



Proposition d'emploi Ingénieur

Propriétés spectrales d'un couvert de blé : Relations entre l'architecture des plantes et la réflectance du couvert à l'échelle de la feuille

Cadre général : ce travail s'inscrit dans le cadre du projet ANR *Phenoblé* dont l'objectif est d'inférer les principales caractéristiques architecturales biochimiques pour décrire les propriétés d'un couvert de blé.

Contexte et acquis : Pour les espèces cultivées, la création de nouvelles variétés se doit de prendre en compte des contraintes externes nouvelles telles que le changement climatique, la diversification des modes de production, ou encore la prise en compte renforcée de la dimension polluante des pratiques intensives de l'agriculture.

Dans ce cadre, un des enjeux majeurs de la décennie à venir est la compréhension des déterminants génétiques impliqués dans la réponse adaptative des plantes aux conditions du milieu. Celle-ci nécessite de pouvoir mettre en relation les mesures de traits relatifs à l'architecture ou encore à la composition biochimique des tissus (ie le phénotype) avec le génotype des plantes dans des conditions environnementales variables.

Pour la communauté des agronomes, se mettre en capacité de mesurer ce phénotype (ie le phénotypage) à l'aide de méthodologies rapides, non destructives est donc une étape essentielle pour préciser *i)* la gamme de variation de ces traits *ii)* modéliser le fonctionnement du couvert *iii)* rechercher les gènes impliqués dans le fonctionnement des processus.

Réussir ce couplage entre connaissance du génome / diversité génétique / fonctionnement de la plante implique que les dynamiques technologiques et conceptuelles pour chacune de ces disciplines progressent à des rythmes comparables. Malheureusement l'évolution des techniques de phénotypage n'a pas suivi celle, très rapide des technologies de génotypage / séquençage. Les techniques de phénotypage disponibles pour de grandes séries génotypiques ne permettent de mesurer facilement qu'un nombre réduit de caractères souvent complexes (rendement en grains, biomasse, composition des tissus, descripteurs de l'état sanitaire) *via* des techniques destructives qui rendent impossible le suivi temporel d'élaboration des traits concernés. Ce faible nombre de caractères mesurés, la complexité de leur élaboration, auxquels nous pouvons ajouter l'interaction avec les effets environnementaux, vont se conjuguer pour bruyier les relations génotype phénotype.

Le développement de techniques rapides, non invasives, non destructives facilitant l'accès à des caractères nouveaux est donc une priorité afin d'accroître la pertinence des caractères mesurés, d'accéder aux variations temporelles et spatiales de l'expression de ces caractères. Les techniques basées sur l'utilisation des propriétés spectrales des matrices (spectrométrie proche infrarouge pouvant être couplée à des imageurs –imagerie hyperspectrale-) ont ces potentialités : elles sont non destructives, rapides et non invasives. Elles offrent l'opportunité de réaliser un suivi temporel de l'élaboration d'un trait (à l'échelle de l'organe ou du couvert végétal) rendant possible l'analyse des gènes impliqués dans l'élaboration de ces caractères au cours des différentes phases de la vie de la plante.

L'utilisation de la caméra Hyperspectrale (Hypex 1600, Norsk Electro Optik, Norvège), permet l'acquisition des images à deux dimensions lors du déplacement de la caméra le long d'un rail support motorisé. Les données spectrales ont été traitées afin de développer des indicateurs liés à la nutrition azotée d'un couvert de blé (Vigneau et al., 2011). Les difficultés liées à la gestion du système passif utilisé ont été prises en compte *via* différentes corrections basées notamment sur l'utilisation d'une référence interne calibrée pour ses propriétés radiométriques. Compte tenu de la nouveauté du système utilisé, des étalonnages ont été développés pas à pas sur des matrices de complexité croissante : feuilles excisées, plantes isolées et en situation de peuplement. L'ajustement aux données observées des différents modèles statistiques obtenus s'est révélé satisfaisant ($0.875 < R^2 < 0.903$) ; il permet d'envisager l'utilisation de cette chaîne pour acquérir des informations en proxi-détection. Mais avant cela des expérimentations complémentaires sont nécessaires afin de préciser la robustesse de ces relations et de réduire l'erreur de prédiction. C'est dans ce contexte que se situe notre proposition.

En parallèle des travaux sur le phénotypage des plantes au moyen de capteurs optiques, se sont développés différents modèles ayant pour but de recréer numériquement une parcelle en cours de croissance. C'est le cas du modèle Adel-Blé (Fournier et al, 2003), dont le but premier est de reproduire le développement architectural et la croissance foliaire du blé. Adel-blé a été enrichi par un modèle de distribution de l'azote dans l'ensemble de la plante (Bertheloot et al, 2008).

Proposition & Objectif : il s'agira de réaliser différents travaux basés sur la modélisation des couverts végétaux afin de préciser l'impact de la variation de paramètres architecturaux du couvert (orientation des feuilles, état de surface des feuilles) sur les propriétés de réflectance du couvert végétal. Plus précisément il s'agira :

- De combiner les reconstructions possibles avec des données disponibles sur le blé pour caler une gamme de variations réalistes de ces paramètres architecturaux.
- De simuler des couverts végétaux de blé (Adel3D, plateforme OpenAlea¹), à différents stades phénologiques en faisant varier des paramètres architecturaux (taille et orientations des feuilles, état de surface des feuilles).

¹ <http://openalea.gforge.inria.fr/dokuwiki/doku.php>.

- De coupler les modèles végétaux 3D ainsi définis à un lanceur de rayons afin de simuler leur observation à partir d'un spectromètre imageur (génération d'images hyperspectrales virtuelles).

Les deux premiers points s'appuieront largement sur des modèles existants et opérationnels qu'il s'agira surtout d'articuler ensemble. Le troisième point constitue l'essentiel du travail à réaliser. Sachant que des travaux proches sont en cours dans le cadre de la plateforme OpenAlea. Il conviendra tout d'abord d'évaluer leur applicabilité dans le présent contexte, et de les adapter/compléter si nécessaire.

Compétences : très bonne maîtrise de la programmation (langages python, C++); bonnes connaissances en imagerie, sensibilité aux problématiques de la biologie.

Durée : 12 mois

Localisation : Montpellier, Inra et Irstea

Contacts : martin.ecarnot@supagro.inra.fr ; gilles.rabatel@irstea.fr, pierre.roumet@supagro.inra.fr

Bibliographie succincte

Ecarnot, M., F. Compan, and P. Roumet. 2013. Assessing leaf nitrogen content and leaf mass per unit area of wheat in the field throughout plant cycle with a portable spectrometer. *Field Crops Research* 140: 44–50.

Reich G., 2005. Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57: 1109– 1143

Vigneau N., Ecarnot M., Rabatel G., Roumet P. 2011. Potential of field hyperspectral imaging as a non destructive method to assess leaf nitrogen content in Wheat. *Field Crop Research* 122: 25–31;

Fournier C, Andrieu B, Ljutovac S, Saint-Jean S. 2003. ADEL-wheat: a 3D architectural model of wheat development. In: HuBG, JaegerM, eds. *International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization, and their Applications*. Beijing, China PR: Tsinghua University Press/Springer, 54–63.

Bertheloot J, Andrieu B, Fournier C, Martre P. A process-based model to simulate nitrogen distribution in wheat (*Triticum aestivum*) during grain-filling. *Functional Plant Biology* 2008;35:781-796.