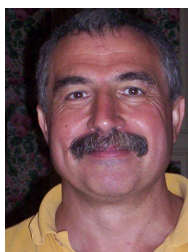


# RAISONNER LA FERTILISATION AZOTEE DU BLE D'HIVER SANS OBJECTIF DE RENDEMENT ET SANS RELIQUAT SORTIE HIVER.



Clémence Ravier<sup>1,2</sup>, Marie-Hélène Jeuffroy<sup>1</sup>,  
Jean-Pierre Cohan<sup>2</sup>, Philippe Gate<sup>2</sup>,  
Jean-Marc Meynard<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, UMR Agronomie et UMR SAD APT,  
78850 Thiverval-Grignon  
<sup>2</sup> ARVALIS - Institut du végétal, 3 rue Joseph et  
Marie Hackin 75016 PARIS

Depuis 40 ans, le raisonnement de la fertilisation azotée a bénéficié de nombreuses avancées de la R&D agricole, largement orientées par le consensus autour de la méthode du bilan. Les travaux visant à améliorer la gestion de la fertilisation ont essentiellement consisté à affiner l'estimation des termes de cette méthode, standardiser son usage, et développer des outils de conseil permettant d'ajuster la dose d'engrais calculée (Meynard et al, 2002). Aujourd'hui, le raisonnement de la fertilisation azotée du blé repose sur deux principes fondamentaux: le maintien d'une nutrition azotée non limitante tout au long du cycle, et l'estimation, de manière indépendante, des différents termes de l'équation du bilan, pour caractériser la fourniture du sol et les besoins en azote de la culture (à partir d'un rendement objectif). L'impératif d'accroître l'efficacité de la lutte contre les transferts d'azote réactif dans différents compartiments environnementaux, tout en respectant les exigences quantitatives et qualitatives du marché, ainsi que les difficultés de mise en œuvre de cette méthode, appellent à s'interroger sur l'opportunité de renouveler ce paradigme.

Suivant les travaux des ergonomes, qui ont montré l'intérêt d'impliquer les utilisateurs, et de prendre en compte les situations d'usage dans la conception d'outils d'aide à la décision (Béguin 2003; Cerf et al., 2012), nous avons conçu un nouvel outil de raisonnement de la fertilisation azotée du blé, en impliquant les futurs utilisateurs. Ceux-ci ont été mobilisés dans trois étapes principales: (1) nous avons d'abord mis en œuvre un diagnostic des usages d'outils et méthodes disponibles pour gérer la fertilisation azotée; (2) nous avons ensuite conduit un processus de conception innovante combinant des ateliers participatifs, la production de nouvelles connaissances nécessaires à l'exploration de nouveaux concepts, et la réalisation d'un prototype, à l'aide d'un modèle de culture; (3) enfin, nous avons organisé un test participatif du prototype dans les situations d'activité des utilisateurs, pour déterminer si les principes sous-jacents à la méthode sont pertinents pour eux (Ravier et al., 2017b).

**Le diagnostic des usages des méthodes et outils existants**, qui a été présenté aux dernières journées de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre (Ravier et al., 2015), a permis de définir les spécifications de futurs outils. Le diagnostic a été réalisé en combinant une analyse des travaux des Groupes Régionaux d'Expertise Nitrate, et des enquêtes auprès d'experts, de conseillers agricoles et d'agriculteurs. Notre analyse montre notamment (a) une forte ambiguïté sur l'objectif de rendement, que les agriculteurs tendent à fixer comme un rendement espéré plutôt que comme une moyenne réellement atteinte dans le passé, et (b) une mise en cause fréquente de la fiabilité de l'analyse de sol pour estimer l'azote minéral dans le sol à la sortie de l'hiver. Ces difficultés illustrent le décalage qui existe entre les travaux des scientifiques, qui ont conduit à privilégier des concepts tels que l'objectif de rendement et le reliquat sortie hiver, et la mise en œuvre de la méthode par ses utilisateurs, qui montre que ces concepts sont sources de doutes et d'erreurs (Ravier et al., 2016).

**Nous avons ensuite organisé deux ateliers de conception**, avec des experts de la fertilisation de la R&D. Dans ces ateliers, nous avons commencé par partager les résultats du diagnostic des usages, et des connaissances récentes, non insérées jusqu'à présent dans la méthode du bilan, et que les experts ont suggéré de mobiliser. Les ateliers ont été organisés selon la démarche « KCP », développée sur la base de la théorie C-K de la conception (Hatchuel & Weil, 2009), pour favoriser l'exploration collective de champs d'innovation. Basée sur une expansion conjointe des espaces des concepts (C) et des connaissances (K), cette théorie aide à surmonter les effets de fixation en conception (Le Masson, Hatchuel & Weil, 2011). Treize experts ont participé aux deux ateliers, couvrant des compétences diverses, concernant les processus relatifs au cycle de l'azote en agriculture (dynamique d'N dans le sol, émissions gazeuses, carences azotées, besoins azotés de la culture) ou concernant les processus de conception en agriculture. L'exploration a démarré par un concept exploratoire, issu des résultats du diagnostic des usages : « *une stratégie de fertilisation azotée sans objectif de rendement, sans mesure du reliquat d'N minéral dans le sol, et visant à maximiser l'efficacité d'utilisation de l'azote par la culture* ». Les critères d'évaluation de la méthode

issus du diagnostic des usages, ainsi que de nouveaux ayant émergé lors des ateliers, ont orienté l'exploration et ont permis d'affiner progressivement le concept initial. L'exploration a conduit au concept suivant : « *baser la fertilisation azotée sur un suivi régulier de l'état de nutrition azotée de la culture, et calculer les doses à appliquer sur la base d'une anticipation de la fourniture en N du sol* ». Pour transformer ce concept en un prototype d'outil, nous avons réalisé une étude spécifique, visant à définir une trajectoire minimale d'INN, incluant des périodes de carence azotée non préjudiciables au rendement et favorables à la teneur en protéines et à l'efficacité d'utilisation de l'azote (Ravier et al., 2017a). Pour rendre opérationnel le concept, nous avons utilisé le modèle de culture Azodyn-blé (Jeuffroy et Recous, 1999) pour construire des règles de décision basées sur les principes ci-dessus.

**La nouvelle méthode mise au point**, APPI-N, consiste en un suivi régulier de l'état azoté de la culture, dès lors que les conditions favorables à une bonne utilisation de l'engrais par les plantes sont observées (basées sur l'état hydrique du sol et la prévision de pluie dans les jours suivants). En s'appuyant sur une mesure indirecte de l'indice de nutrition azotée, on estime la dose à apporter de manière à respecter deux contraintes : (1) maintenir la culture au-dessus de la trajectoire plancher de l'INN jusqu'à la prochaine date du contrôle d'INN, garantissant l'absence de perte de rendement, et (2) limiter les pertes gazeuses d'azote à 20 kg N/ha.

**Finalement, la mise en œuvre du prototype a été testée** par deux groupes de dix agriculteurs, dans deux régions. Nous avons proposé aux agriculteurs d'utiliser le prototype pour déterminer les dates et doses d'engrais à apporter sur une bande-test au sein d'une parcelle de leur choix, le reste de la parcelle étant conduit avec la méthode utilisée habituellement. Nous avons demandé aux agriculteurs d'enregistrer toutes les informations utiles à leur prise de décision sur la bande-test, ainsi que leurs pratiques de fertilisation sur la bande et sur le reste de leur parcelle. Un debriefing collectif a permis de discuter des forces et faiblesses de la méthode proposée, observées lors de sa mise en œuvre par les agriculteurs. Ceux-ci ont mentionné des usages non prévus de la méthode, tels que le suivi de la dynamique de nutrition de la culture et de la fourniture du sol. De plus, beaucoup ont conclu sur l'intérêt de la méthode pour apprendre et progresser dans leurs pratiques, notamment pour comprendre les dynamiques d'N.

L'application de cette nouvelle méthode chez les agriculteurs a souvent permis des réductions de dose totale, et des apports retardés par rapport aux dates classiques. Les agriculteurs n'ont pas perçu de perte de rendement, ni de baisse de la teneur en protéines des grains. Des travaux sont en cours pour assurer le déploiement de la méthode, évaluer expérimentalement ses performances, et analyser les apprentissages qu'elle favorise.

### Références:

- Béguin P., 2003. Design as a mutual learning process between users and designers. *Interacting with Computers* 15, 709–730. doi:10.1016/S0953-5438(03)00060-2
- Cerf M., Jeuffroy M.H., Prost L., Meynard J.M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use of situations. *Agronomy for sustainable development*. 32(4):899-910.
- Hatchuel A., Weil B., 2009. C-K Design Theory: An Advanced Formulation. *Research in Engineering Design*, 19:181-192.
- Jeuffroy M.H., Recous S. 1999 Azodyn, a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *Eur.J. Agron.* 10, 129-144
- Le Masson P., Hatchuel A., Weil B., 2011. The interplay between creativity issues and design theories: A new perspective for design management studies? *Creativity and Innovation management*, 20(4): 217-237.
- Meynard J.M., Cerf M., Guichard L., Jeuffroy M.H., Makowski D., 2002. Which decision support tools for the environmental management of nitrogen. *Agronomie*. 22, 817-829.
- Ravier C., Jeuffroy M.H., Meynard J.M., 2015. Les travaux des GREN, révélateurs de controverses autour de la méthode du bilan. 12<sup>èmes</sup> rencontres Comifer-Gemas, 18-19/11/ 2015, Lyon
- 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 J. Life Sci.*, 79, 31-40.
- Ravier C., Meynard J.M., Cohan J.P., Gate P., Jeuffroy M.H., 2017a. Early nitrogen deficiencies favor high yield, grain protein content and N use efficiency in wheat. *Eur J Agr*, 89, 16-24.
- Ravier C., Jeuffroy M.H., Gate P., Cohan J.P., Meynard J.M., 2017b. Combining user involvement with innovative design to develop a radical new method for managing N fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, in press.