

OFFRE DE THESE

Laboratoire d'accueil : UMR 1095 Génétique Diversité et Ecophysiologie des Céréales

Equipe d'accueil : Qualité des Grains (QualiGrain)

<https://www6.clermont.inrae.fr/umr1095/Organisation/Equipes-de-recherche/Qualite-des-Grains>

Mécanismes génétiques et moléculaires de la tolérance au réchauffement climatique en interaction avec la nutrition soufrée chez le blé tendre

Contexte

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est la culture céréalière la plus importante au monde en termes de superficies récoltées et d'échanges commerciaux. Il est principalement consommé sous forme de produits transformés et fournit environ 20 % des calories et des protéines totales du régime alimentaire humain. Sa transformation nécessite une bonne qualité technologique dont les déterminants principaux sont la teneur et la composition en protéines de réserve (PR) du grain (gluténines et gliadines) car celles-ci sont à l'origine du réseau de gluten. Ce réseau correspond à un macropolymère de gluténines liées par des ponts disulfures sur lequel se fixent les gliadines. L'équilibre entre les gliadines monomériques et les gluténines polymériques et, plus important encore, la distribution de la masse moléculaire de ces dernières influence fortement les propriétés rhéologiques des pâtes. Par ailleurs, la teneur en asparagine (Asn) libre dans le grain est le déterminant majeur de la formation d'acrylamide, potentiellement cancérigène, lors de la cuisson.

Outre l'effet du génotype, la nutrition en azote (N) et en soufre (S) de la plante et l'environnement impacte la synthèse des PR et leur polymérisation. En effet, la quantité d'N allouée à une fraction protéique donnée est fonction de la quantité d'N totale du grain. Comme les différentes PR diffèrent par leur richesse en acides aminés soufrés, la carence en S diminue la proportion des protéines riches en acides aminés soufrés et augmente celle des protéines pauvres en S, impactant le ratio gliadines/gluténines et la taille des polymères de gluténines. De plus, des études ont montré qu'une carence en S peut entraîner de fortes concentrations en Asn dans le grain mature. Le stress thermique qui entraîne au niveau cellulaire la production de Reactive Oxygen Species (ROS), est l'un des principaux stress abiotiques affectant la production et la qualité du blé. La qualité technologique diminue chez le blé soumis à un stress thermique. Le maintien de l'homéostasie redox dans des conditions de stress est donc essentiel pour la survie des plantes et le maintien de la qualité des grains.

Depuis quelques années, les recherches sur l'interaction entre la nutrition S et la tolérance aux stress abiotiques de cultures se sont multipliées. Des études récentes ont démontré l'effet bénéfique de l'application de S sur le rendement en grains lorsque les plantes étaient exposées à un déficit hydrique modéré ou à un stress thermique pendant la période de reproduction (Bonnot et al., 2023). Les métabolites contenant des thiols, tel que le glutathion, sont des modulateurs bien connus de la réponse environnementale. Le S permettrait de maintenir le statut redox des cellules. Des informations très limitées existent sur l'interaction variété x température x S et l'impact sur les qualités technologique et santé. De plus, le niveau global de l'interaction et les mécanismes en jeu ne sont pas connus.

Questions de recherche

Dans un contexte de changement climatique, incluant l'augmentation de la prévalence d'événements climatiques intenses, et de carences en S des sols dues à une baisse des dépôts atmosphériques, la qualité technologique et santé du blé devrait être modifiée. Le projet vise à évaluer les effets de la nutrition S sur l'adaptation du blé tendre au réchauffement climatique et le maintien de sa qualité. **Son objectif est de répondre à trois questions :** (i) Est-ce que la nutrition S peut atténuer l'impact négatif du stress thermique sur le rendement et la qualité (technologique et santé) du grain ? (ii) Quels sont les mécanismes moléculaires mis en jeu ? (iii) Existe-t-il une variabilité génétique des réponses ?

Démarche proposée

Pour évaluer l'effet de la nutrition S sur la tolérance du blé tendre au réchauffement climatique, deux expérimentations seront conduites : l'une en conditions contrôlées (chambres de culture, année 1) et l'autre au champ en conditions semi-contrôlées (UE PHACC, année 1). Pour chacune, 2 variétés contrastées pour la stabilité de la qualité seront testées. Six traitements avec deux périodes d'application du stress, une application ou non de S réalisée à floraison et les témoins correspondants sont prévus (figure). Le stress thermique sera appliqué pendant 10 jours, au cours de la phase précoce du développement du grain (3 jours après anthèse pour ne pas impacter le nombre de grains par épi) constituant le stade de croissance le plus sensible, puis lors d'une phase plus tardive de remplissage du grain (15 jours après anthèse). Dans les deux cas, des contraintes thermiques modérées, déjà testées dans l'unité, seront appliquées (29/23°C vs 21/15°C jour/nuit en conditions contrôlées ; Girousse et al., 2018 ; Touzy et al., 2022).

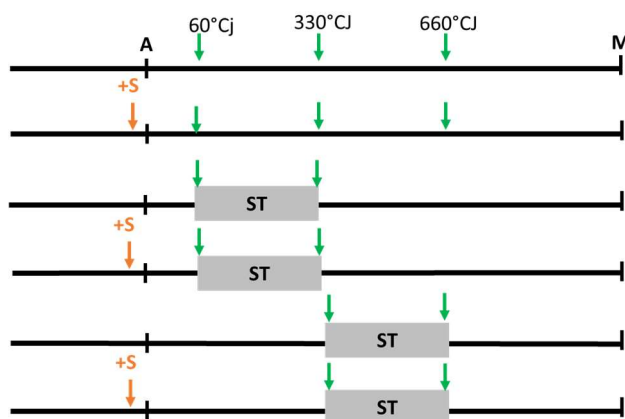


Figure : Plan expérimental

Le stress thermique (ST) est appliqué à 3 ou 15 jours après anthèse. Des grains seront récoltés : (i) à maturité et (ii) au cours développement à 60, 330 et 660°Cj correspondant aux stades avant et après les 10 jours de ST selon le traitement.

+S : apport de soufre, A: anthèse; M: maturité

Expérimentation en conditions contrôlées.

Les effets du stress et de la nutrition S, seuls ou en combinaison, seront évalués à maturité en mesurant les différentes composantes du grain : poids, teneur et composition en PR (CNS, RP-HPLC), taille des polymères de gluténines (SE-HPLC) et teneur en amidon. Concernant l'aspect santé, les teneurs en Asn libre dans la farine seront mesurées (plateforme Métabolome, Bordeaux).

Des prélèvements seront également effectués avant et après les périodes de stress afin d'identifier des acteurs moléculaires et des voies métaboliques impactés par le stress et/ou la nutrition soufrée. Afin d'avoir une vision globale de la réponse au niveau des grains, des analyses de protéomique (plateforme Proteogen, Université de Caen), de transcriptomique, du statut redox (formes du glutathion, H₂O₂, trolox, plateforme Redox à Bordeaux), de teneurs en acides aminés libres (plateforme Métabolome, Bordeaux) et en hormones seront réalisées. Ces données feront l'objet d'une étude intégrative *via* l'utilisation d'outils tels que le package R mixOmics. Une recherche de régulateurs clés (gènes, protéines, métabolites) pourra également être réalisée *via* la construction de réseaux de co-expression ou co-accumulation *via* l'outil RulNet développé dans l'équipe (Vincent et al., 2015; Bonnot

et al., 2020).

Expérimentation au champ en conditions semi-contrôlées.

Les conditions semi-contrôlées seront appliquées en utilisant des mini-tunnels mobiles permettant d'augmenter la température d'une micro-parcelle par effet de serre de façon ponctuelle, afin de simuler un stress thermique. Une implantation dans des lieux sud (par exemple UE DIASCOPE à Mauguio) sera envisagée avec 2 ou 4 géotypes (choisis en collaboration avec Limagrain). Nous pourrions également bénéficier des essais mis en place dans un réseau sud (une dizaine de variétés sur une dizaine de lieux) dans le cadre du projet FSOV "Comprendre l'effet du réchauffement climatique pour améliorer la stabilité de la qualité boulangère du blé" (accepté).

La qualité technologique des farines obtenues à partir des grains récoltés à maturité sera appréciée à l'aide de tests indirects (farinographe, alvéographe) et sera évaluée après transformation en pain par la réalisation de micropanification. Les différentes composantes du rendement comme le poids de mille grains ainsi que la teneur, la composition en PR, la taille des polymères, la teneur en amidon et en Asn libre seront également évalués.

Compétences et formation requise

Le ou la doctorant(e) doit être titulaire d'un diplôme de Master de Recherche 2 ou d'un diplôme d'ingénieur. Il devra posséder des connaissances en physiologie moléculaire végétale, en biochimie et biologie moléculaire. Pour mener à bien ce projet pluridisciplinaire et s'épanouir le/la doctorant(e) devra être curieux, rigoureux, organisé. Le/la doctorant(e) devra s'impliquer dans des analyses de terrain et il/elle sera amené(e) à réaliser des analyses chez Limagrain Ingrédients sous la supervision de Laurent Linossier (partenaire du projet). Une bonne maîtrise du logiciel R est également souhaitée. Une expérience dans l'analyse de données -omiques serait un plus.

Candidature et modalités de recrutement

Le/la candidat(e) sera inscrit à l'ED SVEA de l'université Clermont-Auvergne (UCA) pour les 3 ans de la thèse. Le financement du contrat doctoral est acquis (UCA- Isite CAP20-25).

Début de la thèse souhaité : octobre ou novembre 2023 pour une durée de 3 ans

Unité de rattachement : UMR 1095 GDEC (UCA-INRAE) ; l'unité est localisée sur 2 sites, l'un sur le campus universitaire des Cézeaux (Aubière) et l'autre sur le site INRAE de Crouël (Clermont-Ferrand). La thèse se déroulera sur ce dernier.

Directeur et encadrant de thèse : Jacques Le Gouis & Julie Boudet.

Candidature à adresser par mail [lettre de motivation + CV ; noms et mail pour lettres de recommandation ; les relevés de notes de M1 et M2] à jacques.le-gouis@inrae.fr & julie.boudet@uca.fr jusqu'au **11 août 2023**.

References

- Bonnot T.**, Bachelet F., Boudet J., Le Signor C., Bancel E., Vernoud V., Ravel C., Gallardo K. (2023) Sulfur in determining seed protein composition: present status on its interaction with abiotic stresses and future directions. *J Exp Bot.* Mar 22:erad098. doi: 10.1093/jxb/erad098.
- Bonnot T.**, Martre P., Hatte V., Dardevet M., Leroy P., Bénard C., Falagán N. Martin-Magniette M.L., Deborde C., Moing A., Gibon Y., Pailloux M., Bancel E., Ravel C. (2020) Omics Data Reveal Putative Regulators of Einkorn Grain Protein Composition under Sulfur Deficiency. *Plant Physiol.* Jun;183(2):501-516. doi: 10.1104/pp.19.00842.
- Girousse C.**, Roche J., Guerin C., Le Gouis J., Balzegue S., Mouzeyar S., Bouzidi MF. (2018) Coexpression network and phenotypic analysis identify metabolic pathways associated with the effect of warming on grain yield components in wheat. *Plos One* 13:e0199434
- Touzy G.**, Lafarge S., Redondo E., Lievin V., Decoopman X., Le Gouis J., Praud S. (2022) Identification of QTL affecting post-anthesis heat stress responses in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 135:947-964
- Vincent J.**, Martre P, Gouriou B, Ravel C, Dai Z, Petit J-M, Pailloux M (2015) RulNet: A web-oriented platform for regulatory network inference, application to wheat -omics data. *PLoS One* 10: e0127127