

---

**DÉTERMINISME GÉNÉTIQUE ET ÉCOPHYSIOLOGIQUE DE LA VARIABILITÉ  
DES MASSES DE GRAINS INDIVIDUELS CHEZ LE BLÉ TENDRE (*Triticum aestivum*)  
*Sélectionner pour la moyenne ou sélectionner pour la variance ?*  
*Vers de nouveaux caractères cibles pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques***

Thèse d'Aurore **BERAL**<sup>1</sup>

Analysée par André **GALLAIS**<sup>2</sup>

**Directeur de thèse** : Jacques **LE GOUIS**, Directeur de Recherche INRAE, Clermont-Ferrand  
**Co-encadrants** : Vincent **ALLARD**, Chargé de Recherche INRAE, Clermont-Ferrand  
et Christine **GIROUSSE**, Ingénieure de Recherche INRAE, Clermont-Ferrand

L'agriculture doit faire face au changement climatique, qui se caractérise par des conditions climatiques souvent plus stressantes (manque d'eau et températures élevées à certaines périodes) mais aussi plus variables. Dans ce contexte, la thèse d'Aurore BERAL est une contribution importante et originale à la possibilité de sélectionner chez le blé tendre des variétés plus résilientes au changement climatique.

Chez le blé tendre, comme chez les autres céréales cultivées, le rendement en grain est la résultante de composantes : nombre d'épis/m<sup>2</sup>, nombre de grains/épi, nombre de grains/m<sup>2</sup> et poids de mille grains, ces deux dernières composantes étant liées négativement entre elles du fait d'un phénomène de compensation entre le nombre de grains et leur masse. Jusqu'à maintenant, le progrès génétique sur le rendement en grains a été principalement dû à l'augmentation du nombre de grains par m<sup>2</sup> (nombre d'épis par plante et nombre de grains par épi). Avec l'augmentation du risque de stress abiotiques (hautes températures et déficit hydrique) pendant la période de remplissage du grain, la régulation du poids de mille grains pourrait être une cible importante pour l'amélioration du rendement en grain et surtout de sa stabilité. Le poids de mille grains, comme les autres composantes de rendement, est classiquement évalué par sa valeur moyenne par prélèvement à l'échelle de la parcelle. Or, il existe une variabilité intra-génotypique importante des masses finales des grains individuels entre épis et au sein des épis. L'identification d'une telle variabilité selon les variétés, et son rôle dans la réponse aux stress abiotiques post-floraison, n'ont jamais été explorés. Le travail présenté dans la thèse d'Aurore BERAL a donc cherché à évaluer la possibilité de prendre en compte le poids de mille grains et sa variabilité intra-génotypique pour l'amélioration du

---

<sup>1</sup> Thèse de Doctorat de l'Université de Clermont-Auvergne, préparée à l'UMR « Génétique, Développement et Ecophysiologie des Céréales » UCA/INRAE, 234 Avenue du Brézet, 63000 Clermont-Ferrand, France, soutenue le 18 décembre 2020.

<sup>2</sup> Membre de l'Académie d'agriculture de France, Section 1 « Productions végétales ».

rendement en grain par une sélection sur le poids de mille grains en conditions de stress abiotiques post-floraison.

Aurore BERAL a réalisé un travail très important, avec une approche interdisciplinaire (agrophysiologie, génétique et amélioration des plantes) qui a demandé la détermination indirecte de la masse de nombreux grains individuels (*via* la surface projetée d'un grain), avec, pour certaines études, identification de leur position dans l'épi. Après une synthèse bibliographique très riche, un premier chapitre étudie la variabilité génétique de différents caractères (rendement en grains, nombre de grains par m<sup>2</sup>, nombre de grains par épi, poids de mille grains, variance de la masse de grains individuels), sur deux années consécutives et avec deux larges panels de génotypes (228 génotypes pour le panel de variétés élités françaises et 312 pour un panel de diversité mondiale) dans deux conditions hydriques. Cette étude montre une variabilité génétique de la variance de la masse des grains individuels qui apparaît ainsi comme un caractère héritable, donc sélectionnable. De plus, l'étude des relations entre caractères montre qu'il existe des différences génotypiques de masses de grains qui ne sont pas liées au « trade-off » entre le nombre de grains par m<sup>2</sup> et le poids de mille grains. L'analyse de génétique d'association des résultats a permis d'identifier des locus à effets quantitatifs (QTL) pour les différents caractères étudiés, notamment pour la variance de la masse des grains individuels, qui montre des QTL communs avec ceux du poids de mille grains, mais aussi des QTL spécifiques.

Un deuxième chapitre ouvre sur la recherche des bases physiologiques des différences génotypiques du poids de mille grains et de sa variation intra-génotypique. L'étude, réalisée en micro-parcelles, porte alors sur quatre cultivars (deux à forts poids de mille grains et deux à faible poids de mille grains). Cette étude a demandé un travail très important, avec l'évaluation indirecte du poids de chaque grain et l'identification de sa position dans l'épi et l'épillet. Le rôle de la position du grain dans la variation intra-génotypique du poids de mille grains est mis en évidence. Les grains du centre de l'épi sont plus gros que ceux de la base ou du sommet et au niveau d'un épillet, les grains proximaux (proches du rachis) ont des distributions spécifiques du cultivar alors que les grains distaux (éloignés du rachis) ont la même distribution pour les différents cultivars. Les mécanismes sous-jacents envisagés pour expliquer ces résultats sont la force de puits de chaque grain et la taille des faisceaux vasculaires.

Un troisième chapitre étudie la réponse de la masse des grains à un stress thermique post-floraison et donc la relation entre la variabilité intra-génotypique du poids de mille grains et le stress thermique pendant la phase de remplissage. L'expérimentation a été menée sur un seul génotype cultivé en chambre climatique, soumis à deux stress thermiques pendant la phase de remplissage du grain. Les résultats montrent bien des réponses variables au stress thermique en fonction de la position du grain au sein de l'épi et de l'épillet. La force du puits (taille des ovaires), et des décalages de stades phénologiques au niveau du grain, sont discutés comme mécanismes en cause, mais il y a d'autres mécanismes non identifiés.

En conclusion, l'ensemble des résultats montre que différents génotypes peuvent arriver à un même poids de mille grains à partir de distributions de masses de grains individuels différentes. Cette variabilité intra-génotypique est essentiellement déterminée par des différences dans la mise en place du nombre de grains par m<sup>2</sup>, mais aussi par un déterminisme génétique spécifique. La prise en compte explicite de l'échelle du grain individuel a permis d'affiner la compréhension des bases physiologiques de la variabilité génétique du poids de mille grains, en mettant en évidence des différences génotypiques de masses de grains

individuels indépendantes de la mise en place du nombre de grains par m<sup>2</sup> et variables selon la position du grain au sein de l'épi. L'étude à l'échelle du grain individuel a également révélé des réponses différentielles des grains individuels à un stress thermique post-floraison, selon leur position au sein d'un épi. Ces résultats expérimentaux sont complétés par des études de simulation qui reproduisent les grandes tendances observées, ce qui montre la pertinence des explications données.

Ainsi, les travaux d'Aurore BERAL montrent bien l'intérêt qu'il peut y avoir à prendre en compte non seulement la valeur moyenne du poids de mille grains mais aussi la variabilité du poids d'un grain pour rechercher du matériel génétique tolérant à des stress abiotiques post-floraison. Certes, le travail réalisé ne débouche pas directement sur la mise en évidence d'une relation entre la variabilité intra-génotypique du poids de mille grains et la stabilité du rendement, ni sur l'identification précise des caractères physiologiques à la base de cette variabilité, mais il ouvre bien les portes sur cette voie en montrant les possibilités d'une sélection de variétés de blé mieux adaptées au changement climatique avec une plus grande résilience aux variations de ce changement selon le stade et l'amplitude du stress hydrique ou thermique.

L'originalité du sujet de cette thèse, et les perspectives qu'elle offre, justifient que l'analyse de ces travaux impressionnants figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France à titre de valorisation.

**Mots clés :** *Triticum aestivum*, amélioration variétale, poids de mille grains, stress abiotiques post-floraison, variabilité intra-génotypique, masses de grains individuels, nombre de grains par m<sup>2</sup>, nombre d'épis, stabilité du rendement.

### **Publications à comité de lecture**

Beral A, Rincent R, Le Gouis J, Girousse C, Allard V (2020). – *Wheat individual grain size variance originates from crop development and from specific genetic determinism*. PLoS ONE 15 (3): e0230689. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230689>

A. Beral, C. Girousse, J. Le Gouis, V. Allard, G. Slafer (2021). – *Physiological bases of genotypic differences in average grain weight in wheat: scaling down from plot to individual grain in elite material*. (Soumis à la revue *Field Crops Research* le 06/08/2020)