

ANALYSE ÉCOPHYSIOLOGIQUE ET GÉNÉTIQUE DE L'ABSORPTION D'AZOTE POST-FLORAISON CHEZ LE BLE TENDRE (*TRITICUM AESTIVUM L.*), EN RELATION AVEC LA CONCENTRATION EN PROTÉINES DES GRAINS¹

par François **Taulemesse**

Philippe **Gate**². – La concentration en protéines des grains (GPC) de blé est un critère qualitatif majeur qui conditionne la valeur économique et marchande de la récolte, pour la quasi-totalité des usages. En effet, la meunerie française mais aussi les fabricants d'alimentation du bétail, et les pays importateurs réclament des grains à teneurs en protéine élevées, souvent supérieures à 11.5. Le marché export, très porteur pour la balance commerciale de la France fait face à une concurrence de plus en plus forte, y compris pour ses clients historiques comme le pourtour méditerranéen. Pour rester compétitive, la France doit impérativement maintenir son volume de production tout en augmentant impérativement la teneur en protéine dans un contexte de production sous contraintes climatiques et réglementaires. Un tel contexte et le constat d'une érosion de la teneur en protéine depuis une quinzaine d'années, ont conduit les acteurs de la filière céréalière à mettre en place un « plan national protéine ». De plus, la Directive Nitrates impose l'encadrement des doses d'engrais sur la base de la méthode du bilan azoté avec un objectif de rendement déclaré par l'agriculteur, en fonction de ses rendements obtenus. Il apparaît nécessaire d'identifier des voies de progrès pour favoriser la teneur en protéine dans ce cadre réglementaire, car toutes doses supra-optimales pour augmenter spécifiquement l'azote des grains est exclue.

Parmi, les leviers à mobiliser, l'amélioration génétique des variétés est un axe à privilégier. Cependant, la forte relation négative existant entre la teneur en protéine et le rendement rend complexe l'amélioration simultanée de ces deux traits, et constitue un obstacle majeur en amélioration variétale pour répondre à la fois aux attentes sociales en termes de volume de production et aux attentes qualitatives des industriels. Néanmoins, pour de mêmes niveaux de rendement par hectare, certaines variétés concentrent néanmoins plus ou moins de protéine : la déviation robuste de certains génotypes vis-à-vis de cette relation négative (*Grain Protein Deviation* ; GPD), pour des aptitudes plus ou moins prononcées à accumuler des protéines dans les grains pour des niveaux identiques de rendement, suggère que le levier génétique puisse permettre d'améliorer la teneur en protéine sans impacter négativement le rendement. Du fait de sa nature comparative, l'intégration du critère GPD dans les programmes de sélection est une opération complexe nécessitant la détermination préalable de marqueurs plus simples à mesurer. Bien que les bases physiologiques du GPD soient encore mal connues, il a été montré que ce trait est lié à la capacité à absorber de l'azote au cours de la phase post-floraison indépendamment de la quantité d'azote absorbée à floraison. Cette observation suggère qu'une variabilité génétique de satiété pour l'azote puisse être à la base du GPD.

Les principaux objectifs de ces travaux de thèse, réalisés à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Clermont-Ferrand sous la direction de Dr Jacques Le Gouis, étaient de mieux comprendre les déterminismes physiologiques et moléculaires de l'absorption d'azote post-floraison en lien avec le statut azoté à floraison, afin de proposer des marqueurs du GPD potentiellement valorisables en sélection variétale. Pour cela, deux études ont été réalisées en conditions semi-hydroponiques, avec de l'azote marqué (pour distinguer et quantifier les sources d'approvisionnement en azote, remobilisations depuis les parties végétatives d'une part et absorption racinaire post-floraison, d'autre part) sur des génotypes robustement contrastés pour le GPD. Une troisième étude a été réalisée au champ afin de valider les hypothèses formulées.

Le premier volet de ces travaux de thèse est focalisé sur l'amélioration des connaissances des mécanismes régissant l'absorption d'azote post-floraison, notamment en lien avec le statut azoté des plantes à floraison. Une première expérimentation, conduite en conditions semi-hydroponiques, a permis d'établir

¹ Thèse de doctorat de l'Université Clermont-Ferrand 2, soutenue le 16/06/2015.

² Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France, directeur scientifique Arvalis-Institut du végétal.

des cinétiques fines d'absorption d'azote post-floraison par marquages ^{15}N courts sur des plantes présentant des statuts azotés contrastés à floraison. Ces cinétiques indiquent que l'absorption d'azote post-floraison peut être très forte et se traduire par des élévations de teneur en protéine significatives, supérieures à 1 point. Par ailleurs, l'absorption est soumise à des régulations complexes sous influences du statut azoté à floraison et de la demande en azote exercée par les organes en croissance. A l'échelle moléculaire, le gène TaNRT2.1 codant pour un transporteur de nitrate racinaire à haute affinité semble être un acteur majeur de l'absorption d'azote post-floraison. La forte relation négative observée entre la concentration racinaire de nitrate et le niveau d'expression de TaNRT2.1 suggère que ce gène puisse être directement ou indirectement régulé par l'abondance de nitrate dans les racines. Dans ce sens, l'état de satiété de la plante pour l'azote semble se traduire par une accumulation de nitrate dans les racines et une diminution de sa capacité d'absorption.

Le second volet de ces travaux de thèse est axé sur la recherche de déterminismes de la variabilité génétique d'absorption d'azote post-floraison. La comparaison de deux génotypes (cvs. Récital et Renan) robustement contrastés pour le GPD mais comparables en termes de précocité et de rendement a mis en évidence que la GPC à maturité est fortement corrélée à la quantité d'azote absorbée précocement après floraison (dans les 250°C jours-1 après floraison). Malgré des statuts azotés comparables à floraison, les deux génotypes présentent des concentrations racinaires de nitrate contrastées qui renforcent l'hypothèse de l'existence d'une variabilité génétique de satiété pour l'azote à statut azoté équivalent. Les faibles concentrations racinaires de nitrate observées chez Renan à la floraison sont associées à une poursuite d'accumulation de biomasse structurelle après floraison et une plus forte absorption post-floraison précoce et in fine une GPC supérieure. Cette poursuite de croissance végétative après floraison, positivement corrélée à l'absorption post-floraison précoce, est probablement le moteur du maintien d'un métabolisme azoté actif dans les jours qui suivent la floraison durant lesquels intervient la morphogénèse des grains.

Outre les aspects fondamentaux sur les processus physiologiques et moléculaires gouvernant l'absorption d'azote post-floraison, ces travaux ont permis de démontrer l'existence d'une variabilité d'absorption permettant d'augmenter la teneur en protéine sans nuire au rendement. Ces travaux proposent des marqueurs du GPD potentiellement utilisables en sélection variétale. Le plus pertinent est la concentration racinaire en nitrate à la floraison, marqueur potentiel de l'état de satiété de la plante à l'entrée de la phase critique d'établissement du GPC. De tels résultats ouvrent des pistes innovantes pour le pilotage de la fertilisation azotée : améliorer à doses équivalentes d'engrais azotés la teneur en protéine es grains en stimulant l'absorption post-floraison, sans effet dépressif sur le rendement et l'environnement. Egalement, ces travaux laissent entrevoir la possibilité d'intégrer le critère GPD aux programmes précoces de sélection par une approche basée sur des traits, qui ne pourra cependant être mise en œuvre qu'après validation de la robustesse des marqueurs proposés sur un panel génétique plus large.

Le mémoire de thèse est disponible à l'adresse suivante :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01229768/document>