

"Phénotypage de plants de maïs en proxy-détection par combinaison de capteurs spectraux passif et actif", J. Aval¹, S. Rebeyrol¹, Antoine Fournier², Sofian Helmer³, Denis Tregoat³, Stéphane Perrin³, N. Thomas¹, M. Lennon¹.

¹Hytech-imaging, Brest; ²Arvalis, Lannion; ³Photonics Bretagne, Lannion

Contexte

Cette proposition vise à synthétiser les résultats du projet QUALIPHEN (Phénotypage qualifié par imagerie spectrale), impliquant Hytech-imaging, Photonics Bretagne et Arvalis. Ce projet d'innovation financé par la région Bretagne visait à effectuer le phénotypage de plants de maïs en plein champ (à une distance d'environ 2 m) par combinaison de capteurs spectraux passif et actif. Hytech-imaging, leader du projet, était responsable des acquisitions passives et du traitement des données tandis que Photonics Bretagne a conçu l'instrument actif. Arvalis a apporté un support sur le volet agronomique, incluant l'analyse des résultats.

Les résultats du projet QUALIPHEN montrent qu'il est possible de suivre l'évolution de la chlorophylle en fonction du temps et de mettre en évidence une différence de niveau de nutrition (ici l'azote, cf. Fig. 1 et 2). L'incertitude sur les paramètres estimés est faible par rapport à l'erreur d'estimation de la chlorophylle, suggérant le besoin de mieux prendre en compte l'incertitude liée au modèle. Plusieurs perspectives sont en cours de discussions, notamment l'amélioration du LiDAR multispectral et l'utilisation du modèle de transfert radiatif DART¹.

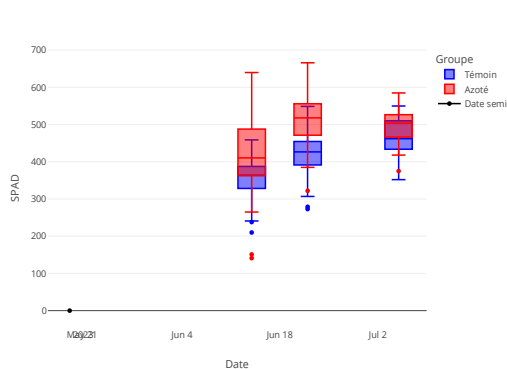


Figure 2 : Statistiques des mesures SPAD en fonction du temps.

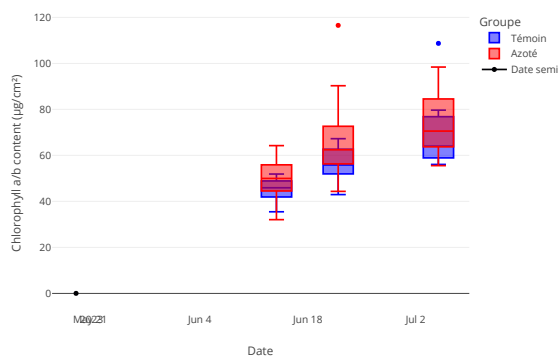


Figure 1 : Évolution du contenu en Chlorophylle estimé par inversion du modèle PROCOSINE, pour les spectres hyperspectraux.

Campagne

La campagne d'acquisition a eu lieu sur la période juin/juillet 2023 à la station expérimentale d'Arvalis de Ploërmel (Morbihan). Des semis de maïs ont été effectués le 19/05 suivant 2 modalités : non azotée (témoin) et azotée. Puis plusieurs sessions de mesure ont eu lieu le 14/06 (M1), 22/06 (M2), 05/07 (M3), dont une en amont (M0) pour la mise en place des instruments en conditions réelles et la réalisation de mesures préliminaires.

Instrumentation

Les instruments mobilisés pour la campagne sont synthétisés ci-dessous :

- **Mesures optiques en champ proche**
 - LiDAR, 568 – 1550 nm, 12 bandes.
 - Caméra HSI – VNIR, 400 – 1000 nm, 281 bandes.
 - Caméra HSI – SWIR, 900 – 1700 nm, 168 bandes.

Ces instruments ont été montés sur une structure métallique portée par 2 vélos, permettant le balayage manuel des plants dans les parcelles (Fig. Erreur : source de la référence non trouvée).

- **Mesures de référence**
 - Pince à feuille, 400 – 1000 nm, 2048 bandes.

¹Gastellu-Etchegorry, J.-P.; Lauret, N.; Yin, T.; Landier, L.; Kallel, A.; Malenovsky, Z.; Bitar, A. A.; Aval, J.; Benhmida, S.; Qi, J.; Medjdoub, G.; Guilleux, J.; Chavanon, E.; Cook, B.; Morton, D.; Chrysoulakis, N. and Mitraka, Z. (2017). DART: Recent Advances in Remote Sensing Data Modeling With Atmosphere, Polarization, and Chlorophyll Fluorescence, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 10 : 2640-2649.

- SPAD², 2 bandes (650 et 940 nm).



Illustration 1 : Photos de la campagne. Gauche : Champ. Droite : Phénotypette.

Prétraitements et incertitudes

Des prétraitements radiométriques et géométriques ont été effectués, résultant sur une réflectance pour le LiDAR, les caméras HSI et la pince à feuille.

Une caractérisation instrumentale a été effectuée afin d'identifier les principales sources d'incertitudes sur la réflectance dans le protocole de mesure. L'incertitude sur la réflectance des mires de référence utilisées semble prépondérante par rapport à l'incertitude liée au bruit capteur et a donc été retenue comme source principale. Dans la suite du traitement, cette incertitude est propagée jusqu'aux paramètres estimés via une approche Monte Carlo.

Analyse de la réflectance spectrale

Afin de suivre la chlorophylle, 2 approches complémentaires ont été utilisées : l'inversion du transfert radiatif et l'utilisation d'indices spectraux. L'inversion du modèle de transfert radiatif est basée sur l'utilisation du modèle PROCOSINE³ avec une optimisation des moindres carrés, tandis que les indices spectraux suivants ont été retenus : RVI[810,660], Datt[780]⁴. Le modèle PROCOSINE a été privilégié par rapport à PROCAIL puisque la résolution spatiale des mesures optiques en champ proche est plus petite que la taille des feuilles. Toutefois, la contribution des étages foliaires intérieurs et du sol ne sont pas prises en compte, constituant une limite de la modélisation.

2 Uddling, J.; Gelang-Alfredsson, J.; Piikki, K. and Pleijel, H. (2007). *Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings*, Photosynthesis Research 91 : 37-46.

3 Jay, S.; Bendoula, R.; Hadoux, X.; Féret, J.-B. and Gorretta, N. (2016). *A physically-based model for retrieving foliar biochemistry and leaf orientation using close-range imaging spectroscopy*, Remote Sensing of Environment 177 : 220-236.

4 Erudel, T.; Fabre, S.; Houet, T.; Mazier, F. and Briottet, X. (2017). *Criteria Comparison for Classifying Peatland Vegetation Types Using In Situ Hyperspectral Measurements*, Remote Sensing 9 : 748.