

## Nature et fonctionnalités des protéines du grain de blé

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 08.04.Q15

février 2024

**Mots clés :** blé, protéine, gluten, gliadine, gluténine, puroindoline, inhibiteur amylase/trypsine, viscoélasticité des pâtes, dureté des grains, maladie cœliaque

**Trois groupes de protéines ont des impacts majeurs sur la qualité d'usage du grain de blé :**

- les protéines du gluten qui déterminent la viscoélasticité de la pâte mais déclenchent également la maladie cœliaque chez les individus sensibles,
- les puroindolines qui sont des déterminants majeurs de la texture du grain (" hard " ou " soft "),
- les inhibiteurs d'amylase/trypsine qui sont responsables de la sensibilité non cœliaque aux farines de certains consommateurs.

### Un peu d'Histoire

Les travaux sur les protéines du blé ont surtout été consacrés à la compréhension des propriétés de viscosité, d'extensibilité et d'élasticité des pâtes obtenues après malaxage d'une farine en présence d'eau. L'objectif était de créer des variétés mieux adaptées à leur usage (fabrication de pains, biscuits et autres produits céréaliers) et d'optimiser les procédés de fabrication.

Les premières études systématiques ont été réalisées par Thomas Burr Osborne (1859-1929), qui a proposé de classer les protéines du blé en quatre familles, en fonction de leur solubilité dans l'eau (albumines), dans les solutions salines (globulines) et l'éthanol (gliadines), ou dans les protéines résiduelles insolubles constituant la famille des gluténines. Dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, une connaissance plus fine de ces protéines a été rendue possible avec l'invention de nouvelles méthodes d'analyses : électrophorèse sur gel d'amidon puis sur gel de polyacrylamide, électrophorèse bidimensionnelle, chromatographie liquide à haute performance, séquençage automatisé de la composition en acides aminés et de l'ADN. Ces dernières années, le développement de la génomique et de la protéomique a permis de disposer d'une grande quantité d'informations sur les séquences d'acides aminés des variantes alléliques des protéines, ainsi que sur l'expression de leur polymorphisme.

Cependant, la connaissance des structures tridimensionnelles des protéines demeure encore insuffisante pour relier leurs structures à leurs fonctions, et comprendre leurs impacts sur le système immunitaire.

### Protéines du gluten et viscoélasticité des pâtes

Les protéines du gluten agissent de manière déterminante sur les propriétés viscoélastiques des pâtes (et donc sur l'aptitude des blés à la panification ou à la biscuiterie) ; elles sont dues à la formation d'un réseau tridimensionnel continu entre les protéines, stabilisé par des forces covalentes et non covalentes, lorsque la farine de blé est mélangée à de l'eau pour former une pâte.

### Le gluten

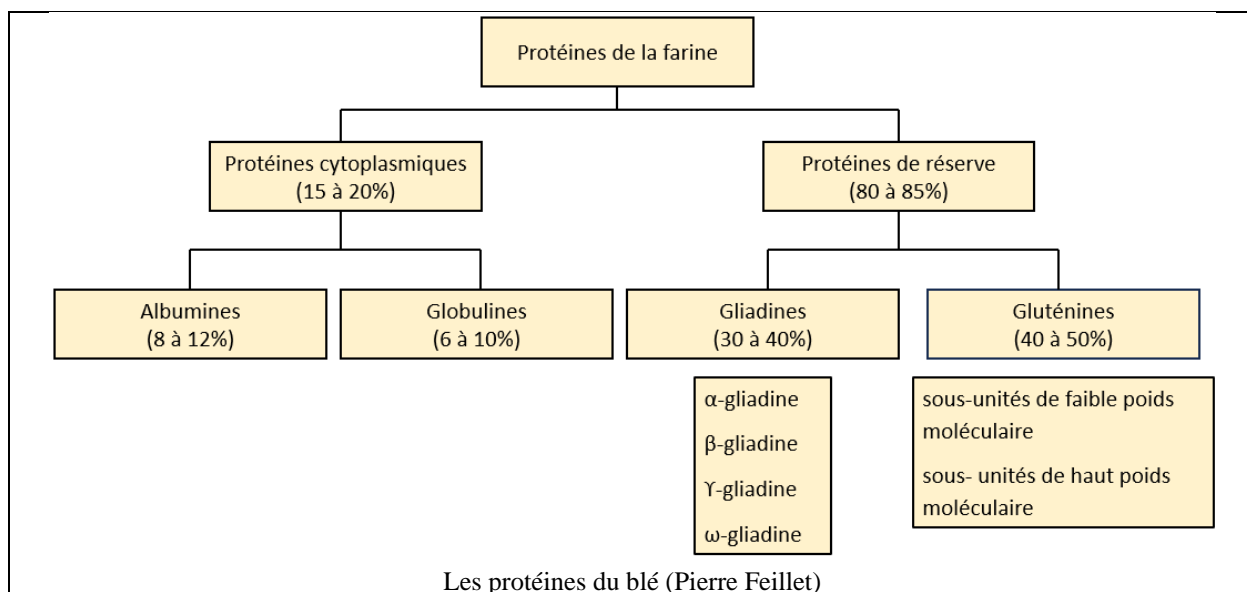
Le gluten est un mélange complexe de 50 à 100 protéines individuelles divisées en deux groupes : les gliadines monomères (ou prolamines) et les gluténines polymères (ou glutélines). Les premières sont subdivisées en  $\alpha$ -gliadines,  $\gamma$ -gliadines et  $\omega$ -gliadines ; les secondes sont constituées de sous-unités de faible poids moléculaire (LMW-GS)<sup>1</sup> et de haut poids moléculaire (HMW-GS)<sup>2</sup>.

Les séquences de ces protéines sont connues. Les polymères de gluténine sont stabilisés par des liaisons disulfures interchaînes covalentes. La masse moléculaire des polymères de gluténine se situe entre 100 000 et

<sup>1</sup> Low molecular weight-glutenin subunit = sous-unité gluténine de faible poids moléculaire.

<sup>2</sup> High molecular weight-glutenin subunit = sous-unité gluténine de haut poids moléculaire.

150 000 (oligomères,) et entre 1 et 2 millions (polymères au sein desquels sont incluses les HMW-GS). Le gluten contient également des agrégats de plus grande taille incluant gluténines et gliadines au sein desquels les liaisons hydrogène sont dominantes.



### **Viscosité, extensibilité et élasticité des pâtes**

La viscosité des pâtes est due à des liaisons non covalentes entre monomères et polymères, principalement des liaisons hydrogène entre les résidus glutamine (ceux-ci comptent pour 20 à 50 % des acides aminés des protéines du gluten considérées individuellement) régulièrement disposés dans les domaines répétitifs des protéines.

L'extensibilité de la pâte résulte d'un glissement entre les gliadines liées de manière non covalente et les polymères de gluténine lorsqu'une force est appliquée.

Les bases moléculaires de l'élasticité sont moins bien comprises. Deux mécanismes ont été proposés :

- le premier est que les molécules HMW-GS sont intrinsèquement élastiques et agissent comme un "ressort moléculaire" ;
- le second est que les liaisons hydrogène entre protéines adjacentes contribuent à l'élasticité.

De plus, l'importance des liaisons disulfures interchaînes est avérée, car l'élasticité est perdue si celles-ci sont réduites : elles s'étirent lorsqu'une force est appliquée, entraînant un recul lorsque la force est relâchée. Ainsi, l'élasticité des pâtes serait tributaire des différences observées dans les séquences des domaines répétitifs riches en glutamine des protéines du gluten, ainsi que dans la distribution des résidus de cystéine et leur capacité à former des liaisons disulfures interchaînes.

Par ailleurs, la quantité de gluténines extraites sous forme de gel hydraté, qualifié de *macro-polymère de gluténine*, est corrélée à l'aptitude des farines à la panification.

### **Apports de la génétique**

Des corrélations entre la qualité panifiable des farines et les formes alléliques des sous-unités de gluténines sont bien établies. La présence de certaines HMW-GS – qualifiées de bonne qualité – est associée à des proportions accrues de polymères de gluténine de masse moléculaire élevée ; deux d'entre elles ont un nombre élevé de résidus de cystéine comparativement à celles associées à une mauvaise qualité. Cette richesse en résidus cystéine peut entraîner une réticulation, et donc une élasticité, plus élevée.

Ces corrélations ne fournissent pas d'explications pour la totalité des associations rapportées entre les sous-unités HMW et la qualité du grain ; il est donc probable que des différences plus subtiles dans les séquences d'acides aminés des HMW-GS contribuent également à la qualité, par exemple en affectant la formation de liaisons hydrogène non covalentes.

Des modifications ciblées de la composition des gliadines et des gluténines – faisant appel aux méthodes récentes des biotechnologies végétales – devraient permettre de mieux comprendre les relations structure-fonctionnalité du gluten. Cependant, il est probable que la mise en œuvre de celles faisant appel à la

transgénèse ou à la réécriture (ou édition) du génome ne permettra d'améliorer qu'à la marge la qualité du gluten. Celle-ci a en effet déjà été très significativement améliorée au cours des cent dernières années de sélection végétale.

### **Puroindolines et dureté des grains**

Les puroindolines sont des protéines de poids moléculaires d'environ 13 kDa<sup>3</sup> contenant 5 liaisons disulfures et un domaine riche en tryptophane. Elles sont classées en puroindolines "a" ou "b" selon que 5 ou 3 tryptophanes sont présents dans les séquences Trp.Arg.Trp.Trp.Lys.Trp.Trp.Lys ou Trp.Pro.Thr.Lys.Trp. (Trp pour tryptophane et Lys pour lysine).

Plusieurs études ont montré l'implication des puroindolines dans le déterminisme de la dureté des grains, qui elle-même conditionne la valeur meunière (comportement du blé au cours de la mouture).

Dans un premier temps, une corrélation a été trouvée entre la friabilité des grains et la présence de 2 protéines localisées en surface des granules d'amidon et nommées de ce fait friabilines ; par la suite, il a été démontré que la texture des grains est liée à des mutations affectant l'expression ou les séquences des puroindolines. Le caractère tendre (*soft*) d'un grain est lié à la présence des allèles primitifs, alors qu'une série de mutations provoque l'apparition d'un caractère de plus en plus dur (*hard*). Ces mutations sont très nombreuses, mais les plus significatives sont la délétion du gène de la puroindoline "a" et la substitution d'un seul acide aminé (le remplacement de la glycine en *position 46*<sup>4</sup> par la sérine) dans la puroindoline "b". Ces mutations expliquent les trois quarts de la variation de la texture des grains de blé, la présence de lipides polaires libres étant un autre facteur à prendre en compte.

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer l'impact des puroindolines sur la dureté des grains ; toutes reposent sur de possibles interactions entre les puroindolines, les granules d'amidon, les protéines de gluten et les lipides polaires. Aucune d'entre elles n'a été confirmée.

### **Maladie cœliaque, allergies et intolérances aux protéines du blé**

La maladie cœliaque, qui affecte 1 % de la population mondiale, est due à une intolérance aux protéines du gluten provoquée par une réaction auto-immune déclenchée par une quarantaine de courtes séquences peptidiques (neuf acides aminés) identifiées chez le blé et les céréales apparentées (seigle, avoine...).

Compte tenu de la complexité des familles multigéniques des protéines du gluten et du nombre de gènes concernés, les travaux reposant sur la réécriture du génome pour créer des variétés sans "effet cœliaque" seront longues et sans garantie de réussite. En outre, les farines obtenues devraient être plus chères et peu aptes à la panification. À terme prévisible, les personnes souffrant de la maladie cœliaque devront donc continuer à éviter la consommation d'aliments contenant du gluten.

Les intolérances non cœliaques au gluten font l'objet de nombreuses études depuis quelques années. Elles se traduisent par des symptômes variés : troubles gastro-intestinaux, fatigue, maux de tête, dermatites, douleurs musculaires et articulaires, dépression, anxiété, anémie. La plupart sont autodiagnostiquées.

De ce fait, leur prévalence est difficile à déterminer, et les estimations varient considérablement (1 % à 10 % de la population). Elles seraient dues à la présence d'inhibiteurs dans la farine de protéases et d' $\alpha$ -amylases des mammifères et d'insectes (les  $\alpha$ -amylases endogènes du blé ne sont pas inhibées). Ces inhibiteurs sont des protéines hydrosolubles de masse moléculaire comprise entre 10 000 et 16 000, du groupe des albumines, présentes dans le grain sous forme de monomères, de dimères et tétramères ; ils représentent 2 % à 4 % des protéines totales du grain ; leur nombre dans des génotypes uniques s'élèverait jusqu'à 19. Leur présence dans les grains conférerait à ces derniers une faible résistance aux ravageurs et aux agents pathogènes.

Les allergies au gluten sont plus rares (0,25 % de la population serait sensible) et généralement mineures, à l'exception de réactions parfois sérieuses aux allergènes  $\omega$ 5-gliadine ; elles ont tendance à intervenir chez les enfants, puis à disparaître.

---

<sup>3</sup> Kilodalton : unité de masse moléculaire égale à 1 000 dalton, unité de mesure utilisée pour exprimer la masse des atomes et des molécules.

<sup>4</sup> En 46<sup>e</sup> position sur la chaîne protéique, à partir de l'extrémité N-terminale (celle qui porte un groupe amine libre).

Une trentaine de protéines différentes ont été identifiées comme responsables. Au moins sept formes d'inhibiteurs amylase/trypsine déclencheraient également *l'asthme des boulangers*, maladie professionnelle qui se manifeste par une réaction allergique des voies respiratoires à l'inhalation de farine et de poussière.

Pierre FEILLET, membre de l'Académie d'Agriculture de France

#### **Ce qu'il faut retenir :**

En dépit d'un siècle de recherches, les connaissances sur la structure, la fonctionnalité et l'impact sur la santé des protéines du blé demeurent limitées. Les spécialistes n'ont toujours pas compris comment les protéines individuelles de gliadine et de gluténine s'assemblent pour former des polymères et des macropolymères (agrégats d'ordre supérieur), comment ces assemblages sont contrôlés par des facteurs génétiques et environnementaux et comment les structures formées déterminent les propriétés de la pâte.

En termes de santé, il reste à comprendre comment les inhibiteurs amylase/trypsine et les protéines du gluten déclenchent des allergies ou des intolérances chez les individus sensibles. Ce n'est qu'à cette condition que les généticiens pourront alors probablement éliminer ou inactiver les épitopes responsables de ces effets néfastes. Avec pour effet un arrêt de la baisse de la consommation d'aliments à base de blé observée dans de nombreux pays.

#### **Pour en savoir plus :**

- Peter SHEWRY : *Wheat grain proteins : Past, present and future*, Cereal Chemistry, 2023, 100, 9-22.  
<https://doi.org/10.1002/cche.10585>