

Influence de la fumure azotée et de son fractionnement sur la qualité boulangère du blé

Cécile Brabant et Lilia Levy Häner

Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Cécile Brabant, e-mail: cecile.brabant@agroscope.admin.ch



Depuis le début du 20^e siècle, la qualité boulangère a toujours été un des premiers objectifs du programme de sélection blé d'Agroscope.

Introduction

Les variétés suisses ont la particularité de posséder un taux de protéines et une qualité boulangère élevée. Elles appartiennent essentiellement aux classes Top et I, les classes de qualité les plus élevées dans le système swiss

granum. En effet, depuis le début du 20^e siècle, la qualité boulangère a toujours été un des premiers objectifs du programme de sélection blé d'Agroscope. En France, les variétés suisses sont le plus souvent classées comme blé améliorant ou de force (qualité BAF).

Mais, selon les années, on observe en Suisse des taux de protéines instables, qui peuvent descendre assez bas (fig. 1). Ce constat s'explique tout d'abord par des conditions climatiques certaines années (excès d'eau ou sécheresse) qui perturbent l'absorption d'azote (lessivage précoce des nitrates en sol superficiel, limitation de la minéralisation du sol, perturbation du fonctionnement racinaire). L'effet du climat sur la teneur en protéines du grain a été estimé par Arvalis (2013) à +/- 0,5 à 2% de protéines.

L'instabilité du taux de protéines est aussi visible dans les pays européens (Arvalis 2014) et particulièrement en France et en Allemagne (fig. 1). Depuis 2001, la variation du taux de protéines est plus forte en Suisse qu'en France ou en Allemagne. Cela peut s'expliquer par des normes de fumure azotée plus basses en Suisse (140 kg N/ha à 160 kg N/ha selon le rendement visé; Richner et al. 2010). L'agriculteur suisse possède donc moins de moyens pour corriger cette diminution des protéines.

Le faible taux de protéines obtenu au cours des années défavorables pose problème à certains utilisateurs qui ont besoin de blé riche en protéines pour la réalisation de certaines panification, comme par exemple des pains en pousse froide, des pains ou croissants surgelés ou des panification plus intensives. Depuis 2009, les utilisateurs ont augmenté leurs exigences concernant la teneur en gluten humide, critère qui détermine la classe de qualité des variétés inscrites dans la liste recommandée (Kleijer et al. 2011).

Pour améliorer le taux de protéines des récoltes, les moulins paient depuis 2015 les récoltes des blés de classe TOP aux centres collecteurs sur la base de leur teneur en protéines. La branche céréalière a mis en place un système de bonus/malus pour les récoltes qui s'écartent de la bande 12,5%–14,0% de teneur en protéines (Sondegger et Scheuner 2014).

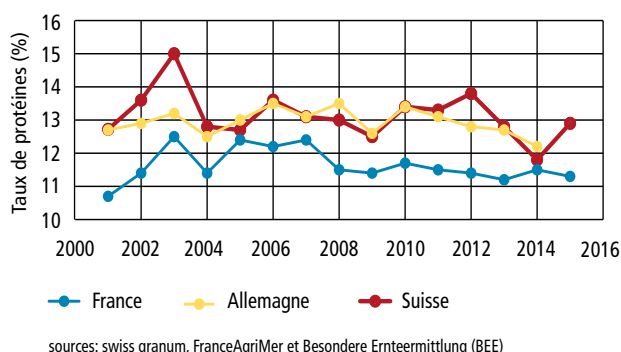


Figure 1 | Evolution de la teneur moyenne en protéines (%) des récoltes suisse, française et allemande au cours des 15 dernières années. Pour la Suisse, il s'agit des résultats provenant du recensement de la qualité des récoltes auprès de 21 centres collecteurs.

Cette étude a été réalisée de 2011 à 2013 afin de pouvoir aider les agriculteurs et les boulangers dans l'amélioration des taux de protéines. Un premier article publié dans cette même édition montre comment la fumure azotée (dose et fractionnement) peut influencer le taux de protéines et le rendement en grain dans les conditions de production en Suisse (Levy et Brabant 2016). Ce deuxième article décrit l'influence de la fumure azotée (principalement du stade et de la dose du troisième apport) sur la qualité rhéologique et sur l'aptitude à la panification du blé.

Matériel et méthodes

Les essais ont été réalisés en conditions extenso, c'est-à-dire sans raccourcisseur ni fongicide, à Changins, avec irrigation après les apports azotés, et à Goumoëns, sans irrigation. Le dispositif expérimental est décrit de façon détaillée dans le premier article (Levy et Brabant 2016). Il comprenait six variétés de diverses qualités boulangères, dont quatre ont été prises en compte dans cet article: Runal et CH Claro (classe TOP), CH Combin (classe 1) et Premio (classe 2). Huit procédés azotés ont été mis en place et sept d'entre eux ont été retenus:

- P1: 0, sans apport d'azote
- P2: 60-80 kg N/ha, procédé simplifié sans 3^e apport
- P3: 40-60-40 kg N/ha DF, avec un 3^e apport au stade dernière feuille
- P4: 40-60-40 kg N/ha FLO, avec un 3^e apport plus tardif au stade floraison
- P5: 20-40-80 kg N/ha DF, avec un 3^e apport plus élevé au stade dernière feuille
- P6: 20-40-80 kg N/ha FLO, avec un 3^e apport plus élevé au stade floraison
- P8: 20-40-140 kg N/ha FLO, procédé intensif de 200 kg N/ha, avec un apport tardif élevé au stade floraison.

Résumé ■ Certains types de panification nécessitent des teneurs en protéines élevées et des qualités rhéologiques bien définies. Le taux de protéines des variétés de blé suisses est élevé, mais il varie beaucoup et s'avère insuffisant certaines années pour la panification. Une étude a été menée de 2011 à 2013 sur quatre variétés de blé et sept procédés de fumure azotée. Il s'agissait d'une part d'analyser l'influence de la fumure azotée (dose et fractionnement) sur le taux de protéines et d'autre part d'examiner la relation entre le taux de protéines et les critères rhéologiques et de panification des variétés. Le fractionnement en trois apports azotés (au lieu de deux) augmente significativement la teneur en gluten humide, mais aussi ses propriétés qualitatives. Un fractionnement de 20-40-80 kg N/ha, avec un dernier apport au moment de l'apparition de la dernière feuille, est idéal pour augmenter la teneur en gluten humide sans affecter la qualité rhéologique ni le rendement. Ce fractionnement peut être préconisé pour la culture des variétés de la classe TOP.

Les résultats montrent aussi qu'une augmentation de la teneur en protéines n'améliore pas forcément la qualité du gluten, car plusieurs paramètres stagnent ou diminuent avec l'intensification de la fumure azotée. Ce constat peut s'expliquer par la stagnation de la proportion des gluténines, ainsi que par une diminution des gliadines au profit des albumines et globulines.

Quel que soit le procédé azoté utilisé, la variété Runal obtient toujours les meilleurs taux de protéines. Malgré des teneurs en protéines plus faibles, la variété CH Claro obtient des résultats équivalents à Runal dans les tests rhéologiques et de panification.

Les procédés P2, P3, P4, P5 et P6 apportent tous 140 kg N/ha. Le choix des différents procédés azotés est basé sur la pratique existante en Suisse et sur des résultats d'essais français (A.D.A. 2011; Triboï et Triboï-Blondel 2002) portant sur l'effet des apports azotés sur le taux de protéines.

Dix paramètres de qualité ont été mesurés par le laboratoire d'Agroscope (Kleijer 2002):

- le taux de protéines par spectrométrie en proche infrarouge (NIRS Büchi)
- le taux de gluten humide (méthode ICC 137) et l'indice de gluten (ICC 155) par le Glutomatic
- l'indice de Zeleny (ICC 116/1)
- l'absorption d'eau, la résistance et la perte au pétrissage par le farinographe (ICC 115/1)
- la force, l'extensibilité et la ténacité de la pâte par l'extensographe (ICC 114/1).

Trois tests de panification différents ont été effectués (fig. 2): des pains en moule par le laboratoire d'Agroscope, des grands pains d'un kilogramme par l'École professionnelle de boulangerie Richemont et des pains en pousse froide par un laboratoire en Allemagne. Les volumes ont été mesurés sur ces trois types de pain et une taxation comprenant dix critères a été réalisée par l'école de Richemont sur les pains en grand (fig. 3).



Figure 2 | Trois tests de panification: pain en moule (A), pain en grand (B) et pain en pousse froide (C).

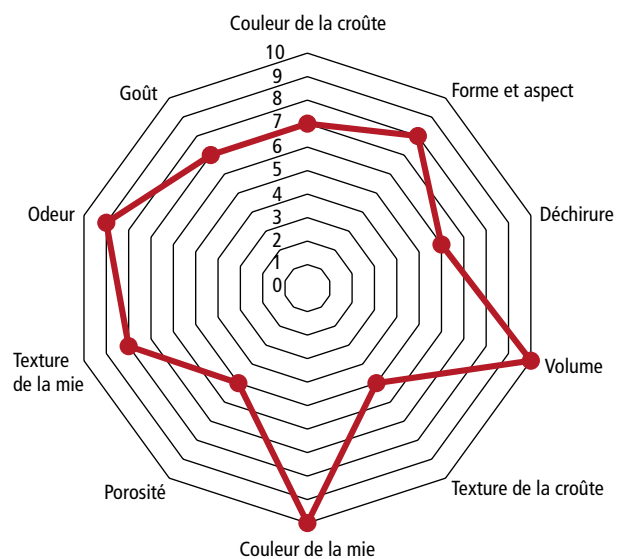


Figure 3 | Paramètres observés lors de la taxation des pains par l'École de Richemont. Chaque paramètre est apprécié par une note de 1 à 10 points (note finale maximale 100 points). Les notes représentées ici sont celles de la variété Runal pour le procédé P3 en 2013.

En complément de ces tests, des analyses de SE-HPLC (Morel *et al.* 2000) quantifiant les différentes protéines du blé ont été réalisées par le laboratoire d'Agroscope.

L'analyse du taux de protéines a été réalisée au niveau de la parcelle. Les tests rhéologiques, les tests de panification en moule et en pousse froide et les SE-HPLC ont été effectués sur le mélange des trois répétitions. Les tests de panification en grand ont été conduits sur le mélange des trois répétitions et des deux lieux.

Les analyses de variances et les tests de comparaison Newman-Keuls ont été effectués avec le logiciel Sigma stat.

Résultats et discussion

Taux de protéines

Dans cinq milieux sur six, le **taux de protéines** a réagi de façon comparable aux différents procédés de fumure azotée. Le taux de protéines mesuré dans le procédé P1 (sans fumure azotée) est inférieur de plus de 2% au taux mesuré dans tous les autres procédés. Pour une même quantité d'azote de 140 kg N/ha (P2 à P6), un dernier apport tardif à la floraison a permis d'augmenter le taux de protéines comparativement à un dernier apport plus précoce (fig. 4A). Nous avons pu mesurer une augmentation significative du taux de protéines de 0,43% (en valeur absolue) entre les procédés P3 et P4, de 0,62% entre les procédés P5 et P6 et de 0,37% entre les procédés P4 et P6. Avec une météo favorable favorisant une bonne valorisation de l'azote apporté tardivement, on peut gagner 0,5% de protéines en fraction-

nant 140 kg N/ha de façon à apporter 80 kg/ha à floraison (P6). Le procédé P8 (200 kg N/ha/an, avec 140 kg N/ha à la floraison) a toujours conduit au taux de protéines le plus élevé.

Quel que soit le procédé azoté utilisé, la variété Runal possède toujours le meilleur taux de protéines, suivie ensuite par ordre décroissant de CH Claro, CH Combin et Premio.

Dans un des six milieux (Goumoëns 2013), le taux de protéines a diminué de façon inattendue entre les procédés P3 et P4 (-0,8%) et les procédés P5 et P6 (-2,6%). Dans ce milieu, l'azote apporté à la floraison a été appliqué sur un sol sec et filtrant et aucune pluie n'a suivi l'apport. On peut supposer que dans ce cas, l'azote du dernier apport n'a pas pu être assimilé par les plantes ou en tout cas qu'il n'a pas été valorisé par les grains.

Pour résumer, on peut dire que, dans de bonnes conditions, un troisième apport tardif à floraison augmente le taux de protéines, mais qu'il n'est pas recommandé dans la pratique, car il engendre trop de risques pour l'agriculteur, à la fois écologiques et financiers.

Tests rhéologiques

Les résultats obtenus pour le taux de **gluten humide** (fig. 4B) sont assez semblables à ceux mesurés pour le taux de protéines. Le procédé P1 se distingue par une teneur nettement inférieure. Les apports tardifs d'azote augmentent le taux de gluten humide. Le procédé P6 (140 kg N/ha avec un apport tardif à la floraison de 80 kg N/ha) permet de gagner 3,5% par rapport au procédé P3. A la différence du taux de protéines, le gluten humide

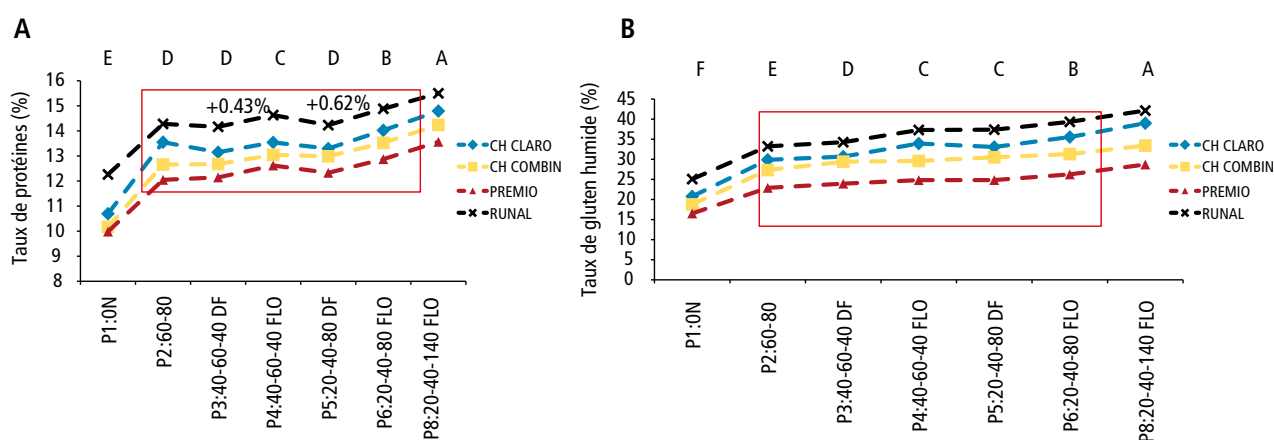


Figure 4 | Effet du procédé azoté et de la variété sur les taux de protéines (A) et de gluten humide (B) en moyenne de cinq milieux (Changins 2011–2013 et Goumoëns 2011–2012). Les résultats de 2013 à Goumoëns, très différents de ceux observés dans les cinq autres milieux, ne sont pas pris en compte dans le calcul des moyennes (voir explications dans le texte). Les procédés ayant reçu 140 kg N/ha sont encadrés en rouge. Les lettres majuscules indiquent les différences significatives ($P < 0,05$) entre les moyennes des procédés azotés.

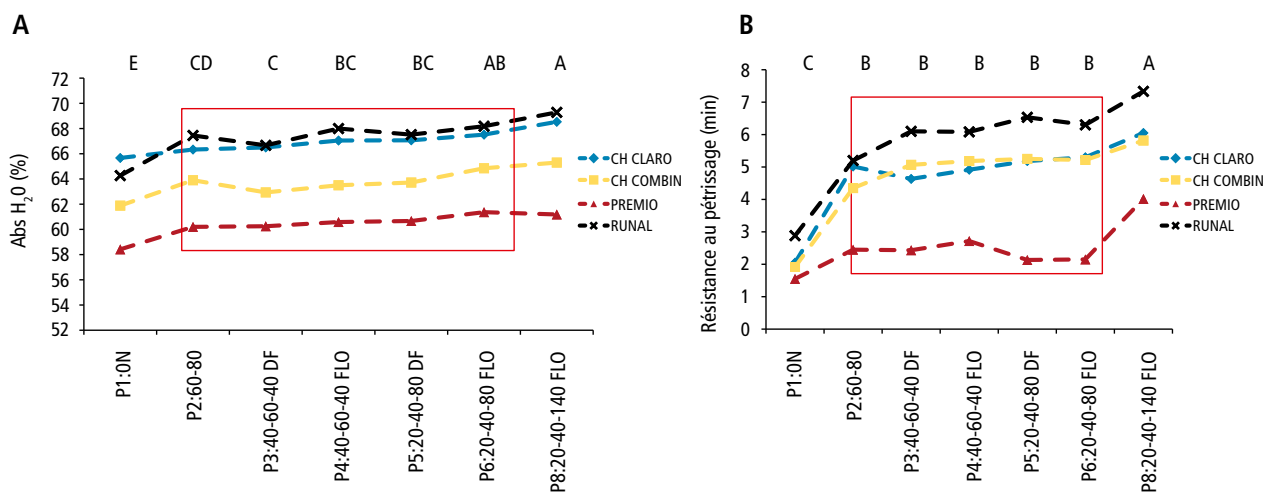


Figure 5 | Effet du procédé azoté et de la variété sur le taux d'absorption d'eau (A) et la résistance au pétrissage (B) en moyenne des six milieux (Changins 2011–2013 et Goumoëns 2011–2013, considérés comme des répétitions dans les analyses de variances). Les procédés ayant reçu 140 kg N/ha sont encadrés en rouge. Les lettres majuscules indiquent les différences significatives ($P < 0,05$) entre les moyennes des procédés azotés.

augmente significativement (+1,2%) entre les procédés P2 et P3. Ainsi, le fractionnement en trois apports (au lieu de deux) augmente significativement la teneur en gluten humide. De plus, le taux du procédé P5 est significativement plus élevé que celui du procédé P3. Un apport plus important au moment de l'apparition de la dernière feuille (80 kg N/ha au lieu de 40 kg N/ha) augmente significativement (+1,9%) la teneur en gluten humide. Cette différence a toute son importance car le procédé P5 permet ainsi d'augmenter le taux de gluten humide sans faire encourir le risque de non assimilation de l'azote par la culture à l'agriculteur.

Le taux d'absorption en eau (fig. 5A) et **la résistance au pétrissage** (fig. 5B), mesurés au farinographe, sont plus bas dans le procédé P1 que dans tous les autres procédés. Les différences entre les procédés P2 à P6 sont faibles, mais le procédé P8 obtient des valeurs significativement plus élevées. Il est connu que le taux de protéines a une forte influence sur ces deux paramètres.

A l'inverse des paramètres liés aux taux de protéines, **l'indice de gluten** (fig. 6A) et donc la qualité du gluten, diminue significativement en cas d'apport élevé d'azote à la floraison (P8) (fig. 6). **L'indice de Zeleny** (fig. 6B) augmente significativement entre les procédés P1 et P2, entre P2 et P3 ainsi qu'entre P3 et P4. Ainsi, le fractionnement en trois apports azotés au lieu de deux ainsi qu'un dernier apport tardif améliorent la qualité des protéines. Mais, les procédés P5 à P8, avec un dernier apport plus important, ne conduisent pas à une augmentation de l'indice de Zeleny. Cette stagnation est aussi visible pour la **force de la pâte** (fig. 6C) et **l'extensibilité** de la pâte (fig. 6D). Ainsi, la quantité de

protéines supplémentaires obtenue par une intensification de la fumure azotée n'améliore pas la qualité du gluten.

Pour l'indice de gluten, l'indice de Zeleny et l'extensibilité de la pâte, les variétés réagissent de la même manière aux différents procédés. Pour la force de la pâte, on constate une interaction entre le procédé azoté et la variété. Le procédé P8, le plus intensif, permet d'améliorer la force de la pâte des variétés CH Combin et Premio et de réduire ainsi l'écart par rapport aux deux autres variétés.

Pour de nombreux tests rhéologiques (indice de Zeleny, index de gluten, extensibilité de la pâte), CH Claro et CH Combin obtiennent des résultats proches de Runal, malgré un taux de protéines plus faible, et cela quel que soit le procédé azoté.

Tests de panification

Le volume du **pain en moule** augmente progressivement avec l'intensification de la fumure azotée (fig. 7A).

Le volume des **pains en pousse froide** (fig. 7B) augmente significativement entre P1 et P2 ainsi qu'entre P2 et P3, grâce à un fractionnement en trois apports azotés au lieu de deux. Ce volume ne varie plus de façon significative entre les procédés P3 à P8. Ce résultat ne confirme pas le fait que le taux de protéines jouerait un rôle important, selon les boulangers, pour ce type de panification.

Le volume des **grands pains** (fig. 7C) est davantage influencé par les différents procédés azotés. Le volume augmente significativement avec un fractionnement en trois apports et lorsque le dernier apport est amené au stade floraison. Les courbes obtenues sont proches de

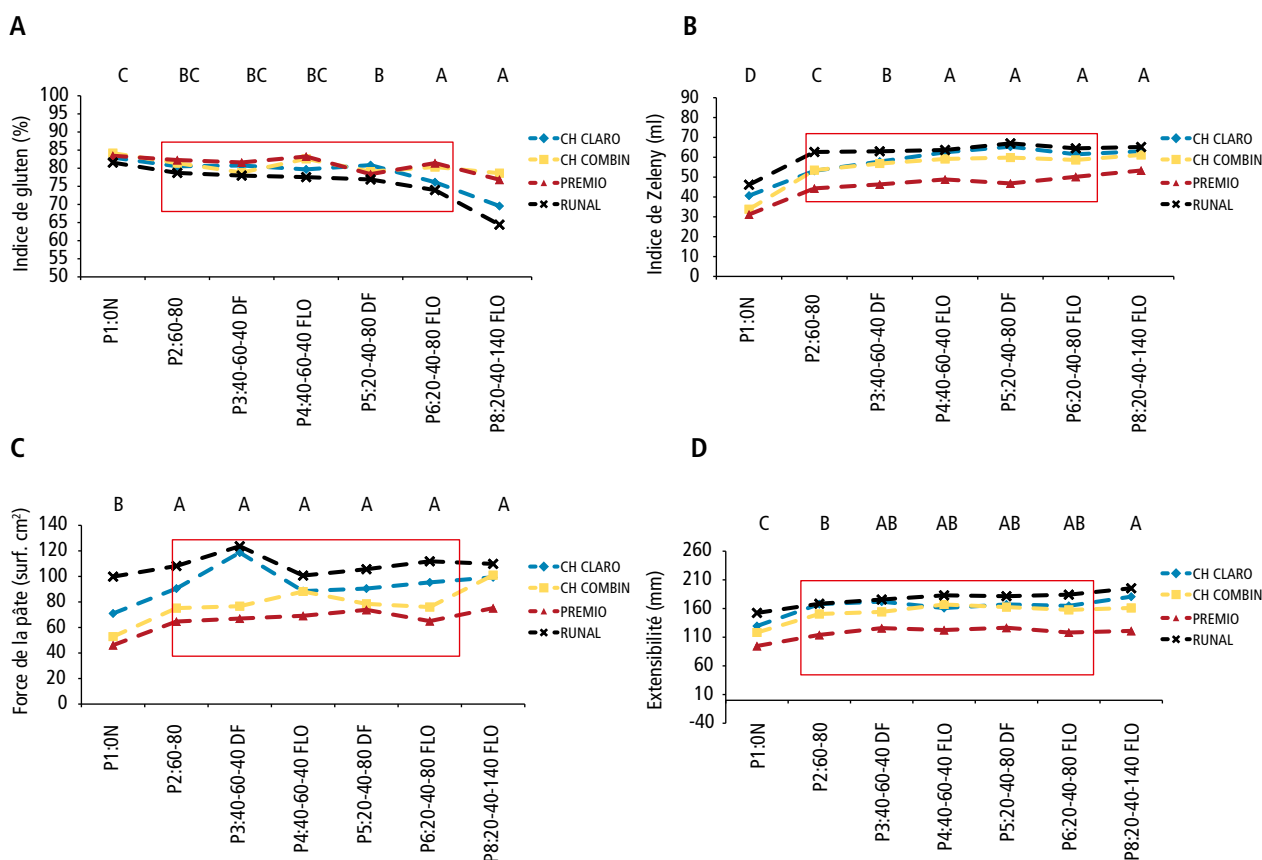


Figure 6 | Effet du procédé azoté et de la variété sur l'indice de gluten (A), l'indice de Zeleny (B), la force de la pâte (C) et l'extensibilité de la pâte (D) en moyenne de six milieux (Changins 2011–2013 et Goumoëns 2011–2013, considérés comme des répétitions dans les analyses de variances). Les procédés ayant reçu 140 kg N/ha sont encadrés en rouge. Les lettres majuscules indiquent les différences significatives ($P < 0,05$) entre les moyennes des procédés azotés.

celles obtenues pour la teneur en gluten humide. Cela laisse supposer que le volume des grands pains est fortement influencé par la teneur en gluten. D'autres paramètres observés sur les grands pains sont aussi influencés par la fumure azotée, soit positivement (forme et odeur), soit négativement (porosité de la mie). Par contre, la note finale issue de la taxation effectuée sur ces grands pains (dix critères; fig. 7D) n'est pas améliorée par l'intensification azotée.

Runal et CH Claro obtiennent les meilleurs volumes de pain dans les différents tests de panification et sont en général très proches quel que soit le procédé azoté. Premio est la variété qui obtient les moins bons volumes de pain et ces volumes ne sont pas améliorés par une intensification de la fumure azotée.

Proportions des différentes protéines

Les proportions des gluténines à haut poids moléculaire (HPM) et à faible poids moléculaire (FPM) varient très peu entre les différents procédés azotés (fig. 8). A

l'inverse, on observe une augmentation significative de la proportion des albumines et globulines ainsi qu'une diminution de la proportion des gliadines. En effet, lorsque le taux de protéines augmente, le pourcentage des gluténines HPM et FPM reste stable (fig. 9A et 9B), le pourcentage d'albumines et globulines augmente (fig. 9C) et le pourcentage de gliadines diminue (fig. 9D). Ces résultats confirment ceux obtenus par Dandan *et al.* (2013), mais différent par contre de ceux de Daniel *et al.* (2000) et Lebrun *et al.* (2001) qui montrent que la proportion de gliadines augmente avec la dose totale d'azote et le taux de protéines. Ces auteurs observent aussi comme nous que la teneur en gluténines n'est pas influencée par la fumure azotée et dépend essentiellement de la variété. La comparaison de différentes études s'avère difficile car les procédés azotés sont très différents. Nos résultats montrent que, pour une même dose d'azote totale de 140 kg N/ha, le fractionnement de l'azote influence les proportions des différentes protéines. De nombreuses études (Gupta *et al.* 1992;

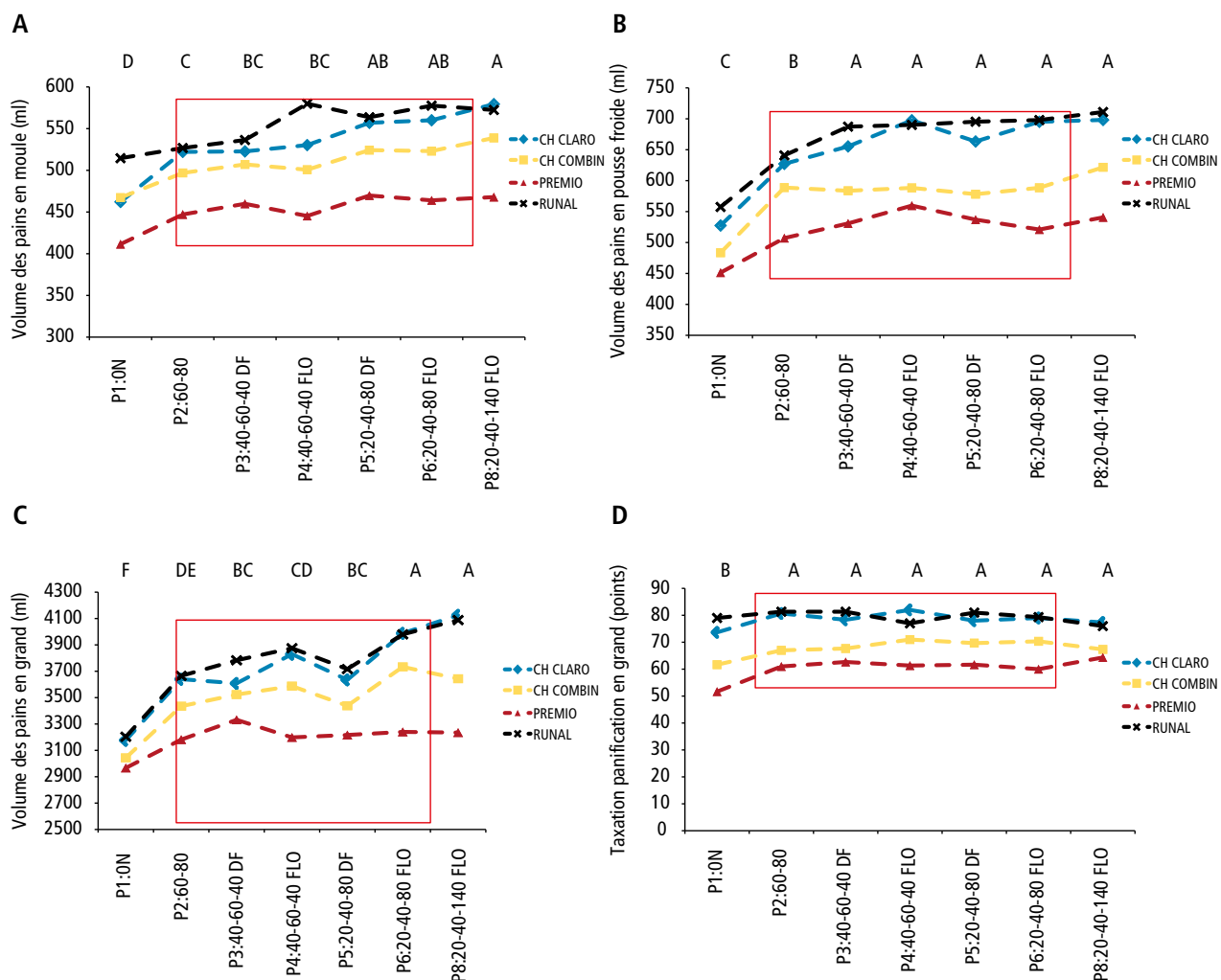


Figure 7 | Effet du procédé azoté et de la variété sur le volume des pains en moule (A), le volume des pains en pousse froide (B), le volume des pains en grand (C) et la taxation des pains en grand (D) en moyenne de trois années (2011–2013, considérées comme des répétitions dans les analyses de variances; les deux lieux ont été mélangés avant les tests de panification). Les procédés ayant reçu 140 kg N/ha sont encadrés en rouge. Les lettres majuscules indiquent les différences significatives ($P < 0,05$) entre les moyennes des procédés azotés.

Metakovsky *et al.* 1997; Branlard *et al.* 2001; Eagles *et al.* 2002) ont montré que les gluténines avaient l'impact le plus favorable sur la qualité boulangère. Les gliadines ont aussi un effet positif sur la qualité boulangère mais de façon plus modérée. Les gluténines et les gliadines sont les protéines du gluten et jouent un rôle important sur les caractéristiques rhéologiques de la pâte (force de la pâte, extensibilité, ténacité) et le volume du pain final. Les gliadines ont plutôt un impact sur l'extensibilité de la pâte, tandis que les gluténines influencent la

ténacité et l'élasticité de la pâte. Les albumines et globulines sont des petites protéines se trouvant essentiellement dans la couche d'aleurone du grain et qui ont peu d'effets sur la qualité boulangère (Singh *et al.* 1991). Ces protéines ont principalement un rôle enzymatique (alpha-amylase, beta-amylase, protéase).

Ces résultats sur les proportions des différentes protéines expliquent pourquoi la qualité rhéologique du gluten n'est pas améliorée malgré un taux de protéines plus élevé.

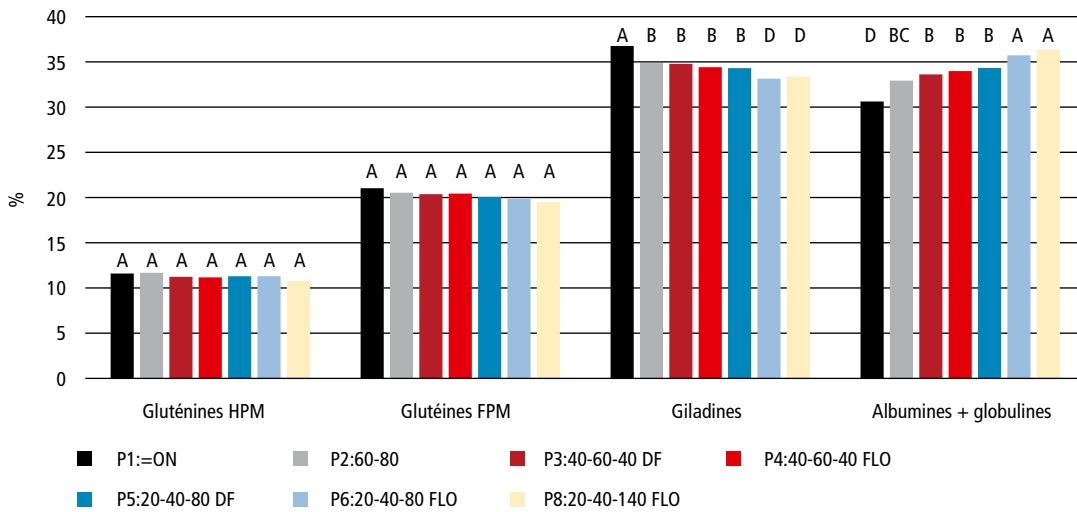


Figure 8 | Effet du procédé azoté sur la proportion des différentes protéines du blé en moyenne des quatre variétés et des six milieux. Les lettres majuscules indiquent les différences significatives ($P < 0,05$) entre les moyennes des procédés azotés. HPM = haut poids moléculaire; FPM = faible poids moléculaire.

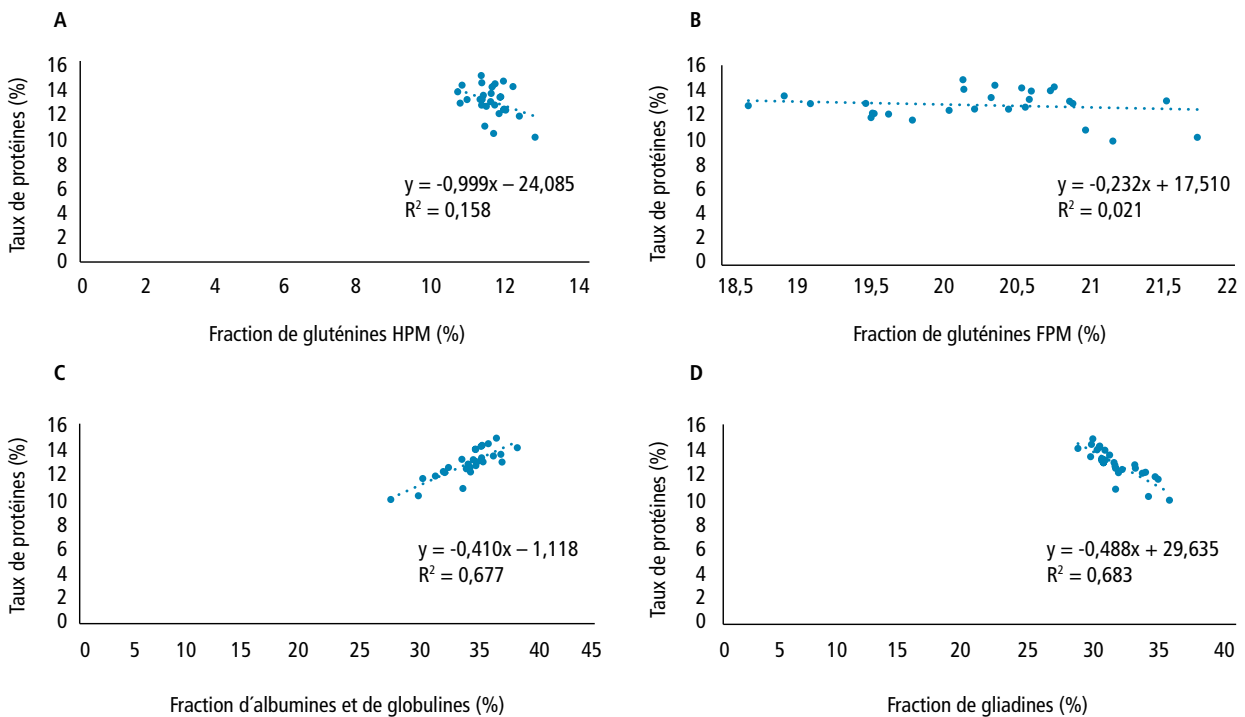


Figure 9 | Relation entre le taux de protéines et la proportion des différentes protéines du blé: gluténines HPM (A), gluténines FPM (B), gliadines (C) et albumines et globulines (D). $n = 28$, 7 procédés azotés x 4 variétés.

Conclusions

Pour un même niveau de fumure azotée (140 kg N/ha), on peut augmenter en moyenne de 0,5% le taux de protéines en fractionnant les apports d'azote et en apportant 80 kg N/ha au dernier apport. Mais, un dernier apport important augmente la teneur en protéines uniquement si les conditions pédoclimatiques permettent l'absorption de l'azote.

Le fractionnement en trois apports d'azote au lieu de deux augmente significativement la teneur en gluten humide ainsi que la qualité des protéines (indice de Zeleny, volume des pains issus des trois tests de panification). Ainsi, pour produire des blés de la qualité TOP, la pratique d'un fractionnement en trois apports (20-40-80 kg N/ha, avec un dernier apport au moment de l'appariation de la dernière feuille) est vivement recommandée.

L'augmentation de la teneur en protéines obtenus dans certains procédés azotés intensifs (P4, P6 et P8) ne s'accompagne pas d'une amélioration de la qualité du gluten: l'indice de Zeleny, la force de la pâte, l'index de gluten, le volume du pain en pousse froide stagnent, voire diminuent avec l'intensification de la fumure azotée. Ce résultat peut s'expliquer par une stagnation de la proportion des gluténines, ainsi que par une diminution significative des gliadines au profit des albumines et des globulines.

Le choix variétal reste le facteur le plus facile à maîtriser pour influencer la teneur en protéines. Parmi les variétés testées, Runal obtient les meilleurs résultats pour ce caractère. Bien que présentant des teneurs en protéines plus faibles que Runal, CH Claro obtient des résultats équivalents dans les tests rhéologiques et de panification. ■

Bibliographie

- A. D. A. (Azote Directement Assimilable), 2011. Teneur en protéines du blé: le rôle de la fertilisation azotée. La lettre n°17. Accès: <http://www.azote.info/images/stories/fichiers/lettreada17avril2011.pdf>[30.10.2015]
- Arvalis-Institut du végétal, 2013. Teneur en protéines des blés: relever le double défi agronomique et économique. Accès: http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/_plugins/WMS_BO_Gallery/page/getElementStream.html?id=23905&prop=file[30.10.2015]
- Arvalis-Institut du végétal, 2014. Taux de protéines: une évolution fluctuante entre chaque campagne. Accès: <http://www.arvalis-infos.fr/taux-de-protéines-une-evolution-fluctuante-entre-chaque-campagne-@/view-15869-arvarticle.html>[30.10.2015]
- Branlard G., Dardevet M., Saccomano R., Lagoutte F. & Gourdon J., 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* **119**, 59–67.
- Carré B., Gomez J., Melcion J.P. & Giboulot B., 1994. La viscosité des aliments destinés à l'aviculture. Utilisation pour prédire la consommation et l'excrétion d'eau. *INRA Prod. Anim.* **5**, 369–379.
- Dandan L. & Yan S., 2013. Effects of Different Nitrogen Fertilizer on Quality and Yield in Winter Wheat. *Journal of Food Science and Technology* **5** (5), 646–649.
- Daniel C. & Triboi E., 2000. Effect of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *J. Cereal Sci.* **32**, 45–56.
- Eagles H. A., Hollamby G. J., Gororo N. N., Eastwood R. F., 2002. Estimation and utilisation of glutenin gene effects from the analysis of unbalanced data from wheat breeding programs. *Australian Journal of Agricultural Research* **53**, 367–377.
- Gupta R.B., Batey I.L. & MacRITCHIE F., 1992. Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.* **69** (2), 125–131.
- Kleijer G., Dossenbach A., Städeli C., Rychener M. & Weisflog T., 2011. Gluten humide des variétés de blé en condition extenso et PER. *Recherche Agronomique Suisse* **2** (5), 206–211.
- Kleijer G., 2002. Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. *Revue suisse Agric.* **34** (6), 253–259.
- Lebrun D., Bar-L'Helgouac'h C., Salvo L. & Dubois M., 2001. Fertilisation azotée, quelles conséquences sur la qualité des protéines du blé tendre? *Perspectives Agricoles* **266**, 20–25.
- Levy L. & Brabant C., 2016. L'art de fractionner l'azote pour optimiser le rendement et la teneur en protéines du blé. *Recherche Agronomique Suisse* **7** (2), 80–87.
- Morel M. H., Dehlon P., Autran J.C., Leygue J. P. & Bar-L'Helgouac'h C., 2000. Effects of temperature, sonication time, and power settings on size distribution and extractability of total wheat flour proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chem.* **77** (5), 685–691.
- Metakovsky E. V., Branlard G., Chernakov V. M., Upelnik V. P., Redaelli R. & Pogna N. E., 1997. Recombination mapping of some chromosome 1A-, 1B-, 1D- and 6B-controlled gliadins and low-molecular-weight glutenin subunits in common wheat. *Theoretical and Applied Genetics* **94**, 788–795.
- Richner W., Flisch R., Sinaj S. & Charles R., 2010. Détermination des normes de fumure azotée pour les grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse* **1**, (11–12), 410–415.
- Singh N. K., Shepherd K. W., Langridge P. & Gruen L. C., 1991. Purification and biochemical characterization of triticin, a legumin-like protein in wheat endosperm. *Journal of Cereal Science* **13**, 207–219.
- Sonderegger O. & Scheuner S., 2014. Consolidation de la stratégie qualité – la branche céréalière s'accorde sur un paiement selon la teneur en protéines. Communiqué de presse. Accès: http://www.swissgranum.ch/files/2014-05-28_mm_loesung_proteingehalt_f.pdf[30.10.2015]
- Triboi E. & Triboi-Blondel A. M. 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem – invited paper. *European Journal of Agronomy* **16**, 163–186.

Riassunto**Influenza della concimazione azotata e del suo frazionamento sulla qualità del grano destinato alla panificazione**

Alcuni tipi di panificazione necessitano di tenori proteici elevati e di qualità reologiche ben definite. Sebbene il tasso proteico delle varietà svizzere di grano sia elevato, è soggetto a forti variazioni e in certi anni si rivela insufficiente per la panificazione. Dal 2011 al 2013 è stato condotto uno studio su quattro varietà di grano e su sette procedure di concimazione azotata. Da una parte, è stata analizzata l'influenza della concimazione azotata (dose e frazionamento) sul tasso proteico e, dall'altra, è stata esaminata la relazione tra il tasso proteico e i criteri reologici e di panificazione delle varietà. Il frazionamento in tre apporti azotati (al posto di due) aumenta in modo significativo il tenore di glutine umido, ma anche le sue proprietà qualitative. Un frazionamento di 20-40-80 kg N/ha, con un ultimo apporto quando compare l'ultima foglia, è ideale per aumentare il tenore di glutine umido senza intaccare né la qualità reologica né la resa. Questo frazionamento può essere raccomandato per la coltivazione delle varietà della classe TOP. I risultati mostrano che un aumento del tenore proteico non porta necessariamente a una migliore qualità del glutine, in quanto diversi parametri restano invariati o diminuiscono con l'intensificazione della concimazione azotata. Questo dato di fatto può essere spiegato sia con l'invariabilità della proporzione delle glutenine sia con la diminuzione delle gliadine a vantaggio delle albumine e globuline. Qualunque sia la procedura di concimazione azotata usata, la varietà Runal ottiene sempre i migliori tassi proteici. Nonostante presenti dei tenori proteici più scarsi, la varietà CH Claro ottiene risultati equivalenti a quelli della Runal nei test reologici e di panificazione.

Summary**Influence of splitting the application of nitrogenous fertilisers on the baking quality of wheat**

Certain types of bread products require a high protein content and well-defined rheological qualities. Although Swiss wheat varieties have a high protein content, said content fluctuates a great deal, and in some years is too low for breadmaking. From 2011 to 2013, a study was carried out on four varieties of wheat and seven nitrogen fertiliser application methods. The aim was on the one hand to analyse the influence of the nitrogen fertiliser (dose and splitting of application) on protein levels, and on the other to examine the relationship between the protein levels of the varieties and their rheological and baking qualities. The splitting of nitrogenous fertiliser applications into three rather than two doses not only significantly increases wet gluten content, but also substantially improves qualitative properties. A 20-40-80 kg N/ha split with a final dose when the flag-leaf appears is ideal for increasing wet gluten content without affecting either rheological quality or yield. This split can be recommended when cultivating 'Top' class varieties. The results also show that an increase in protein content does not necessarily improve gluten quality, since several parameters stagnate or decrease when nitrogen fertilisation is intensified. This observation can be explained by the stagnation in the proportion of glutenins, as well as by a decrease in gliadins in favour of albumins and globulins. No matter what nitrogenous fertilisation method is used, the variety 'Runal' always achieves the best protein levels. Despite its lower protein content, the variety 'CH Claro' obtains equivalent results to Runal in the rheological and baking tests.

Key words: nitrogen fertilization, winter wheat, varieties, protein, baking quality, dough properties.