Potentiel de protéines de variétés de blé d'automne

Lilia Levy Häner, Numa Courvoisier, Juan Herrera, Cécile Brabant et Didier Pellet
Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon, Suisse
Renseignements: Lilia Levy Häner, e-mail: lilia.levy@agroscope.admin.ch

Arrosage des parcelles de blé à Changins, suite à l'apport d'azote, pour en garantir l'absorption par la plante.

Introduction

Depuis 2015, les récoltes de blé de la classe Top livrées par les centres collecteurs aux moulins sont payées en fonction de leur teneur en protéines (Sonderegger et Scheuner 2014). Chaque centre collecteur est libre d'appliquer cette mesure aux producteurs ou non.
Les teneurs en protéines sont très variables et représentent entre 8 et 18% du grain de blé (Agroscope et Fenaco GOF, non publié). Agroscope a évalué différentes stratégies pour augmenter ces teneurs. Dans une étude se basant sur une seule variété, Triboi et Triboi-Blondel (2002) ont démontré l'existence d'une teneur en protéines maximale lors d'une application de 150 kg N/ha à la floraison.

Potentiel de protéines

La teneur en protéine est un sujet de grande actualité. Pour les producteurs, des questions se posent non seulement sur les teneurs en protéines des variétés, mais également sur l'exploitation de leur potentiel: suis-je en train d'exploiter le maximum de ma variété? Pourrais-je augmenter mes teneurs en protéines en répartissant mieux ma fumure azotée? Cette variété est-elle stable du point de vue de sa teneur en protéines? Le concept du potentiel a été développé dans les années 90 (Evans et Fischer 1999) pour les rendements en grain et adapté entre autres par ICARDA (Solh 2015). Sur cette base et grâce aux travaux de Triboi et Triboi-Blondel (2002), nous avons développé le concept de potentiel de protéines (fig. 1).

Paramètres décrivant les protéines

Plusieurs paramètres permettent de décrire la quantité en protéines du blé. Le plus courant est la **teneur en protéines,** exprimée en pourcent. Il s'agit d'une valeur relative qui dépend également des teneurs en autres composantes du grain de blé, tel que l'amidon. Un autre

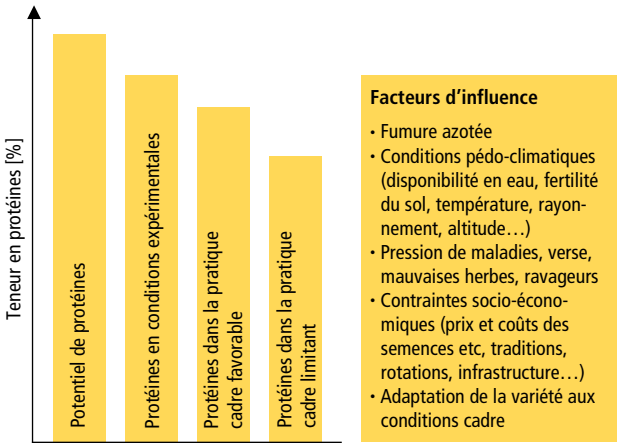


Figure 1 | Le potentiel de protéines représente la teneur en protéines d'une variété dans des conditions non limitantes. Selon les conditions cadre (déterminées par les facteurs d'influence), une partie plus ou moins importante de ce potentiel sera atteinte.

critère important est la **quantité de protéines par grain,** exprimée en microgrammes par grain; ce critère est en relation avec la classe de qualité des variétés et est souvent utilisé par les sélectionneurs. Certaines études affirment qu'il donnerait même plus d'informations que la teneur en protéines (Triboi et Triboi-Blondel, 2002). Un troisième critère est la quantité de protéines produite par unité de surface, en dt/ha, et qui donne la **quantité de protéines exportée avec la récolte.**

Influences du milieu sur les protéines

Divers facteurs du milieu ont un effet sur les protéines. Triboi et Triboi-Blondel (2002) soulignent l'effet de la **température** pendant la formation du grain sur divers paramètres (tabl. 1). Des températures élevées influencent négativement le poids de mille grains (PMG), ainsi que la quantité de protéines et d'amidon par grain. Toutefois, l'effet négatif sur l'amidon étant plus important, les teneurs en protéines augmentent.

Tableau 1 | Influence de la température pendant la phase de formation du grain de blé sur différents paramètres (Triboi et Triboi-Blondel 2002)

Composition du grain	< 20 °C	< 30 °C	30–35 °C	Différence entre < 20 °C et 30–35 °C
PMG (g)	54,8	39,9	30,6	↓ –44,2%
Protéines/grain (mg)	6,32	5,74	4,63	↓ –26,7%
Amidon/grain (mg)	38,6	27,0	20,5	↓ –46,9%
Teneur en protéines (%)	11,6	14,5	15,4	↑ +32,8%
Teneur en amidon (%)	70,4	67,5	66,6	↓ –5,4%

Résumé

Un concept de potentiel de protéines a été mis au point, par analogie avec le potentiel de rendement en grains, dans le but de mieux comprendre les facteurs d'influence sur la teneur en protéines des blés, de déceler les variétés les plus stables, ainsi que les quantités en protéines qui restent à exploiter. Le potentiel de protéines de 18 variétés de blé d'automne couvrant toutes les classes de qualité a été établi expérimentalement. Il variait de 13,0% à 16,6% selon la variété. Des données expérimentales supplémentaires ont été utilisées pour évaluer à quelle fréquence le potentiel de protéines était atteint dans les diverses conditions. Près de 5000 valeurs de teneurs en protéines issues de la pratique (Fenaco GOF) ont également permis de comparer les performances des variétés dans les essais et dans la pratique. L'analyse de ces données a montré que la fumure azotée (niveau et fractionnement) influençait le taux d'atteinte du potentiel de protéines. Certaines variétés sont stables et d'autres instables, qu'elles soient cultivées dans des essais ou dans la pratique. Les résultats des deux sources sont cohérents, laissant supposer que les données de la recherche permettent une bonne prédiction de la performance des variétés cultivées dans les conditions de la pratique.

Des études plus récentes (Feng *et al.* 2015) ont montré que l'augmentation du **CO_2** dans l'atmosphère restreint l'aptitude des plantes à absorber les nutriments du sol et affecterait surtout la translocation de l'azote absorbé vers le grain. Un doublement des concentrations en CO_2 actuelles entraînerait une diminution des teneurs en protéine de 10 à 15% (Taub *et al.* 2008). De même, un **rayonnement** déficitaire a un impact négatif sur l'activité photosynthétique de la plante, limitant les teneurs en protéines ou dans des cas extrêmes rendant une partie des épillets stériles (résultats non publiés).

De nombreuses études ont mis en évidence les relations entre **fumure azotée** et teneur en protéines (Halvorson *et al.* 1976; Levy *et al.* 2007; Varga *et al.* 2003). Tant que la disponibilité en N du sol est inférieure à la quantité de N requise par la culture, le rendement en grains augmente avec l'augmentation de la fumure azotée en suivant une courbe quadratique (avec un point maximum).

Les teneurs en protéines augmentent, elles, de façon relativement linéaire (Halvorson *et al.* 1976). Le **fractionnement de la fumure azotée** ainsi que le moment de l'application sont également fondamentaux pour la synthèse des protéines dans les plantes (Levy et Brabant 2016). Triboi et Triboi-Blondel (2002) ont montré qu'une fertilisation azotée renforcée à la floraison (150 kg N/ha à CD 59-61) maximise la teneur en protéines du grain, indépendamment de la fumure apportée précédemment. Leur étude montre également qu'un apport de fumure azotée important à un stade plus précoce compense l'absence de fumure à la floraison, résultant en une teneur en protéines semblable. La disponibilité en **eau,** pendant la croissance de la plante mais aussi après l'application de la fumure azotée, est cruciale pour rendre l'azote disponible pour la plante. La teneur en protéines est donc influencée par de nombreux éléments du milieu, les techniques de production, mais également par la variété. Les objectifs du présent travail consistent à:

i) déterminer le potentiel en protéines de diverses variétés de blé d'automne de classes de qualité contrastées;
ii) mettre en évidence dans quelle mesure la fumure azotée et son fractionnement permettent d'atteindre le potentiel en protéines;
iii) déterminer à quelle fréquence les variétés peuvent atteindre leur potentiel (profil variétal), en situation expérimentale ou dans la pratique.

Matériel et méthodes

Dans une première étape, des essais en conditions semi-contrôlées ont été réalisés pour maximiser les teneurs en protéines (c'est-à-dire pour déterminer le potentiel des protéines) d'un choix de variétés actuelles.

Essais protéines: 12 variétés ont été cultivées en parcelles de 10 m² sur deux lieux (Changins et Goumoëns, VD) pendant trois ans (récoltes 2011 à 2013). Les essais étaient conduits en split-plot avec deux répétitions. Deux procédés azotés (parcelles principales, avec la variété comme sous-facteur) ont été comparés, soit un procédé à 140 kg N/ha de nitrate d'ammoniaque (60 kg/ha au CD21 tallage et 80 kg N/ha au CD30 redressement) et un autre à 200 kg N/ha (20 kg/ha au CD21, 40 kg N/ha au CD30 et 140 kg N/ha au CD59–61 floraison). A Changins, si nécessaire, les parcelles ont été irriguées après les apports de fumure N. Les essais ont été conduits sans fongicide ni régulateur de croissance. Le **potentiel en protéines** correspond à la valeur maximale de protéines atteinte par une variété en conditions intensives (200 kg N/ha, avec irrigation, valeur moyenne de toutes les répétitions sur un site une année donnée), dans des conditions pédoclimatiques les plus propices et pour laquelle le rendement en grains dépassait 60 dt/ha; dans notre étude, il s'agit de l'essai réalisé à Changins en 2011, pour lequel le rendement moyen était de 70,8 dt/ha (200 kg N/ha). Ensuite, pour chaque variété, une étude fréquentielle des teneurs en protéines a été réalisée (évaluation de la part du potentiel de protéines atteinte). La première année, un comptage d'épis par m² a été réalisé à raison de deux comptages par parcelle. La pression de maladies et la verse ont été négligeables. Après la récolte, le rendement en grains (à 15% d'humidité), le PMG (à 15% d'humidité), le poids à l'hectolitre (PHL) et les teneurs en protéines (méthode NIRS, appareil Büchi) ont été analysés pour chaque parcelle. L'exportation des protéines par parcelle a été calculée en multipliant le rendement en grains par la teneur en protéines. Pour calculer la quantité en protéines par grain (matière sèche), nous avons tenu compte du PMG, du rendement en grains et des teneurs en protéines. Les mises en valeur ont été réalisées avec Statistica 12, considérant les effets du milieu et des répétitions comme étant randomisés et les variétés et procédés azotés comme facteurs fixes. Ces essais n'ayant pas tous été décrits auparavant, une synthèse des principaux résultats est donnée ci-après.

Essais gluten: cet essai avait pour objectif d'évaluer l'effet du fractionnement de la fumure azotée pour trois niveaux d'azote (0, 140 et 200 kg N/ha) sur six variétés de blé d'automne (Levy et Brabant 2016). Les données obtenues montrent la fréquence à laquelle le potentiel de protéines est atteint en fonction des différents niveaux et fractionnements de la fumure azotée. Le potentiel de protéines de ces six variétés a été déterminé comme dans l'essai protéines, en retenant les données de 2011 à Changins (200 kg N/ha, avec irrigation).

Données de la pratique: Les données des centres collecteurs (CC), mises gracieusement à disposition par Fenaco GOF, ont permis de déterminer la part du potentiel de protéines atteinte par les variétés dans la pratique. 4777 valeurs pour un total de neuf variétés ont été retenues

Tableau 2 | Valeurs moyennes (avec groupes d'homogénéité d'après Duncan) pour les deux procédés azotés (n = 144, i. e. 12 variétés cultivées pendant trois années sur deux sites à deux répétitions)

Fumure [kg N/ha]	Teneur en Prot, [%]	Rendement [dt/ha]	Exp, Prot [dt/ha]	Prot,/ grain [µg]	PHL [kg]	PMG [g]
140 (60–80)	12,7 b	70,4 a	7,57 a	4,94 b	79,2 a	43,5 b
200 (20–40–140)	13,4 a	64,7 a	7,36 a	5,42 a	79,3 a	45,6 a

Prot. = protéines, Exp. = exportation, PHL = poids à l'hectolitre, PMG = poids de mille grains. a ,b = groupes d'homogénéité. Les valeurs avec une même lettre (d'un même critère) ne se distinguent pas.

pour l'analyse statistique, une valeur correspondant à la teneur en protéines (mesurée par NIR Perten) d'un lot livré au CC. Cette étude s'est concentrée sur les données de 2012 (1131 données) et 2013 (3646 données). Les variétés évaluées étaient présentes les deux années et avaient au moins 100 échantillons analysés.

Résultats et discussion

Essais protéines

Globalement, une fumure de 200 kg N/ha a permis d'augmenter les teneurs en protéines comparativement au procédé 140 kg N/ha (tabl. 2). Toutefois, dans un tiers des cas, la stratégie de réserver davantage d'azote pour un 3e apport tardif a eu l'effet inverse et s'est avérée très risquée. Ces résultats confirment ceux trouvés dans l'essai gluten (Levy et Brabant 2016). Les protéines par grain et le PMG ont également été influencés par la fumure azotée. Même si le procédé de fumure n'a pas eu d'effet significatif sur ce paramètre, le rendement en grains plus important issu du procédé 140 kg N/ha a fortement contribué à égaliser l'exportation en protéines dans les deux procédés. Ainsi, une variété comme Magno (tabl. 3), avec un rendement en grains très élevé et une teneur en protéines basse, exporte autant de protéines que Lorenzo, qui a un profil inversé (teneur en protéines élevée et rendement en grains bas). Il est connu que l'exportation en protéines est plus fortement influencée par le rendement en grains que par la teneur en protéines (Simmonds 1995). En 2011, où le nombre d'épis/m^2 a été compté pour chaque répétition, la corrélation entre le nombre d'épis/m^2 et le rendement en grains est de r = 0,535***.

L'effet de dilution de l'azote dans le grain (lors de rendements élevés) a été décrit précédemment (Slafer *et al.* 1990). Les présents travaux le confirment par la corrélation négative entre le rendement en grains et la teneur en protéines (r = –0,71***) et entre le rendement en grains et les protéines par grain (r = –0,724***).

Les variétés ont un potentiel de protéines très varié (tabl. 3). Molinera, Arina et CH Nara ont le potentiel de protéines le plus élevé (valeur obtenue en 2011 à Changins). Lorenzo rejoint ce groupe de variétés avec une haute teneur en protéines, si on tient compte des valeurs obtenues par cette variété sur l'ensemble des essais. Dans ces essais, la quantité de protéines par grain est hautement corrélée avec la teneur en protéines. Manhattan exporte les quantités de protéines par parcelle les plus importantes, tandis qu'Arina arrive en queue de classement. Lorenzo est la variété qui a atteint la part la plus élevée de son potentiel de protéines.

Tableau 3 | Performances agronomiques des douze variétés cultivées pendant trois ans (2011, 2012 et 2013) sur deux sites (Changins et Goumoëns) pour les deux procédés azotés, avec deux répétitions. Les valeurs moyennes avec les groupes d'homogénéité d'après Duncan sont indiquées (n = 24). La classe de qualité de chaque variété figure entre parenthèses.

Variété	Potentiel en protéines# [%]	Part du potentiel atteint [%]	Teneur en protéines [%]		Rendement [dt/ha]		Exp. Prot [dt/ha]	Prot./grain [µg]	PHL [kg]	PMG [g]
			200	140	200	140				
Molinera (Top)	15,5	90,3 bc	14,6 a	13,6 de	56,8 ij	64,1 fg	7,24 c	5,59 a	78,7 bc	46,1 ab
Arina (I)	15,5	89,7 bc	14,2 bc	13,7 de	55,1 j	57,7 hij	6,71 d	5,54 a	81,6 a	43,9 cd
CH Nara (Top)	15,4	90,4 bc	14,3 ab	13,7 de	58,1 hij	63,1 fgh	7,25 c	5,47 ab	81,0 a	42,0 ef
Zinal (I)	15,1	88,5 cd	13,9 cd	13,1 fg	61,5 ghi	69,1 def	7,52 bc	5,40 bc	81,8 a	45,3 bc
Orzival (I)	14,8	89,5 c	13,6 de	13,1 fg	68,2 ef	69,0 def	7,87 ab	5,35 c	79,4 b	46,4 ab
Simano (I)	14,5	89,5 c	13,4 ef	12,8 gh	62,1 ghi	71,3 cde	7,46 bc	5,22 d	79,7 b	46,6 ab
Lorenzo (Top)	14,3	98,8 a	14,6 ab	13,6 de	57,5 hij	67,0 efg	7,45 bc	5,56 a	77,8 cd	43,5 de
Cambrena (Bisc.)	14,2	86,9 de	12,8 gh	12,2 ij	70,2 de	72,4 cde	7,59 bc	4,94 e	78,5 bcd	41,6 f
Mulan (Four.)	13,9	85,3 ef	12,5 hi	11,5 l	70,9 cde	76,7 abc	7,53 bc	4,80 f	77,9 cd	47,0 a
Magno (II)	13,5	83,6 f	11,9 jk	11,1 m	71,1 cde	81,2 a	7,44 bc	4,59 g	77,3 d	46,1 ab
Rustic (Four.)	13,3	91,9 b	12,6 hi	12,0 jk	71,0 cde	75,1 bcd	7,64 abc	4,74 f	78,6 bc	46,1 ab
Manhattan (Bisc.)	13,0	90,1 bc	12,0 jk	11,7 kl	78,6 ab	81,2 a	8,05 a	4,85 ef	78,4 bcd	40,6 f

Prot. = protéines, Exp. = exportation, PHL = poids à l'hectolitre, PMG = poids de mille grains, Bisc.= biscuit, Four. = Fourrager. # correspond à la teneur en protéines atteinte en 2011 à Changins dans le procédé 200 kg N/ha. a–l = groupe d'homogénéité. Les valeurs (d'un même critère) portant une même lettre ne se distinguent pas.

Selon les conditions pédoclimatiques, la fumure azotée a un effet très variable sur la teneur en protéines, ce qui s'exprime par une interaction milieu*fumure élevée pour la teneur en protéines (tabl. 4). Pour les autres paramètres étudiés, cette interaction est beaucoup plus faible. Les années très contrastées observées durant cette étude ont également marqué l'analyse de variance par un effet prononcé du milieu sur les divers paramètres étudiés. La fumure a joué un rôle important sur la teneur en protéines, le rendement en grain et le PMG. Les variétés ont réagi de la même façon à la fumure N pour tous les critères (interaction fumure*variété non significative, hormis pour le PMG), alors que le seul facteur variété permet d'expliquer une part significative de la variabilité pour plusieurs paramètres.

Tableau 4 | Part de la variabilité totale (somme des carrés moyens de l'analyse de variance) de divers paramètres expliquée par la variété (12), le milieu (6 combinaisons lieu*année) et les interactions

Facteurs de variance	DL	Teneur en prot. [%]	Rendement [dt/ha]	Exp. prot. [dt/ha]	PHL [kg]	PMG [g]
Milieu	5	21,8% *	55,3% ***	75,2% ***	55,6% ***	55,1% ***
Fumure N	1	24,2% **	22,3% °	1,4% n.s.	0,1% n.s.	25,2% **
Milieu*Fumure N	5	34,8% ***	3,5% n.s.	12,6% °	7,8% **	5,5% *
Variété	11	13,9% ***	10,3% ***	1,4% ***	24,7% ***	8,6% ***
Milieu*Variété	54	0,5% ***	1,1% ***	0,9% ***	3,1% *	1,4% ***
Fumure N*Variété	11	0,1% n.s.	0,6% n.s.	0,6% °	2,2% n.s.	0,9% *
Milieu*Fumure N*Variété	54	0,3% **	0,6% °	0,5% °	2,3% n.s.	0,4% n.s.
Erreur	138	4,5%	6,1%	7,4%	4,2%	2,9%

Niveaux de signification: n.s.; °, *, **, *** correspondent à P > 0,1, <0,1, < 0,05, < 0,01, < 0,001 respectivement.

Potentiel de protéines

«Les essais gluten» comprenaient des variétés panifiables allant de la classe II à Top. Sans fumure azotée, les variétés atteignent environ 71,1% de leur potentiel de protéines (fig. 1). L'apport de fumure N améliore considérablement l'exploitation du potentiel de protéines, l'élevant en moyenne jusqu'à 88,7%.Tant le niveau de fumure azotée que son fractionnement sont importants pour ce critère. L'effet variétal est aussi très marqué: Suretta atteint toujours un pourcentage du potentiel de protéines supérieur aux autres variétés, tandis que CH Combin est constamment la plus faible. Toutefois, avec 15,7% de protéines, CH Combin et CH Claro ont aussi atteint des teneurs en protéines très élevées dans ces conditions intensives.

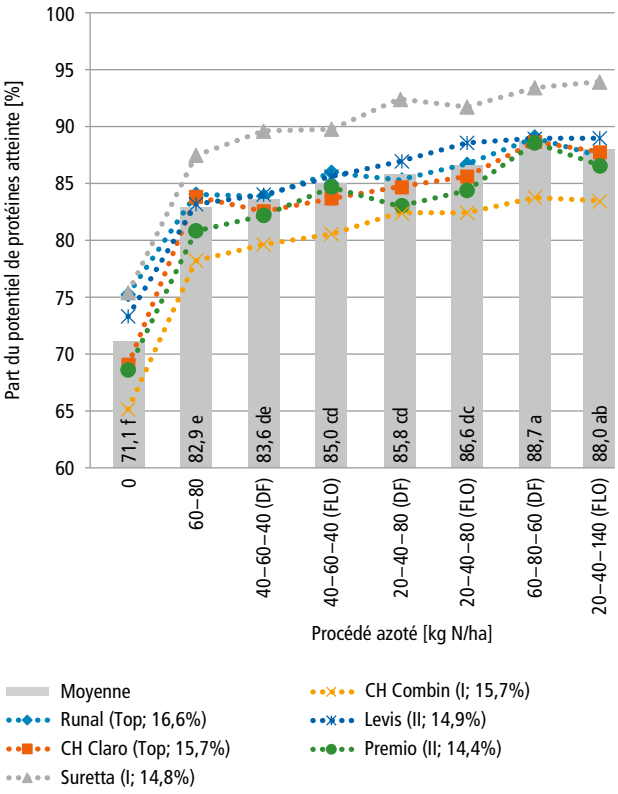


Figure 2 | Part du potentiel de protéines, propre à chaque variété, atteinte sous différents régimes de fumure azotée (essai gluten). Le potentiel de protéines est défini comme la teneur en protéines atteinte dans des conditions expérimentales propices (200 kg N/ha distribués en trois apports, le 3e à raison de 140 kg N/ha à floraison, avec irrigation, à Changins, récolte 2011). La classe de qualité et le potentiel de protéines de chaque variété sont indiqués entre parenthèses. Les histogrammes représentent la valeur moyenne de toutes les variétés avec indication de la valeur absolue et du groupe d'homogénéité (les valeurs avec une même lettre ne se distinguent pas). FLO = floraison; DF = dernière feuille.

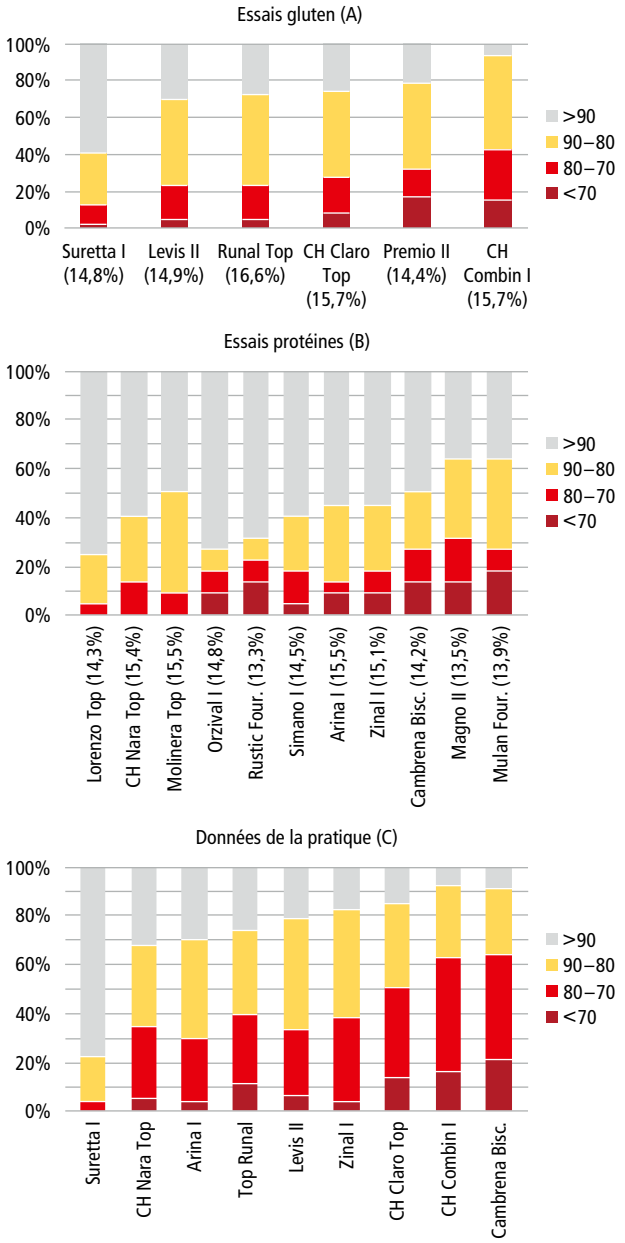
Les comportements de Suretta et de CH Combin sont très contrastés (fig. 3a), bien qu'appartenant à la même classe. Dans 60% des cas, Suretta atteint au moins 90% de son potentiel de protéines, relativement bas (14,8%). Suretta se montre très stable, atteignant très souvent des valeurs proches de cette limite. CH Combin, par contre, a très bien répondu à l'intensification, atteignant une teneur en protéines très élevée (15,7%); cependant, elle n'arrive pas à conserver ce niveau dans des conditions moins propices. L'approche proposée par Triboi et Triboi-Blondel (2002) pour plafonner les teneurs en protéines (basée sur une seule variété) peut donc être appliquée à une gamme de variétés plus large, donnant des résultats remarquables.

En comparant les variétés de l'essai protéines, on observe que les variétés de classe Top (fig. 3B) semblent plus stables, atteignant majoritairement un pourcentage

élevé de leur potentiel de protéines. Pour ces variétés, la part des échantillons ayant atteint des teneurs en protéines inférieures à 70% du potentiel de protéines est nulle ou faible. A noter également, à quelques exceptions près, qu'il n'y a pas de relation entre le potentiel de protéines et la stabilité dans l'atteinte de ce potentiel par la variété. Cette approche permet donc de comparer les variétés par rapport à leur comportement, tout en faisant abstraction des teneurs en protéines effectives et des classes de qualité, à l'exemple d'Orzival (classe I) et Rustic (fourrager).

Les données de la pratique (fig. 3C) ont été appréciées selon la même grille d'évaluation que les données des essais menés par Agroscope. Certaines variétés, comme CH Claro avec plus de 2000 échantillons, ont une base d'évaluation très représentative. Les données de la pratique confirment les comportements contrastés des variétés Suretta et CH Combin observés dans les essais gluten (A), le contraste ayant même tendance à s'accentuer. Pour CH Claro, la distribution des données de Fenaco GOF (C) est très proche de celle des données expérimentales (A). La comparaison des données de la pratique (C) et des données des essais protéines (B) montre que l'ordre des rangs est conservé pour les variétés CH Nara, Arina, Zinal et Cambrena. La part plus élevée de teneurs proches du potentiel dans les essais protéines (B) par rapport aux données de la pratique (C) s'explique par le fait que l'apport d'azote va jusqu'à 200 kg N/ha dans les essais (fig. 1). La superposition des potentiels de protéines atteints dans l'expérimentation et dans la pratique (fig. 4) montre une très bonne concordance des informations (Runal et CH Claro), voire presque une égalité (CH Combin). Ces résultats sont impressionnants car les années pour les deux séries (expérimentation et pratique) n'étaient pas identiques. D'autre part, ils montrent que les données de l'expérimentation permettent une bonne prédiction du comportement des variétés lors de la production, même avec un nombre d'échantillons inférieur (CH Claro: 141 échantillons dans l'expérimentation contre 2181 dans la production).

La teneur en protéines mais aussi leur qualité déterminent en bonne partie l'aptitude à la panification d'une variété, ces deux paramètres étant fortement influencés par la fumure azotée (Brabant et Levy 2016). L'approche présentée ici cherche à déterminer le potentiel de protéines des principales variétés de blé d'automne et à quantifier la fréquence d'atteinte de ce potentiel. Elle ne vise pas à maximiser la teneur en protéines, mais à déceler les variétés plus stables et à mieux comprendre les facteurs, comme la fumure azotée, qui influencent l'aptitude d'une variété à atteindre régulièrement ce



n	167	195	483	398	270	798	2181	178	107
Ø	14,6	13,0	13,2	13,8	12,5	12,5	12,6	12,3	11,0
pot. prot.	14,8	15,3	15,4	16,6	14,9	15,1	15,7	15,7	14,2

n = nombre d'analyses de Fenaco GOF (C) retenues par variété sur les deux ans; Ø = moyenne des données NIR de Fenaco GOF (C) par variété sur les deux ans; pot. prot. = potentiel de protéines d'après les essais d'Agroscope.

Figure 3 | Analyse fréquentielle de la part du potentiel de protéines atteinte par les variétés cultivées sous différents régimes de fumure N. Le maximum (i.e. potentiel de protéines) est défini comme la valeur atteinte dans des conditions expérimentales propices (200 kg N/ha distribués en trois apports, le 3e à raison de 140 kg N/ha à floraison, avec irrigation, à Changins, récolte 2011). Dans le graphique (A), l'analyse fréquentielle est réalisée sur la base de trois ans d'essais de fumure azotée croissante (essais gluten), (B) représente une gamme plus large de variétés (panifiables, fourragères et type biscuit) cultivées sous deux régimes de fumure azotée (essais protéines). Dans les graphiques (A) et (B), le potentiel en protéines est indiqué entre parenthèses. (C) reflète les données de la pratique (Fenaco GOF) sur deux ans, appréciées selon les valeurs de potentiel de protéines déterminées expérimentalement par Agroscope dans les essais gluten et protéines.

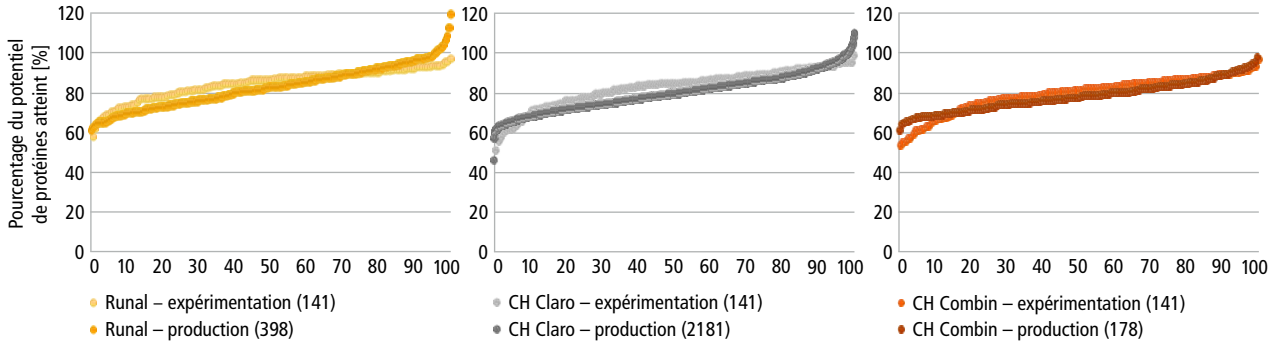


Figure 4 | Comparaison des courbes de distribution des teneurs en protéines, exprimées par rapport au potentiel, atteintes dans l'expérimentation (essais gluten, récoltes 2011, 2012 et 2013) et dans la pratique (Fenaco GOF, récoltes 2012 et 2013) pour trois variétés. Le potentiel de protéines est défini comme la teneur en protéines atteinte dans des conditions expérimentales propices (200 kg N/ha distribués en trois apports, le 3e à raison de 140 kg N/ha à floraison, avec irrigation, à Changins, récolte 2011). Les nombres d'échantillons sont indiqués entre parenthèses.

potentiel. Une variété instable est généralement dotée d'un potentiel élevé, mais qu'elle atteint difficilement, tandis qu'une variété stable a souvent un potentiel plus modeste qu'elle atteint fréquemment.

Nos essais ont été conduits dans six milieux différents (3 années × 2 lieux), parfois dans des conditions semi-contrôlées. Pour avoir conduit les essais dans des conditions pédoclimatiques diverses, nous avons pu faire abstraction des éléments pédoclimatiques non maitrisables par l'expérimentation et retenir a *posteriori* les conditions pédoclimatiques idéales, pour arriver à une valeur correspondant à une situation idéale pour la plante. Si cette méthodologie permet d'atteindre le but, elle est par contre assez lourde à mettre en œuvre. Malgré les efforts pour mener ces essais dans des conditions semi-contrôlées, le milieu a eu un impact très important sur divers critères. Il est nécessaire de mieux connaître l'effet des facteurs pédoclimatiques sur les paramètres évalués pendant les diverses phases de développement de la plante, afin de mieux coupler les interventions aux besoins de la variété. D'un point de vue méthodologique également, on pourrait faire évoluer l'approche appliquée du potentiel de protéines vers la définition d'une teneur optimale en protéines pour chaque variété, c'est-à-dire, une teneur correspondante à une bonne formation du grain pour la variété en question, ainsi qu'à une aptitude idéale à la transformation – boulangère ou fourragère. Enfin, cette étude montre que les résultats obtenus par une variété dans la pratique sont prévisibles sur la base des résultats réalisés dans les essais. La recherche permet ainsi d'éviter des mauvaises surprises aux agriculteurs, comme le choix d'une variété non adaptée à ses conditions, ce qui pourrait avoir de fâcheuses conséquences économiques.

Conclusions et perspectives

- Le concept du potentiel de protéines permet d'évaluer la stabilité des variétés, indépendamment du niveau des teneurs en protéines, et de comparer des variétés appartenant à des classes de qualité différentes.
- La comparaison des données de la pratique (données des centres collecteurs de Fenaco GOF) et des essais d'Agroscope montre que la prédiction de la stabilité des variétés à partir des essais d'Agroscope est très proche de celle observée dans la réalité. Il n'y a pas d'inversion dans le classement des variétés. Les variétés très contrastées, telles que Suretta (stable) et CH Combin (instable) confirment leur comportement dans la pratique.
- Les variétés de classe Top évaluées dans la pratique ont atteint 80% ou plus de leur potentiel de protéines dans au moins 50% des cas.
- En cas de fumure azotée sub-optimale, les variétés atteignent en général seulement 65 à 75% de leur potentiel de protéines.
- Des variétés d'une classe de qualité inférieure peuvent parfois réagir très favorablement à l'intensification de la fumure azotée. Toutefois, elles s'avèrent souvent instables et n'atteignent pas régulièrement leur potentiel de protéines.
- L'approche a ses limites. Pour déterminer le potentiel de protéines de chaque variété, des essais lourds et exigeants, assurant des conditions non-limitantes, doivent être réalisés. Compte tenu des conditions pédoclimatiques difficiles à contrôler, la détermination du potentiel de chaque variété est difficile. ■

Riassunto

Potenziale proteico delle varietà di frumento autunnale

Per capire meglio i fattori che influenzano il tenore proteico delle varietà di frumento e individuare le varietà più stabili e i quantitativi di proteine ancora da sfruttare è stato sviluppato un concetto di potenziale proteico analogo a quello di potenziale di resa in semi. Per mezzo di esperimenti è stato determinato il potenziale proteico di 18 varietà di frumento autunnale di tutte le classi qualitative; a seconda della varietà, sono stati riscontrati valori dal 13,0% al 16,6%. Ulteriori dati sperimentali sono stati utilizzati per valutare la frequenza con cui il potenziale proteico veniva raggiunto nelle diverse condizioni. Quasi 5000 valori di tenore proteico rilevati nella prassi (fenaco GOF) hanno inoltre permesso di confrontare l'evoluzione della resa delle diverse varietà negli esperimenti e nella pratica. L'analisi di questi dati ha mostrato che la concimazione azotata (dose e frazionamento) influenzava il tasso di raggiungimento del potenziale proteico. Alcune varietà sono stabili e altre instabili a prescindere che siano coltivate in condizioni sperimentali o reali. I risultati dei due scenari sono coerenti tra loro; questa congruenza fa supporre che i dati sperimentali permettano di prevedere con buona approssimazione l'evoluzione della resa delle varietà coltivate in condizioni reali.

Summary

Protein potential of winter wheat varieties

A «protein potential» concept has been developed by analogy with the «grain yield» concept, with the aim of better understanding the factors influencing wheat protein content and identifying the most stable varieties as well as the amount of protein that remains to be reached. The protein potential of 18 varieties of winter wheat covering all quality categories was established experimentally, and varied from 13.0% to 16.6%, according to the variety. Additional experimental data were used to evaluate the frequency at which the protein potential was achieved in the various conditions. Close to 5000 protein-content values stemming from practice (Fenaco GOF) also enabled a comparison of the performances of the varieties in both tests and practice. The analysis of these data demonstrated that the amount of nitrogen fertiliser applied as well as the splitting of applications influenced the rate of achievement of protein potential. Certain varieties are stable and others unstable, whether they are cultivated under test or practical conditions. The results from both sources are consistent, suggesting that the research data allow an accurate prediction of the performance of the varieties grown under practical conditions.

Key words: protein potential, winter wheat, variety stability, nitrogen fertilization.

Bibliographie

- Brabant C. & Levy L., 2016. Influence de la fumure azotée et de son fractionnement sur la qualité boulangère du blé. *Recherche Agronomique Suisse* **7** (2), 88–97.
- Evans L. T. & Fischer R. A., 1999. Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Sci.* **39**, 1544–1551.
- Halvorson A.D., Black A. L., Sobolik F. & Riveland N., 1976. Proper Management – Key to successful winter wheat recropping in Northern Great Plains. *Farm Research* **33** (4).
- Levy L., Schwaerzel R. & Kleijer G., 2007. Influence de la fumure azotée sur la qualité des céréales panifiables. *Revue suisse d'Agriculture* **39**, 255–260.
- 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.
- Simmonds, Norman W., 1995. The Relation Between Yield and Protein in Cereal Grain. *J Sci Food Agric.* **67**, 309–315.
- Slafer G. A., Andrade F. H. & Feingold S. E., 1990. Genetic improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: relationships between nitrogen and dry matter. *Euphytica* **50**, 63–71.
- Solh M., 2015. Pulses for Food Security, Nutrition and Environment: the Role of Science & Technology to Enhance Productivity and Production of Pulses in FAO Launch Ceremony of the International Year of Pulses 2016. Accès: 21 juin 2016 http://iyp2016.org/resources/documents/related-documents/72-iyp-launch-dr-m-solh-presentation/file
- 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. Accèshttp://www.swissgranum.ch/files/2014-05-28_mm_loesung_proteingehalt_f.pdf[21 juin 2016]
- Taub D. R., Miller B. & Allen H., 2008. Effects of elevated CO_2 on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Gobal Change Biology* **14**, 565–575.
- Triboi E. & Triboi-Blondel A. M., 2002. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem - invited paper. *Eur. J. Agron.* **16**, 163–186.
- Varga B., Svecnjak Z., Jurkovic Z., Kovacevic J. & Jukic Z., 2003. Wheat grain and flour quality as affected by cropping intensity. *Food Tech. and Biotech.* **41**, 321–329.
- Feng Z., Rütiing T., Pleijel H., Wallin G., Reich P. B., Kammann C. I., Newton P. C. D., Kobayashi K., Luo Y. & Uddling J., 2015. Constraints to nitrogen acquisition of terrestrial plants under elevated CO_2. *Global Change Biology* **21**, 3152–3168.