure 10 : Spectre de réflectance d'une hirondelle passée dans la zone d'intérêt

Des mesures de différenciations ont été effectuées sur des *zonocerus variegatus* mâle et femelle capturés et relâchés dans la zone d'intérêt. Le sexe des *zonocerus variegatus* a été au préalable identifié grâce aux informations fournies par les entomologistes. Nous obtenons les signatures spectrales ci-dessous (Figure 11, Figure 12):

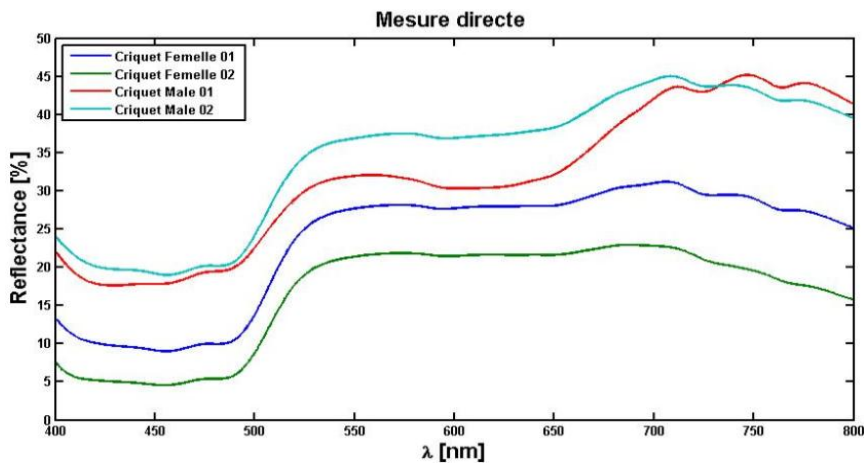


Figure 11 : Réflectance de *zonocerus variegatus* mâle et femelle par spectroscopie directe. Ces spectres ont été mesurés au laboratoire en utilisant une fibre optique et un spectromètre. Ces insectes sont fixés sur une planche. La fibre optique, connectée à l'ordinateur, est rapprochée de l'insecte pour acquérir son spectre

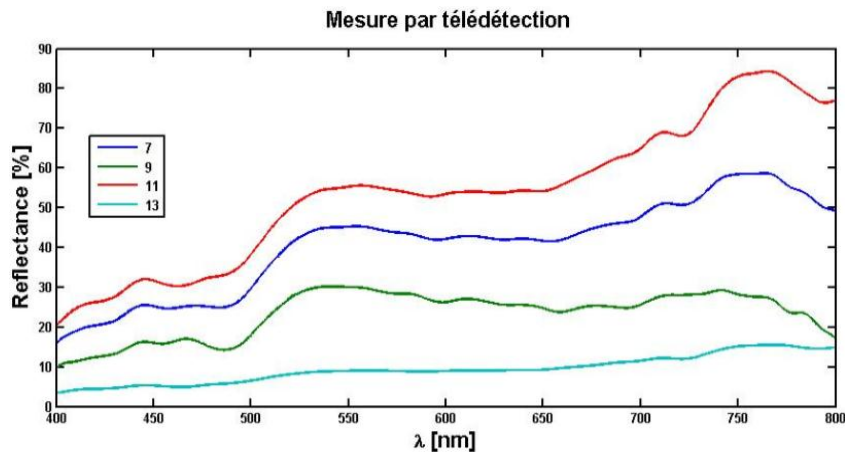
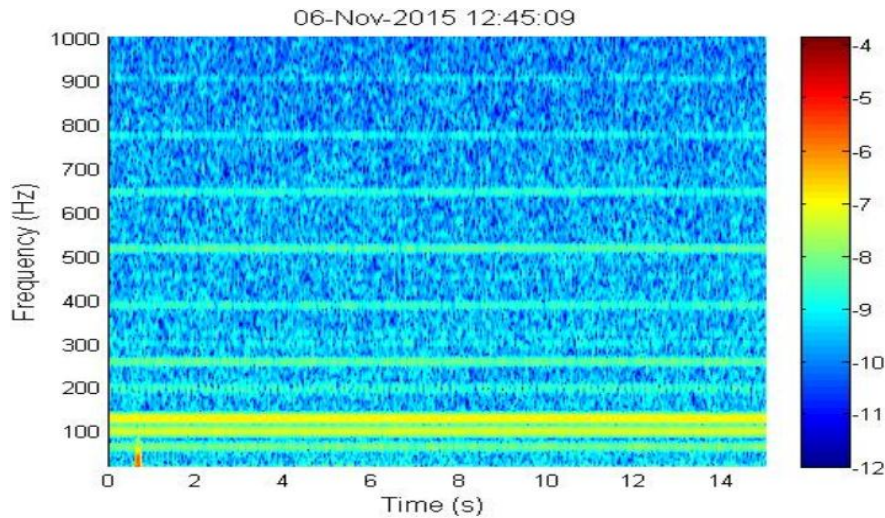


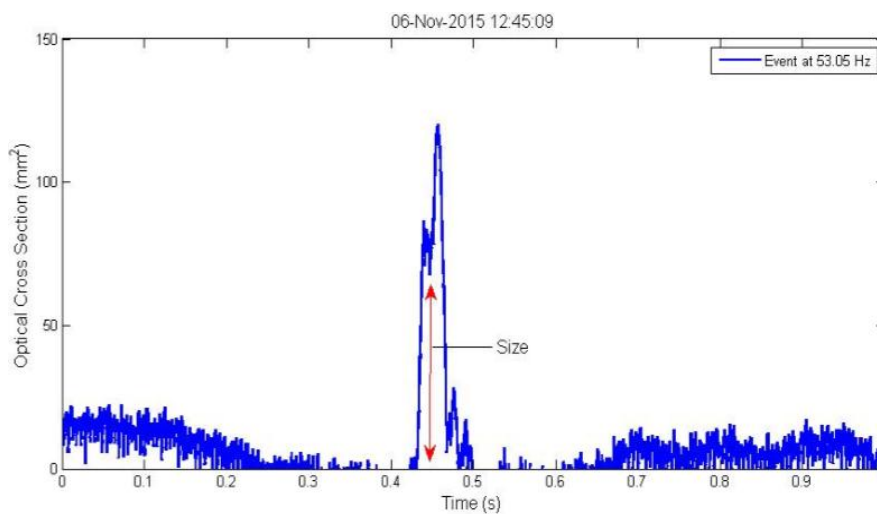
Figure 12 : Mesure par spectroscopie par télédétection

Nous observons une similarité entre les mesures par télédétection et les mesures par spectroscopie directe. Le spectre 13 est un spectre d'un autre insecte passé dans la zone d'intérêt.



**Figure 13 :** Fréquence de vibration des ailes de *tettigonia viridissima*

La fréquence de vibration des ailes du *tettigonia viridissima* est environ 53.04 Hz



**Figure 14 :** Section efficace du *tettigonia viridissima*. La section est environ 69.41 mm<sup>2</sup>

#### 4. Conclusion et perspectives

Le dispositif expérimental que nous avons proposé ainsi que la stratégie d'analyse des données a permis de caractériser des insectes volants par leurs signatures spectrales, par les fréquences de vibration de leurs ailes ainsi que par leur image. Le fort taux de réflectance (> 50 %) observé montre que ces espèces réfléchissent parfaitement les rayons du soleil. Il conviendrait d'exploiter cette technique pour identifier les insectes nuisibles aux cultures vivrières en vue d'une lutte ciblée. Pour les études futures, un filtre sera intégré à la caméra pour améliorer le contraste de l'image.



### **Remerciements**

*Nous voulons remercier l'Université d'Uppsala en Suède pour avoir financé ce travail au travers de son service de coopération internationale (International Science Program, Uppsala University), ainsi que nos partenaires de l'Université de Lund (Suède) qui nous ont aidés à monter le dispositif expérimental.*

### **Références**

- [1] - E. C. OERKE, H. W. DEHNE, F. SCHÖNBECK, A. WEBER, Crop production and crop protection. Elsevier science, Amsterdam, (1994).
- [2] - T. ALAUX, J. M. VASSAL, M. VAISSAYRE, Suivi de la sensibilité aux pyréthrinoides chez *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae) en Côte d'Ivoire. J. Afr. Zool, 111 (1) (1997) 63 - 69 p.
- [3] - [http : //observatoire-agricole-biodiversite.fr/sites/oab.mnhn.fr/files/upload/attached/document\\_de\\_synthese\\_indicateurs\\_de\\_biodiversite\\_en\\_milieu\\_agricole.pdf](http://observatoire-agricole-biodiversite.fr/sites/oab.mnhn.fr/files/upload/attached/document_de_synthese_indicateurs_de_biodiversite_en_milieu_agricole.pdf)
- [4] - V. A. DRAKE, D. R. REYNOLDS, Radar entomology : Observing Insect Flight and Migration. Ed. C.A.B International, (2012).
- [5] - M. BRYDEGAARD, Z. GUAN, M. WELLENREUTHER et S. SVANBERG, Insect monitoring with fluorescence lidar techniques : feasibility study, (2009).
- [6] - Z. GUAN, M. BRYDEGAARD, P. LUNDIN, M. WELLENREUTHER, A. RUNEMARK, E. I. SVENSSON et S. SVANBERG, Insect monitoring with fluorescence lidar techniques : field experiments, (2010).
- [7] - L. MEI, Z. G. GUAN, H. J. ZHOU, J. LY, Z. R. ZHU, J. A. CHENG, F. J. CHEN, C. LÖFSTEDT, S. SVANBERG, G. SOMESFALEAN, Agricultural pest monitoring using fluorescence lidartechniques : feasibility study, (2011).
- [8] - A. RUNEMARK, M. WELLENREUTHER, H. HIRAN, E. JAYAWEERA, S. SVANBERG and M. BRYDEGAARD, Rare Event in Remote Dark-Field Spectroscopy : An Ecological Case Study of Insects, (2012).
- [9] - Z. ALBE, T. S. HASSANI, D. KASSELER, A. DEOM, Fiche technique : 24. Paramètres statistiques utilisés dans les rapports de CQE, (2009).