

Offre de stage de fin d'études (M2)

(À partir de mars/avril 2026 – 6 mois)

« Mesures spectrales en lumière polarisée exploitant le formalisme de Mueller pour l'étude et la caractérisation du matériel végétal soumis à une contrainte hydrique »

Lieu et encadrement

Lieu : Institut Agro Montpellier (UMR ITAP) – Campus de la Gaillarde

Encadrement(s) : Arnaud DUCANCHEZ (MC) / Philippe SIGNORET (Pr.)

Description et objectifs du stage

Contexte :

La **spectrométrie visible et proche infrarouge (VIS-NIR)** est une technique d'analyse optique rapide, précise et non destructive, permettant de déterminer la composition chimique d'une grande variété de milieux et de produits. Dans les domaines de **l'agriculture et de l'environnement**, elle a démontré ces dernières années un fort potentiel pour le **phénotypage des plantes en conditions de terrain**, notamment à travers l'estimation d'indicateurs tels que la **surface foliaire** ou le **statut azoté**.

Cependant, malgré ces avancées, plusieurs **verrous scientifiques** subsistent pour la mesure d'autres traits physiologiques d'intérêt, en particulier ceux liés à la **réponse des plantes aux stress biotiques (maladies) ou abiotiques (stress hydrique)**.

L'une des principales limites de la spectrométrie VIS-NIR réside dans la **diffusion multiple de la lumière au sein des feuilles**, qui rompt la linéarité de la **loi de Beer-Lambert** et altère la fiabilité des mesures spectrales. Cette diffusion introduit des effets additifs et multiplicatifs complexes, indépendants des composants chimiques d'intérêt, ce qui dégrade la qualité du signal et compromet la robustesse des modèles de prédiction.

Pour dépasser ces limitations, une approche innovante consiste à **agir en amont sur la qualité du signal**, en exploitant les **propriétés de polarisation de la lumière**. L'utilisation de la lumière polarisée en spectroscopie permet en effet de réduire l'impact de la diffusion et d'accéder à des informations plus fines sur les interactions lumière-matière.

Dans ce cadre, le **formalisme de Mueller** offre une description complète des états de polarisation et des propriétés optiques d'un milieu. Si certaines études ont exploré cette approche, elles se sont le plus souvent limitées à un seul état de polarisation (linéaire ou circulaire) ou à l'analyse partielle de la matrice de Mueller. L'exploitation combinée de plusieurs états de polarisation, sur une large gamme spectrale, demeure ainsi **une voie de recherche encore peu explorée mais particulièrement prometteuse** pour améliorer la caractérisation optique du végétal.

Problématique scientifique :

Les approches classiques qui se basent sur des éléments purement théoriques (approches de modélisation physique) ou bien en essayant de corriger les spectres à posteriori (approches chimiométriques) ne permettent pas de compenser pleinement les effets de diffusion dans les milieux végétaux. Ainsi, l'enjeu de ce stage est donc de répondre à la question scientifique suivante :

“ Comment les éléments de la matrice de Mueller, obtenus à partir des spectres polarisés des feuilles, reflètent-ils l'état physiologique de la plante soumis à un stress hydrique ? ”.

Avancée méthodologique et dispositif expérimental :

L'équipe **COMIC** (UMR ITAP), en collaboration avec **PhoTéra (IES)**, a développé un **banc optique automatisé** capable d'effectuer des acquisitions spectrales VIS-NIR pour tous les états de polarisation, permettant ainsi de reconstruire la **matrice de Mueller complète**. Une première phase de validation métrologique a démontré la **stabilité, la répétabilité et la reproductibilité** du système. Par la suite, des essais préliminaires sur feuilles ont permis de confirmer la faisabilité expérimentale.

Ainsi, le stage s'inscrit dans la suite de ces travaux et visera à **étendre les expérimentations sur matériel végétal**, à **constituer une base de données structurée** et à **analyser les signaux polarisés** pour tenter d'établir un lien entre les éléments de la matrice et certains traits biochimiques et physiologiques de la feuille prépondérants et/ou sensible à cette contrainte hydrique pour en comprendre leur sens et leur signification d'un point de vue chimique et/ou physique.

Objectifs et programme de travail :

Le(la) stagiaire participera activement à la campagne expérimentale et à l'analyse scientifique des données. Les principales missions seront :

1. **Réaliser des acquisitions spectrales en lumière polarisée** sur des feuilles soumises à différentes modalités hydriques (irrigation vs contrainte).
2. **Extraire et interpréter les éléments de la matrice de Mueller**, et les relier à des traits biochimiques et physiologiques (teneur en eau, chlorophylle, épaisseur foliaire...).
3. **Traiter et analyser les données** (prétraitements, analyses spectrales et statistiques, visualisation et corrélations avec des variables écophysologiques).
4. **Poursuivre le développement d'un banc** pour faire de l'imagerie polarimétrique (**optionnel**)
5. **Rédiger un rapport scientifique** et **présenter les résultats au congrès Optique SFO 2026** (6–10 juillet 2026, frais pris en charge).

Compétences et prérequis

- Formation Master 2 ou école d'ingénieur (optique, physique, instrumentation, traitement du signal, ou agronomie).
- Compétences souhaitées :
 - ✓ Connaissances en **optique / polarisation / spectroscopie**.
 - ✓ Bases en **traitement et analyse de données expérimentales** (Python, Matlab, R...etc).
 - ✓ Intérêt pour les **applications agronomiques et environnementales**.
- Qualités attendues : rigueur expérimentale, curiosité scientifique, autonomie et capacité de synthèse.

Divers

- Date de début : mars/avril 2026
- Durée : 6 mois.
- Indemnité de stage : environ 580 €/mois ; accès à la cantine du campus avec tarif subventionné

Pour postuler

Merci d'envoyer une lettre de motivation et un CV à :

Arnaud DUCANCHEZ (Maître de Conférences, Institut Agro Montpellier)

arnaud.ducanchez@supagro.fr

Philippe SIGNORET (Professeur des universités, IUT de Montpellier)

philippe.signoret@umontpellier.fr