

LIDAR MULTISPECTRAL VIS-NIR-SWIR POUR LE PHÉNOTYPAGE DE COUVERTS VÉGÉTAUX

Antoine Fournier¹, Sofian Helmer², Benjamin Gac¹, Mathieu Ribes^{1,2}, Gaspard Russias², Josselin Aval³, Nicolas Thomas³, Marc Lennon³, Denis Tregoat², Stéphane Perrin²

¹ ARVALIS, 45 Voie Romaine, 41240 Beauce-la-Romaine, France

² Photonics Bretagne, 4 Rue Louis de Broglie, 22300 Lannion, France

³ Hytech Imaging, 115 Rue Claude Chappe, 29280 Plouzané, France

a.fournier@arvalis.fr

RÉSUMÉ

Un système lidar multispectral (12 bandes) dans la gamme du visible, du proche et du court infrarouge a été développé pour le phénotypage de couverts agricoles. Il a été déployé en 2022 et 2023 dans le cadre de campagnes de terrain sur la levée de plants de maïs. Les données des mesures ont été inscrites dans des modèles avancés pour produire des traits agronomiques synthétiques. Cet article décrit la partie instrumentation du système lidar ainsi que les perspectives d'usage en agronomie et en surveillance des écosystèmes, illustrées par des pistes d'amélioration telles que l'estimation de la réflectance d'échantillons inclinés et l'ajout de moyens de balayage.

MOTS-CLEFS : Lidar multispectral; Réflectance foliaire; Phénotypage; Agrophotonique

1. INTRODUCTION

La technologie lidar (pour *Light Detection And Ranging*) est habituellement utilisée pour la mesure précise de distances (*i.e.*, la télémétrie) ou de concentrations de polluants atmosphériques. Récemment, le lidar s'est invité dans les domaines des sciences végétales, comme en agriculture [1] et en foresterie. Grâce à une segmentation d'intérêt, la combinaison de la distribution tridimensionnelle de la végétation avec sa signature spectrale offre des avantages significatifs en termes de caractérisation physiologique des cultures (*e.g.*, la conductance stomatique et la fluorescence chlorophyllienne) et des écosystèmes. Celle-ci est essentielle pour comprendre les mécanismes de croissance des plantes, ainsi que leur réponse face aux stress biotiques et abiotiques. La gamme SWIR (pour *Short Wave Infra-Red*) offre non seulement la possibilité d'évaluer finement la santé des plantes, mais également une meilleure compréhension des processus biophysiques et chimiques qui s'y déroulent. Récemment, des systèmes lidars multispectraux de cartographie tridimensionnelle ont été mis en place pour le phénotypage haut débit [2, 3]. Cependant, ces derniers restent limités en gamme spectrale ou en nombre de bandes spectrales (*i.e.*, 5 à 7 bandes). Cet article reporte le développement d'un système lidar multispectral pour le phénotypage des plantes en extérieur, à partir de la mesure de réflectance foliaire sur 12 bandes spectrales du visible (VIS) au court infrarouge (SWIR).

2. INSTRUMENTATION ET CAMPAGNES EXPÉRIMENTALES

Le système lidar multispectral comprend deux voies coaxiales de détection, chacune dédiée à une gamme spectrale (*i.e.*, une voie VIS-NIR et une voie SWIR) et une partie illumination commune (Fig. 1(a)). Cette dernière repose sur une source supercontinuum (conçue et réalisée par Photonics Bretagne) émettant entre 400 nm et 2500 nm. Le faisceau collimaté en sortie de source est orienté vers le couvert végétal après réflexion par un miroir dichroïque passe-bas pour la voie SWIR ($\lambda > 950$ nm) ou après transmission pour la voie VIS-NIR. Le faisceau est ensuite rétro-diffusé par la feuille pour être collecté par une lentille de Fresnel ayant une large pupille d'entrée (Fig. 1(b)). L'intensité du signal rétro-diffusé est finalement mesuré par deux photodiodes à avalanche (APD210 pour la voie VIS-NIR et

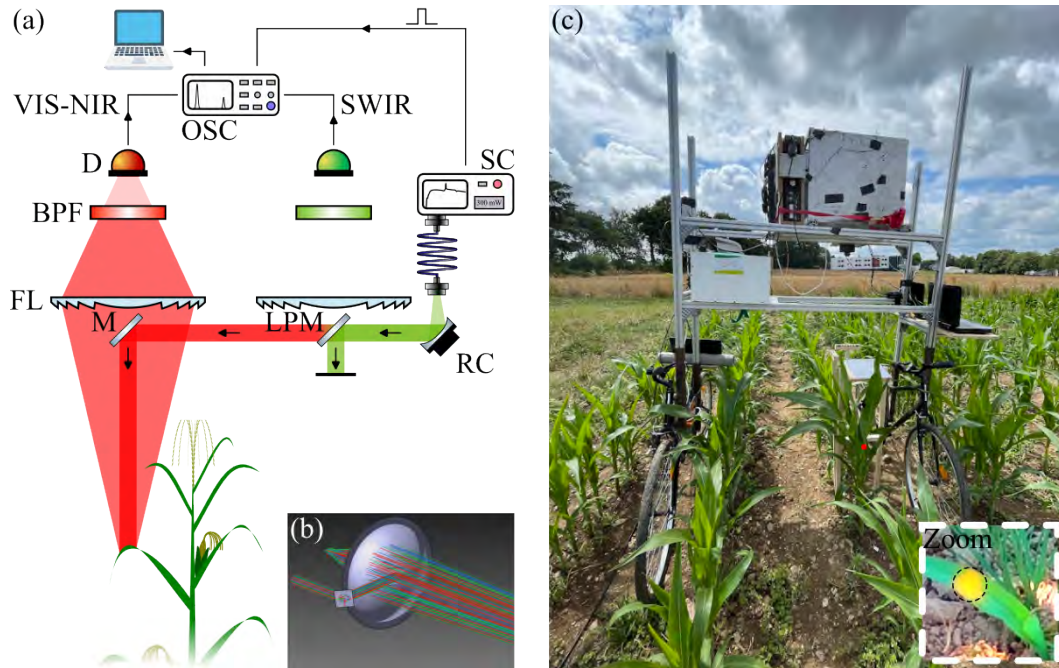


FIGURE 1 : (a) Illustration du système lidar. SC, source de supercontinuum. RC, collimateur réfléchissant. LPM, miroir passe-bas. M, miroir. FL ; lentille de Fresnel. BPF, filtre passe-bande. D, détecteur. OSC, oscilloscope. (b) Conception optique de la tête lidar. (c) Photographie du système lidar intégré sur une plate-forme terrestre de déplacement. La vue zoom montre l’empreinte du faisceau sur une feuille de maïs (diamètre 2,5 cm).

APD310 pour la voie SWIR, Thorlabs) après filtrage spectral. Celui-ci est réalisé à l’aide de deux roues équipées chacune de 6 filtres passe-bande ($\Delta\lambda = 25 \text{ nm}$), soit 12 bandes spectrales.

Le système lidar multispectral a été déployé au terrain lors de deux campagnes de mesures réalisées dans le cadre du projet QUALIPHEN (Région Bretagne et BPI France, 2021–2023) (Fig. 1(c)). L’objectif était le suivi de la vigueur au démarrage de variétés de maïs ayant subi des régimes de nutrition différenciés pour favoriser l’enracinement et la croissance précoce.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La technologie lidar multispectral a montré un fort intérêt pour le phénotypage des couverts au terrain. Des signaux de réflectance VIS, NIR et SWIR ont été extraits pour permettre par la suite une quantification des traits agronomiques synthétiques via des modèles avancés. Des améliorations techniques ont été identifiées telles que la prise en compte de l’inclinaison foliaire pour une meilleure précision des valeurs de réflectance et l’intégration de dispositifs de balayage spatial pour une représentation géométrique des couverts végétaux. Ces étapes permettront de faciliter l’utilisation de cet outil sur des cas d’usage en agriculture et en agronomie.

RÉFÉRENCES

- [1] J. A. J. Berni and S. Bellido, “OpenAgriTech/Open-PhenoLiDAR : Public release for zenodo,” 2021.
- [2] S. Junttila, J. Sugano, M. Vastaranta, R. Linnakoski, H. Kaartinen, A. Kukko, M. Holopainen, H. Hyypä, and J. Hyypä, “Can leaf water content be estimated using multispectral terrestrial laser scanning? a case study with norway spruce seedlings,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, p. 299, 2018.
- [3] V. Sivaprakasam, D. Lin, M. K. Yetzbacher, H. E. Gemar, J. M. Portier, and A. T. Watnik, “Multi-spectral swir lidar for imaging and spectral discrimination through partial obscurations,” *Optics Express*, vol. 31, no. 4, pp. 5443–5457, 2023.