

# PILOTAGE INTÉGRAL DE LA FERTILISATION AZOTÉE : VERS UNE INTÉGRATION EN TEMPS RÉEL DE L'HÉTÉROGÉNÉITE PARCELLAIRE

François Taulemesse<sup>1</sup>, Francesca Degan<sup>2</sup> & Baptiste Soenen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Arvalis Institut du Végétal, Station expérimentale de Pusignan, 241 route de Chapulay 69330 PUSIGNAN - FRANCE

<sup>2</sup> Arvalis Institut du Végétal, Station expérimentale de Boigneville, 91720 BOIGNEVILLE - FRANCE

Le raisonnement de la fertilisation azotée, qui repose depuis plusieurs décennies sur les principes de la méthode du « bilan prévisionnel », se heurte à des limites inhérentes aux principes mêmes de la méthode (*e.g.* difficulté d'estimation de l'objectif de rendement ; Ravier *et al.*, 2016), qui conduisent trop souvent à une fertilisation mal maîtrisée et/ou à des pertes environnementales qui ne sont plus acceptables aujourd'hui. Ce constat a motivé l'émergence d'un nouveau concept de pilotage « intégral » de l'azote (Soenen et Degan, 2020), qui s'affranchit d'estimations *a priori* de doses prévisionnelles et privilégie le raisonnement des apports en fonction des besoins instantanés des plantes. Ce concept s'appuie sur trois principes fondamentaux : (i) un pilotage exclusivement basé sur des indicateurs « plante » estimés en temps réel, (ii) des doses d'apports raisonnées sur la base de trajectoires plancher d'indice de nutrition azotée (INN), et (iii) des dates d'apport guidées par les conditions pédoclimatiques pour optimiser la valorisation de l'azote apporté.

Arvalis Institut du Végétal a développé depuis 2017 un outil de pilotage intégral de l'azote, CHN-conduite, qui s'appuie sur le modèle de culture CHN de l'Institut pour (i) accéder à l'INN en temps réel et (ii) pronostiquer les besoins en azote futurs du couvert en tenant compte des stocks d'eau et d'azote à disposition du système. La simulation de croissance du couvert au sein du modèle CHN n'étant, par construction, impactée que par des stress abiotiques (*i.e.* stress hydrique et azoté), l'intégration de données de phénotypage satellitaire en cours de campagne (*i.e.* indice foliaire, concentration en chlorophylles du couvert) est incontournable pour guider les prédictions en cas d'occurrence d'accidents d'autres natures, ou dans des situations où le paramétrage environnemental n'est pas suffisamment précis.

Au-delà de l'intérêt certain de l'ajustement des prédictions du modèle dans des situations accidentées, l'accès aux séries temporelles d'images satellites offre une vision précieuse de l'hétérogénéité du couvert de la parcelle et de son évolution dans le temps. L'analyse diagnostique de cette information ouvre la voie d'une gestion de l'azote différenciée à l'échelle intra-parcellaire, qui permettra d'améliorer encore d'un cran la précision des doses d'azote préconisées en tous points de la parcelle. D'un point de vue conceptuel, ce système de couplage modèle – capteurs offre la possibilité de conduire un pilotage intégral de l'azote à une échelle spatio-temporelle, et d'ainsi raisonner chaque apport d'azote selon des diagnostics-pronostics multiples dont la complexité doit être adaptée au niveau d'hétérogénéité du couvert.

En pratique, dans un contexte de déploiement de l'outil à grande échelle, la notion de « coût calculatoire » devient une problématique majeure et la perspective d'un nombre élevé de calculs pour intégrer la variabilité spatiale dans son entièreté n'est pas concevable. Une simplification de l'information d'hétérogénéité de la parcelle est ainsi nécessaire. Pour y parvenir, une méthodologie de spatialisation de la dose d'azote a été intégrée à l'outil CHN-conduite. Celle-ci comporte trois étapes successives : (i) une dé-spatialisation de l'information d'hétérogénéité portée par les images satellites en vue de la simplifier, (ii) l'intégration au modèle d'informations 'plante' (indice foliaire, concentration en chlorophylles) observées sur des zones représentatives de la diversité parcellaire pour la mise en œuvre d'une démarche diagnostics-pronostics multiples, et (iii) une re-spatialisation de la dose finale préconisée en tous points de la parcelle.

L'étape de dé-spatialisation de l'information d'hétérogénéité est sensible, car celle-ci peut conduire à

une vision trop réductrice de l'hétérogénéité et limiter la précision du conseil. La méthode proposée pour y répondre s'appuie sur une analyse statistique de l'hétérogénéité, qui vise dans un premier temps à discriminer les différentes 'populations de pixels' présentes sur la parcelle par une approche de classification (*i.e.* modèles de mélanges gaussiens ; Fralet and Raftery, 2007). Cette méthode permet d'évaluer le niveau initial de complexité de l'hétérogénéité, et de simplifier l'information en un nombre restreint de populations de pixels adapté au niveau d'hétérogénéité de départ. A l'issue de l'analyse, 3 à 7 pixels d'intérêt, considérés descriptifs de la distribution de l'hétérogénéité parcellaire totale, sont finalement sélectionnés.

Dans la deuxième étape de la méthode, les informations d'indice foliaire et de concentration en chlorophylles du couvert portées par chacun des pixels d'intérêt, ainsi que les valeurs historiques collectées sur ces mêmes pixels, sont assimilées au modèle CHN pour (i) diagnostiquer le niveau de carence spécifique de la zone de la parcelle, et (ii) pronostiquer une dose correctrice adaptée à leur capacité de croissance future. Cette collection de doses préconisées à l'échelle de pixels d'intérêt est finalement re-spatialisée pour estimer les besoins en azote en tous points de la parcelle.

Cette méthodologie innovante ouvre des perspectives de raisonnement spatial du pilotage intégral de l'azote. Celle-ci permettra de raffiner le conseil et améliorer encore l'efficacité d'utilisation de l'azote apporté, d'une part positivement associée aux performances de production et d'autre part favorable aux performances environnementales. Les premiers résultats de validation croisée de la méthode au sein d'un réseau expérimental de 16 parcelles font état d'erreurs d'estimation de la dose préconisée au pixel inférieures à 5Kg d'azote par hectare\*. Si ces résultats prometteurs se confirment, cette approche permettra d'accéder à un raisonnement de tous les apports d'azote sur la base de diagnostics-pronostics multiples à l'échelle intra-parcellaire ; le gain de précision associé sera nécessairement substantiel en comparaison aux méthodes de modulation actuelles, qui reposent très majoritairement sur la répartition spatiale d'une dose moyenne.

\* en comparaison aux préconisations obtenues en mettant en œuvre la méthode CHN-conduite sur chaque pixel.

#### Références

**Soenen, B., & Degan, F. (2020).** CHN-Conduite : Conduire le blé avec un pilotage intégral de l'azote. Perspectives Agricoles, 474, 52-54.

**Fraley, C., & Raftery, A. E. (2007).** Bayesian regularization for normal mixture estimation and model-based clustering. Journal of classification, 24(2), 155-181.

**Ravier, C., Jeuffroy, M. H., & Meynard, J. M. (2016).** Mismatch between a science-based decision tool and its use : The case of the balance-sheet method for nitrogen fertilization in France. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 79, 31-40.



**François TAULEMESSE, PhD**

Ingénieur Recherche & Développement au sein du service Agronomie, Economie, Environnement d'Arvalis – Institut du Végétal depuis 2020. Diplômé d'un doctorat d'université en génétique et physiologie végétale en 2015 (ED SVSAE Clermont-Ferrand), j'ai notamment participé à des travaux de recherches visant à mieux comprendre les déterminismes de l'efficacité d'utilisation de l'azote sur blé (génétique, physiologie, interaction GxE) dans des laboratoires publics et privés.