

## **Contribution au déploiement de la méthode innovante de fertilisation azotée APPIN : l'imagerie visible pour le suivi de l'état azoté d'une culture**

**Contexte :** La gestion optimale de la **fertilisation azotée des cultures** est aujourd'hui mal maîtrisée dans les systèmes de culture agroécologiques conduits sans pesticides. En effet, on dispose peu de référence et d'outils adaptés à ces systèmes soumis à de nombreux aléas et plus entachés d'incertitude que les systèmes conventionnels, qu'ils soient d'origine climatique ou proviennent d'une gestion des bio agresseurs plus difficile. Or, les règles de pilotage de la fertilisation azotée actuellement disponibles sont basées sur un « objectif de rendement prévisionnel », défini par l'agriculteur à la sortie de l'hiver (COMIFER, 2013), et à partir duquel la dose de fertilisant azoté à apporter est calculée. Si le rendement prévisionnel était jusqu'alors relativement facile à prédire pour une situation pédoclimatique donnée dans les systèmes de culture conventionnels, ce n'est plus le cas aujourd'hui, avec un climat beaucoup moins prévisible et pour des cultures très souvent affectées par les bio agresseurs (en l'absence de pesticides). Faute de références disponibles et du fait de ces nombreux aléas, le rendement devient donc impossible à estimer à l'avance.

La **nouvelle méthode APPIN** (Ravier et al 2018), qui déclenche la fertilisation azotée en fonction des besoins azotés réels de la culture (et non pas en fonction d'un rendement prévisionnel) pourrait pallier à ces problèmes. Cette méthode nécessite le suivi en continu du statut azoté de la culture, à l'aide d'une pince munie d'un capteur infra rouge. Des abaques permettent de relier la valeur mesurée chaque semaine sur le peuplement à une valeur de statut azoté. La méthode propose ensuite pour chaque quinzaine, une dose de fertilisant à apporter, à adapter en fonction des conditions météo. Ce diagnostic étant réalisé toutes les semaines, les apports d'azote sont ainsi finement ajustés aux besoins de la culture, et les pertes d'azote dans l'environnement sont minimisées.

La réalisation de mesures sur les feuilles chaque semaine, sur la culture est néanmoins un frein à son **adoption par les agriculteurs**, pourtant aujourd'hui globalement demandeurs de ce type de méthode. Etant donné les compétences disponibles à l'UMR, nous proposons de développer une méthode d'estimation du statut azoté basée sur l'acquisition d'une image, avec une technologie facilement accessible à tous (= via un appareil photo ou un smart phone). Dans la littérature, l'indice DGCI (Dark Green Color Index,) dédié à l'évaluation du statut azoté des cultures de riz ou de maïs est proposé avec des images prises dans le visible à l'échelle de la feuille (Rorie et al., 2011 ; Ge et al., 2021 ; Caturegli et al., 2020). **Le potentiel du DGCI pour suivre l'état azoté de cultures d'être exploré à l'échelle du peuplement.**

**Objectifs du stage :** Un premier objectif du stage est d'outiller la méthode par le développement du phénotypage du statut azoté du blé et du colza par imagerie visible (RGB). Pour y parvenir, un gradient de disponibilité en azote sera créé sur des micro parcelles fertilisées en modulant les apports d'azote minéral. L'indice DGCI sera évalué à l'aide de photos prises à l'échelle de la canopée et dans le domaine du visible. Les valeurs obtenues seront mises en relation avec les valeurs d'INN obtenues par les méthodes classiques (N-Tester et mesures destructives de teneur en azote dans la biomasse).

Des résultats préliminaires montrent une corrélation significative entre les valeurs relatives de DGCI et les valeurs d'INN sur le blé et ce, en utilisant différents smartphones (Gée et al., 2023). Cette corrélation a été établie sur une seule variété (LG Absalon) puis sur 4 variétés. Or l'indice DGCI pourrait varier avec la couleur des feuilles, le port des feuilles et leur largeur mais aussi selon le type de smartphone. L'étude menée en 2024 explorera l'effet du capteur optique, de la variété et du stade de développement sur la corrélation établie. Comme pour la corrélation entre les valeurs N-tester et l'INN, la corrélation entre le DGCI et l'INN pourrait varier avec le stade de développement. Les mesures seront par conséquent sur deux cultures (blé et colza) aux caractéristiques contrastées et comparées aux résultats des années précédentes ; sur le colza, la méthodologie est à développer.

**Description du travail à réaliser :** Le stagiaire sera en charge du suivi régulier de cultures de blé, situées sur dispositif CA-SYS, sur l'Unité expérimentale INRAE près de Dijon, et de cultures de colza sur des parcelles

conduites par Terres Inovia dans la région (Projet Plant2Pro). Il réalisera la mesure de l'état azoté à la fois à l'aide du N-tester et par imagerie visible (prise de photos de différents smartphones), et via des prélèvements destructifs pour mesure de la teneur en N dans la biomasse. Ces mesures seront réalisées sur des micro parcelles sur lesquelles le statut azoté sera modulé, afin de paramétrer la relation entre mesure du statut azote par l'image et via le N-tester. Le stagiaire procédera à l'analyse des images, en s'appuyant sur les algorithmes développés en interne, pour en obtenir la valeur d'indice DGCI, ce qui lui permettra d'établir une corrélation entre valeurs N-tester et valeurs images. Il réalisera les pesées de biomasse, et préparation d'échantillons pour la mesure de leur teneur en N, puis les calculs d'INN. Des analyses statistiques permettront de statuer de l'effet du capteur optique, de la variété et du stade de développement sur la corrélation entre les différentes mesures d'INN.

---

**Profil requis :** Motivation, rigueur, curiosité. Capacité à effectuer un travail minutieux, au champ comme au laboratoire.

**Modalités d'accueil :** Stage rémunéré et basé à Dijon, dans les locaux INRAE. Possibilité de logement en résidence étudiante.

**Durée du stage :** 6 mois : février – juin 2024 (modulable)

---

**Pour postuler :** Transmettre un CV et lettre de motivation à :

- Christelle Gée – Enseignant-Chercheur en agriculture de précision à l'institut agro Dijon  
Email : [christelle.gee@agrosupdijon.fr](mailto:christelle.gee@agrosupdijon.fr) - Tél : 03-80-77-27-71
- 

## Références

L. Caturegli, M. Gaetani, M. Volterrani, S. Magni, A. Minelli, A. Baldi et al., 2020. Normalized Difference Vegetation Index versus Dark Green Colour Index to estimate nitrogen status on bermudagrass hybrid and tall fescue. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 41, 2020 - Issue 2, pp.455-470. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1641762>

COMIFER, 2013. Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. Cultures annuelles et prairies. [www.comifer.asso.fr/images/stories/publications/brochures/BROCHURE\\_AZOTE\\_20130705web.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/stories/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf)

Ge H, Xian, H, Ma F, Li Z, Qiu Z, Ta Z, Du C. 2021. Estimating Plant Nitrogen Concentration of Rice through Fusing Vegetation Indices and Color Moments Derived from UAV-RGB Images. *Remote Sens.*, 13, 1620.

Gée Ch., E. Denimal, M. de Yparraguirre, L. Dujourdy and AN. Voisin, 2023. Assessment of Nitrogen Nutrition Index of Winter Wheat Canopy from Visible Images for a Dynamic Monitoring of N Requirements. *Remote Sens.* 2023, 15(10), 2510; <https://doi.org/10.3390/rs15102510>

Ravier, C.; Jeuffroy, M.H.; Gate, P.; Cohan, J.P.; Meynard, J.M. Combining user involvement with innovative design to develop a radical new method for managing N fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 2018, 110, 117–134, <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9891-5>

Rorie, R.L.; Purcell, L.C.; Mozaffari, M.; Karcher, D.E.; King, C.A.; Marsh, M.C.; Longer, D.E. 2011. Association of "Greenness" in Corn with Yield and Leaf Nitrogen Concentration. *Agron. J.*, 103, 529–535. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0296>