

# Effets de la variété et du milieu sur la viscosité du blé

Lilia Levy, Yosra Ellemsi et Didier Pellet

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

Renseignements: Lilia Levy, e-mail: lilia.levy@agroscope.admin.ch



La diversité des blés (et des autres espèces) se répercute sur la viscosité.

## Introduction

Le blé est devenu un composant majeur des aliments pour les animaux (Grosjean *et al.* 1998). L'intérêt de son utilisation résulte de sa teneur énergétique élevée et du coût intéressant de cette énergie, comparé à celui des autres matières premières. Différentes études ont montré que l'énergie métabolisable du blé est très variable. La viscosité de l'extrait aqueux des blés est un paramètre de qualité qui peut influencer cette énergie métabolisable. En effet, les lots de blé caractérisés par une viscosité faible ont une énergie métabolisable plus importantes que ceux à forte viscosité (Vilariño 2008).

Malgré les connaissances établies sur l'effet de la viscosité et sur son importance dans l'alimentation des monogastriques ainsi que dans l'alimentation humaine, ce paramètre qualitatif n'a guère été pris en compte dans la pratique en Suisse. L'ajout d'additifs dans les aliments augmente l'énergie métabolisable du blé et diminue la viscosité (Vilariño *et al.* 2009). Cependant, de bonnes

connaissances sur la viscosité des variétés et sur l'impact du milieu permettent aussi d'obtenir des fourrages adaptés au bétail.

### Les objectifs de ce travail sont:

- Faire le point sur les connaissances actuelles au sujet de la viscosité en tant que paramètre qualitatif dans l'alimentation animale et humaine;
- Montrer la gamme de viscosité présente dans les blés actuels et évaluer les facteurs qui influencent sa variabilité;
- Etudier les corrélations entre la viscosité et les paramètres agronomiques et qualitatifs.

### Qu'est-ce que la viscosité?

La viscosité est un indicateur indirect de la prévalence de polysaccharides hydrosolubles non amylacés (Carré *et al.* 1994) au niveau de la paroi cellulaire. Les principaux polysaccharides responsables de la viscosité sont les arabinoxylanes dans les blés (Shewry et Ward, 2012) et les

béta-glucanes (essentiellement dans l'orge). Ces structures accumulent de l'eau à travers leurs molécules ramifiées (Saulnier *et al.* 2007). Elles font partie des fibres alimentaires qui ont un effet important sur la qualité nutritionnelle des céréales (Saulnier *et al.* 2007).

Les principaux avantages des arabinoxylanes dans la santé humaine sont un effet d'abaissement de la lipémie dans le sang, y compris du mauvais cholestérol impliqué dans les maladies cardiovasculaires, ainsi qu'un effet favorable sur la flore du côlon, ce qui peut réduire le risque de cancer (Adam *et al.* 2003). Par contre, dans le cas de l'affouragement aux monogastriques, notamment à la volaille et aux porcs, les céréales dont la viscosité est élevée peuvent avoir un effet anti-nutritif (Moss et Givens 2001), à savoir une activité enzymatique réduite dans l'intestin de l'animal, un ralentissement du passage du bol alimentaire et un taux d'absorption des aliments diminué (Grosjean et Barrier-Guillot 1996; Strnad 2009). De plus, une viscosité élevée du fourrage peut entraîner des diarrhées non infectieuses, une excrétion ramollie défavorable et pouvant causer une prolifération microbienne (Grosjean et Barrier-Guillot, 1996; Strnad 2009). Les jeunes poulets et porcins sont les plus affectés par une viscosité trop élevée des céréales et expriment plus fortement la valeur énergétique diminuée de la céréale (Vilariño 2008). La mesure de la viscosité des lots de blé est un moyen simple pour choisir des lots adaptés aux volailles et aux porcs (Grosjean *et al.* 1998).

### Les facteurs affectant la viscosité

La variabilité de la viscosité dépend de plusieurs facteurs. Le déterminisme génétique est le principal facteur connu de variabilité de la viscosité (Oury *et al.* 1998; Martinant *et al.* 1998; Gebruers *et al.* 2010; Vilariño 2008).

Différentes études ont présenté des résultats contradictoires quant à l'effet du milieu sur la viscosité. Zhang *et al.* (2010) ont montré que la viscosité augmente sous un stress hydrique ou si les températures sont élevées. Coles *et al.* (1997) ont trouvé une corrélation positive entre viscosité et stress hydrique. Dans une étude sur sept variétés de blé, Levy Haener (2011) a montré que la viscosité du blé diminue quand la moyenne de température journalière est élevée durant une période critique de 15 jours après l'épiaison.

Selon Vilariño (2008), les pratiques culturales (notamment la fertilisation, la date de semis et la protection fongicide), le type de blé (panifiable ou non) et le mode de conservation des grains n'ont pas d'effet sur la variabilité de la viscosité. L'irrigation et le stress hydrique n'exercent qu'un effet mineur sur la viscosité (Levy Haener 2011).

### Résumé

La viscosité du blé est une caractéristique qualitative des céréales. Certaines études indiquent des effets positifs pour la santé humaine liés à une viscosité élevée, tels qu'un abaissement du cholestérol ou la réduction des risques de cancer. Mais dans le cadre de l'affouragement du bétail, notamment des animaux monogastriques, des viscosités basses sont souhaitables. En effet, une viscosité élevée réduit entre autres l'activité enzymatique dans l'intestin de l'animal, ralentit le passage du bol alimentaire et diminue le taux d'absorption des aliments. Pour contrecarrer ces inconvénients, l'industrie enrichit les mélanges fourragers avec des enzymes.

La viscosité de 48 variétés de blé a été analysée, 24 variétés ayant été testées pendant les trois ans d'essai. Cette caractéristique est hautement dépendante de la variété, mais varie aussi selon les conditions pédoclimatiques de la culture. 70 % des variétés étudiées présentent une viscosité moyenne adaptée à l'affouragement. La viscosité n'est liée avec pratiquement aucune autre caractéristique agronomique (notamment le rendement en grain) ou qualitative. Toutefois, un sous-échantillon de 11 variétés montre une corrélation négative entre viscosité et teneur en protéine.

Les résultats de cette étude montrent que les producteurs disposent de variétés avec des viscosités très contrastées. Une connaissance approfondie de la viscosité des variétés et leur utilisation ciblée pourrait contribuer à réduire l'utilisation des enzymes dans les mélanges, surtout dans les cas où l'éleveur produit lui-même la matière première pour l'affouragement de ses animaux.

**Tableau 1 | Itinéraire technique des essais et données météorologiques: température moyenne (T moy) et précipitations cumulées (P cumm) entre le 1<sup>er</sup> février et le 10 juillet pour chaque année d'essai**

Lieu	Altitude (m)	Date de semis	Fertilisation azotée		Date de récolte	T moy. (°C)	P cumm. (mm)
			Date	Quantité appliquée (kg N/ha)			
Changins	430	07.10.2009	5/03 et 30/03/2010	40+70	12.07.2010	10,9	337
		11.10.2010	21/02 et 10/03/2011	40+50	07.07.2011	12,6	216
		12.10.2011	26/02,21/03 et 17/04/2012	43+62+35	18.07.2012	11,1	421
Goumoëns	610	14.10.2009	6/03, 20/03 et 8/04 2010	50+60+30	21.07.2010	9,4	266
		12.10.2010	23/02 et 25/03/2011	55+55	28.07.2011	11,6	325
		13.10.2011	07/03 et 26/03/2012	50+90	23.07.2012	9,8	368

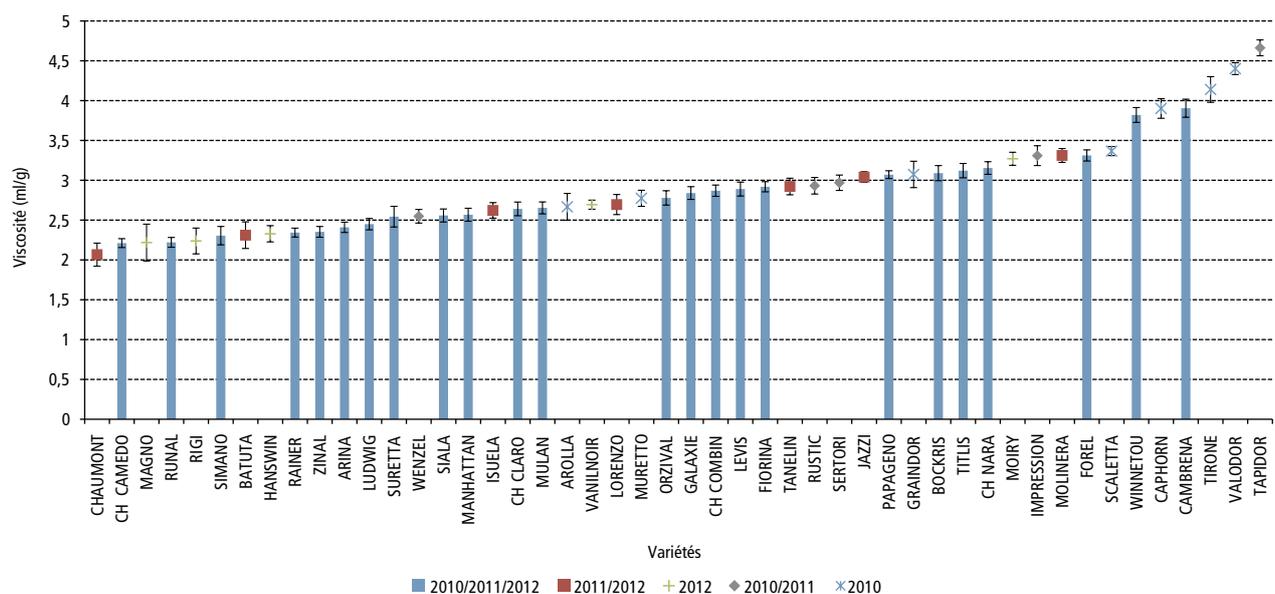
### Viscosité et paramètres agronomiques et qualitatifs

Peu de paramètres agronomiques et qualitatifs semblent être liés à la viscosité. Le rendement en grain, le poids à l'hectolitre ou le poids de mille grains ne sont pas corrélés à la viscosité (Dornez *et al.* 2008a; Levy Haener 2011). En ce qui concerne les paramètres qualitatifs, certaines études montrent un lien entre viscosité et protéines (Dornez *et al.* 2008b; Levy Haener 2011), d'autres n'ont observé aucun lien (Carré et Oury 2001).

### Matériel et méthodes

Quarante-huit variétés de blé ont été testées au total en 2010, 2011 et 2012. Ces variétés appartiennent à différentes classes de qualité. Les essais ont été semés en

petites parcelles (7,1 m<sup>2</sup>) disposées en lattice avec trois répétitions. La moitié des variétés (24) était présente pendant les trois années d'expérimentation et a servi comme base pour les analyses statistiques. Les essais ont été conduits en mode extenso (sans application de régulateurs de croissance, ni de fongicides), avec un maximum de 140 kg N/ha/an (tabl. 1), sur deux sites très contrastés du canton de Vaud (Changins et Goumoëns). Goumoëns se caractérise par des sols plus profonds et plus riches en matière organique que Changins. Les sols de Changins sont riches en argile. En tenant compte de la période reprise de la végétation – maturité (début février - 10 juillet), on constate que 2012 était l'année la plus humide, 2011 l'année la plus chaude et 2010 l'année la plus fraîche. Changins était plus sec en 2011, tandis que Goumoëns l'était en 2010.

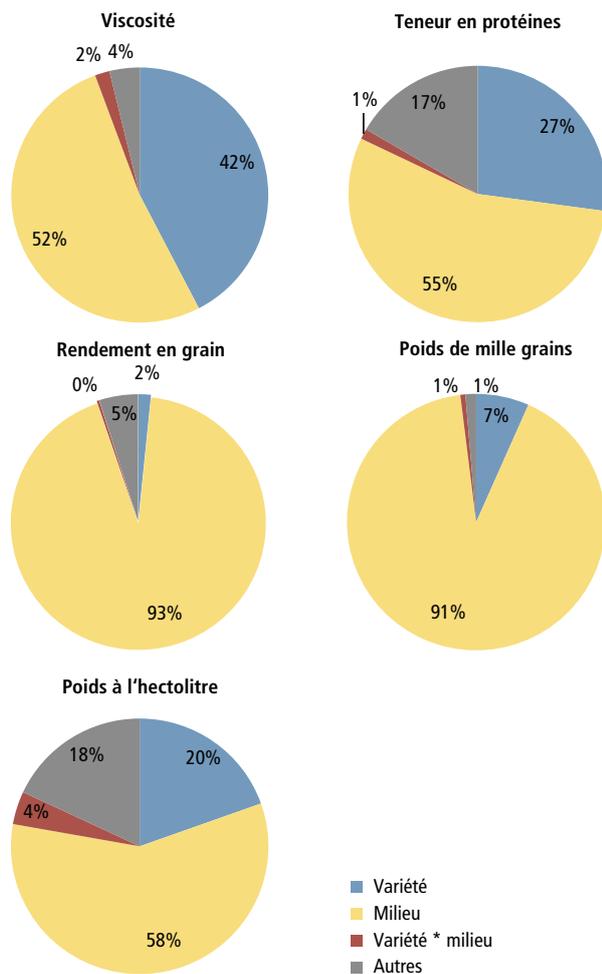


**Figure 1 | Viscosité moyenne de 48 variétés, cultivées à Changins et à Goumoëns pendant les années 2010, 2011 et 2012. Seules les 24 variétés analysées pendant les trois années sont représentées par des histogrammes (n = 18); les symboles indiquent la valeur moyenne des variétés testées pendant une (2010, 2012; n = 6) ou deux années (2010/2011, 2011/2012; n = 12). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard sur la moyenne.**

**Tableau 2** | Paramètres qualitatifs (viscosité et teneurs en protéines) et agronomiques (rendement, PMG et PHL) des 24 variétés cultivées pendant trois années (2010, 2011 et 2012) dans deux sites (Changins et Goumoëns). Les valeurs moyennes avec les erreurs standards (n= 18) sont indiquées

		Viscosité (ml/g)	Protéines (%)	Rendement (dt/ha)	PMG (g)	PHL (kg)
Variétés	Classe de qualité					
CH CAMEDO	TOP	2,2 ±0,06	13,1 ±0,29	67,0 ±4,42	45,8	79,2
RUNAL	TOP	2,2 ±0,06	14,1 ±0,20	63,8 ±3,77	47,5	80,9
RAINER	II	2,3 ±0,06	11,7 ±0,31	73,0 ±5,31	46,1	80,5
SIMANO	I	2,3 ±0,12	13,0 ±0,34	66,4 ±4,05	48,1	78,9
ARINA	I	2,4 ±0,07	13,9 ±0,24	61,7 ±3,78	44,9	81,6
LUDWIG	II	2,4 ±0,07	11,8 ±0,30	68,9 ±3,85	49,8	79,7
ZINAL	I	2,4 ±0,07	13,1 ±0,25	66,3 ±4,42	46,8	82,1
SURETTA	I	2,5 ±0,13	13,6 ±0,27	62,3 ±4,11	43,2	77,7
CH CLARO	TOP	2,6 ±0,09	13,0 ±0,26	68,0 ±4,85	46,1	79,5
MANHATTAN	TOP	2,6 ±0,08	10,5 ±0,30	75,5 ±5,11	44,7	76,1
SIALA	TOP	2,6 ±0,08	13,5 ±0,29	63,6 ±4,76	46,8	80,9
MULAN	F	2,7 ±0,07	10,9 ±0,26	73,2 ±4,30	46,8	79,3
GALAXIE	II	2,8 ±0,08	12,3 ±0,35	63,5 ±4,39	43,8	78,4
ORZIVAL	I	2,8 ±0,09	13,0 ±0,22	72,0 ±3,89	47,0	79,0
CH COMBIN	I	2,9 ±0,07	12,5 ±0,35	65,4 ±4,63	51,8	78,9
FIORINA	I	2,9 ±0,06	13,0 ±0,40	67,3 ±4,23	47,3	81,2
LEVIS	II	2,9 ±0,09	12,9 ±0,23	65,6 ±3,89	47,9	80,0
BOCKRIS	F	3,1 ±0,09	11,5 ±0,27	75,7 ±4,53	49,4	77,6
PAPAGENO	F	3,1 ±0,05	10,8 ±0,31	72,6 ±5,20	42,8	80,2
TITLIS	TOP	3,1 ±0,09	13,8 ±0,29	63,4 ±3,91	46,8	81,1
CH NARA	TOP	3,2 ±0,08	14,1 ±0,22	63,4 ±4,25	43,0	82,1
FOREL	II	3,2 ±0,11	13,2 ±0,26	67,0 ±4,25	42,1	81,0
WINNETOU	F	3,8 ±0,09	10,7 ±0,20	75,8 ±4,38	43,4	76,9
CAMBRENA	B	3,9 ±0,11	11,4 ±0,27	71,1 ±4,05	42,8	78,6
PPDS (%)		0,12 **	0,44 **	5,81 **	1,28 **	1,82 **
<b>Année</b>						
2010		2,9 ±0,05	12,4 ±0,12	76,0 ±0,94	48,0	78,7
2011		2,7 ±0,04	13,0 ±0,16	68,2 ±2,15	46,8	80,6
2012		2,8 ±0,05	12,3 ±0,11	60,0 ±0,91	43,4	79,6
PPDS (%)		0,04 **	0,16 **	2,06 **	0,45 **	0,64 **
<b>Lieu</b>						
Changins		2,9 ±0,04	12,8 ±0,13	56,3 ±0,99	46,0	80,5
Goumoëns		2,7 ±0,41	12,4 ±0,97	79,7 ±3,71	46,1	78,8
PPDS (%)		0,04 **	0,13 **	1,68 **	n.s.	0,52 **

\*significatif à P = 0, 05; \*\*significatif à P = 0,01  
n.s.: non significatif. B = variété biscuitière et F = variété fourragère.



**Figure 2** | Part de la variabilité totale (somme des carrés moyens de l'analyse de variance) de divers paramètres (viscosité, teneurs en protéines, rendement en grain, poids de mille grains et poids à l'hectolitre) expliquée par la variété (24), le milieu (6 combinaisons lieu x année) et l'interaction variété\*milieu. Les autres interactions et l'erreur sont rassemblés sous «Autres».

### Observations et mesures

Le rendement (standardisé à 15% d'humidité), le poids de mille grains (PMG), le poids à l'hectolitre (PHL), le taux de protéines et la viscosité ont été mesurés pour chaque répétition. L'indice de Zeleny, test donnant une indication sur la qualité des protéines, a été mesuré sur le mélange des répétitions.

La teneur en protéines dans les grains a été mesurée à l'aide d'une spectroscopie proche infrarouge (NIRS, Büchi Nirflex N-500, Büchi Labortechnik AG, Flawil). La viscosité potentielle a été mesurée à l'aide d'un viscosimètre (AVS370, Schott-Instruments, Allemagne) équipé de capillaires Micro Ostwald comportant 2 ml de capacité. Les résultats ont été exprimés en (ml/g de farine) et calculés en tant que logarithme de la viscosité de l'extrait par rapport à celle de la solution tampon.

### Analyse statistique

L'analyse de la variance et les tests de Fisher ont été calculés avec le logiciel WIDAS (Delivery and Analysis System, Waelti AG, Buchs, Suisse). Les tests de corrélation de Pearson ont été calculés avec XLSTAT 2011.2.04, la significativité de la pente a été établie avec le logiciel SigmaPlot 12.0.

## Résultats et discussion

### Viscosité

Au cours des trois ans d'essais, la viscosité de 48 variétés a été analysée. Les variétés couvrent une large gamme de viscosités allant de 2,1 à 5,7 ml/g pour les valeurs individuelles. Cinq catégories sont représentées (fig. 1): 24 variétés présentes en 2010, 2011 et 2012, douze variétés présentes pendant deux années successives (2010 et 2011 ou 2011 et 2012), six variétés qui ont été cultivées pendant une seule année (2010 ou 2012).

Le tableau 2 donne les résultats statistiques obtenus pour les 24 variétés présentes durant les trois années d'essai. Avec des rendements supérieurs à 70 dt/ha, les variétés fourragères Winnetou et Bockris sont les plus productives. Elles se caractérisent par des viscosités des grains élevées (3,8 et 3,1 ml/g respectivement) et un taux de protéines faible (10,7 et 11,5 % respectivement). La variété biscuitière Cambrena présente des caractéristiques semblables à celles des variétés fourragères et la viscosité la plus élevée (3,9 ml/g). Les variétés de classe TOP CH Camedo et Runal obtiennent les plus faibles viscosités (de l'ordre de 2,2 ml/g), des taux de protéines importants (13,1 et 14,1 % respectivement) et des rendements inférieurs à la moyenne générale (67 et 63,8 dt/ha respectivement; tabl. 1). Les variétés Titlis et CH Nara ont des teneurs en protéines importantes (13,8 et 14,1 % respectivement) accompagnées des viscosités élevées (3,1 et 3,2 ml/g respectivement).

Les années 2010, 2011 et 2012 se sont révélées très différentes au niveau climatique. Ceci s'est répercuté sur tous les critères observés (tabl. 2). Dans cette étude, les différences pédoclimatiques entre les deux lieux d'essais se sont traduites par des différences très marquées sur la plupart des critères observés. Seuls les PMG ne se distinguent pas entre les sites.

### Facteurs influençant les paramètres qualitatifs et agronomiques

La variation de la viscosité est attribuée principalement à l'effet du milieu et de la variété, soit respectivement 52 et 42 % (fig. 2). D'après la littérature (Oury *et al.* 1998; Martinant *et al.* 1998; Gebruers *et al.* 2010; Vilarriño, 2008), le déterminisme génétique de la viscosité

**Tableau 3** | Corrélations de Pearson (r) entre les différents paramètres avec niveau de signification (analyse sur 24 variétés testées pendant trois années sur deux lieux)

Paramètres	Rendement en grain (dt/ha)	Poids de mille grains (g)	Poids à l'hectolitre (kg/hl)	Teneurs en protéines (%)
Poids de mille grains (g)	0,39 ***			
Poids à l'hectolitre (kg/hl)	-0,21 ***	0,09 n.s.		
Teneurs en protéines (%)	-0,38 ***	-0,18 ***	0,21 ***	
Rendement en protéines (kg/ha)	0,90 ***	0,33 ***	-0,13 **	0,04 n.s.
Viscosité (ml/g)	0,08 n.s.	0,05 n.s.	-0,07 n.s.	-0,36 ***
Précocité	0,26 ***	-0,04 n.s.	-0,25 ***	-0,38 ***
Hauteur (cm)	0,47 ***	0,08 n.s.	-0,21 ***	-0,46 ***

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

est important. Dans le cadre de cette étude, la variabilité expliquée par la variété atteint un niveau considérable (42 %), mais elle est plus faible qu'attendu. En effet, les différences de viscosité pour une même variété cultivée à différents endroits étaient plus importantes que celles qui distinguaient une variété à viscosité élevée d'une variété à viscosité faible. Ces variations sont essentiellement dues à quelques variétés peu stables, notamment Suretta et Simano; celles-ci obtiennent à Goumoëns en 2012 des valeurs particulièrement faibles (environ 60 % de leur valeur moyenne). D'autres variétés, telles que Orzival, CH Claro ou Cambrena, ont également contribué à cette forte fluctuation des valeurs.

A quelques exceptions près, nos résultats confirment néanmoins les observations de Oury *et al.* (1998) qui ont rapporté que la viscosité est un critère relativement stable et très dépendant du génotype. Comparée aux autres critères analysés, tels que la teneur en protéines ou le rendement en grain, la viscosité reste le critère le plus influencé par le choix variétal.

Les variations de la teneur en protéines des grains et du PHL s'expliquent aussi en bonne partie par le choix variétal (respectivement 27 % et 20 %), mais l'effet du milieu reste prépondérant (respectivement 55 % et 58 %). Pour la teneur en protéines, Mut *et al.* (2010) obtiennent des résultats proches des nôtres.

La variabilité du rendement en grain et du PMG s'explique presque entièrement par un effet du milieu (respectivement 93 % et 91 %). En Suisse, les principaux facteurs limitants la croissance du blé sont l'excès d'eau jusqu'au stade 3 feuilles ainsi que pendant la croissance végétative, un rayonnement solaire insuffisant (pendant la croissance reproductive) et également le stress causé par le gel (en altitude) et la chaleur (Holzkaemper *et al.* 2014). L'année 2010 a réuni les conditions idéales pour une récolte abondante, contrairement à 2012 avec un rendement en grain réduit en moyenne de 16 dt/ha

par rapport à 2010. Les deux lieux d'essais sont également très contrastés (différence de rendement moyenne de 23 dt/ha). De ce fait, la variabilité du rendement en grain est majoritairement expliquée par la variation des conditions pédoclimatiques.

### Corrélations entre les différents paramètres qualitatifs et agronomiques

Le rendement est corrélé positivement avec le PMG, la date d'épiaison ainsi que la hauteur des plantes (tabl. 3). Conformément aux observations de Grant et McCalla (1949), le rendement en grain et la teneur en protéines sont négativement corrélés ( $r=-0,38$ ). La quantité de protéines récoltée (en kg/ha) reste néanmoins étroitement corrélée avec le rendement en grain. En accord avec la littérature (Dornez *et al.* 2008a; Levy Haener *et al.* 2013), le rendement en grain et la viscosité ne sont pas corrélés. A l'intérieur de chaque classe de qualité, les viscosités peuvent considérablement diverger: Runal et CH Nara, deux variétés de classe Top, ont des rendements et teneurs en protéines comparables alors que leurs viscosités sont bien différentes (2,2 et 3,2 ml/g respectivement). La même observation peut être faite pour les variétés fourragères Mulan (2,7 ml/g) et Winnetou (3,8 ml/g).

La corrélation négative entre viscosité et teneurs en protéines ( $r=-0,36$ ) avait déjà été rapportée par Dornez *et al.* (2008b), toutefois ceux-ci avaient observé une relation plus étroite ( $r=-0,52$ ), mais statistiquement non assurée. Nos résultats confirment également une étude antérieure de Levy Haener (2011) qui a montré que la viscosité potentielle du blé diminuait quand le taux de protéines augmentait, ce qui est intéressant pour la production animale. Carré et Oury (2001) ont par contre montré qu'une augmentation de la concentration en protéines n'entraînait aucun changement de la viscosité potentielle. Nos résultats pourraient contribuer à clarifier cette contradiction. En effet, en analysant séparément pour chaque variété les résultats de viscosité et de

**Tableau 4 |** Caractéristiques de la régression linéaire entre viscosité et teneur en protéines pour les 11 variétés ayant présenté un coefficient de détermination ( $R^2$ ) significativement différent de 0

Variété	Coefficient de détermination	Pente	Nombre d'observations
CH CLARO	$R^2 = 0,57^{**}$	$a = -0,24^{**}$	$n=16$
CH COMBIN	$R^2 = 0,62^{**}$	$a = -0,16^{**}$	$n=18$
FOREL	$R^2 = 0,36^*$	$a = -0,16^{**}$	$n=17$
GALAXIE	$R^2 = 0,29^*$	$a = -0,12^*$	$n=17$
LEVIS	$R^2 = 0,26^*$	$a = -0,20^*$	$n=18$
LUDWIG	$R^2 = 0,26^*$	$a = -0,12^*$	$n=17$
MULAN	$R^2 = 0,25^*$	$a = -0,14^*$	$n=18$
PAPAGENO	$R^2 = 0,33^*$	$a = -0,09^*$	$n=18$
RAINER	$R^2 = 0,26^*$	$a = -0,09^*$	$n=18$
SIALA	$R^2 = 0,52^{**}$	$a = -0,20^{**}$	$n=18$
WINNETOU	$R^2 = 0,40^{**}$	$a = -0,30^*$	$n=18$

Niveaux de signification:  $*P < 0,05$ ;  $**P < 0,01$ .

teneur en protéines, on constate que 11 des variétés analysées montrent une relation négative entre ces deux paramètres (tabl. 4), alors que treize variétés ne montrent aucune relation. Une autre analyse par milieu toutes variétés confondues montre une relation négative significative dans quatre cas sur six. Il semble donc que l'antagonisme entre viscosité et teneur en protéines n'est pas une règle universelle, mais qu'il dépend du set de variétés analysées et des caractéristiques pédo-climatiques.

Peu de variétés remplissent toutes les exigences posées: une teneur en protéines élevée et une viscosité faible, tout en donnant un bon rendement en grain. La variété Mulan présente les valeurs de viscosité les plus basses, mais Bockris est une variété nettement plus intéressante au niveau de sa teneur en protéines. Bouguennec *et al.* (2001) estiment que la viscosité d'un blé fourrager ne devrait pas dépasser 3 ml/g pour être retenu pour des mélanges. Bockris dépasse en moyenne cette valeur limite de 0,1 ml/g, mais notre étude montre que la variabilité de la viscosité varie beaucoup d'un milieu à l'autre. De ce fait, cultivée dans des milieux où sa viscosité reste modérée, Bockris pourrait être une variété très intéressante.

## Conclusions

Un effet hautement significatif de la variété sur la viscosité a été observé, mais cette viscosité dépend aussi beaucoup des conditions pédo-climatiques. Toutes variétés confondues, une corrélation négative (faible, mais significative) entre la viscosité et la teneur en protéines du grain a été constatée; une analyse par variété révèle une corrélation négative significative pour près de la moitié des variétés testées.

En faisant abstraction de l'impact du milieu sur l'expression de la viscosité, à peu près 70 % des variétés de blé étudiées seraient adaptées pour l'alimentation des animaux monogastriques. En raison du manque de connaissances actuelles sur la viscosité des variétés, un grand nombre de variétés avec une viscosité élevée est encore cultivé pour l'affouragement. Les différences de viscosité entre variétés mise en évidence par cette étude démontrent qu'il existe déjà actuellement des variétés présentant une faible viscosité et qui sont aussi productives que les variétés à viscosité élevée.

L'avenir nous dira si ce critère sera jugé comme étant suffisamment important pour être dorénavant pris en compte dans les recommandations au producteur. ■

**Riassunto****Effetti della varietà e dell'ambiente sulla viscosità del frumento**

La viscosità del frumento è una caratteristica qualitativa dei cereali. Alcuni studi rivelano una correlazione tra una viscosità elevata ed effetti positivi sulla salute umana, quali l'abbassamento del colesterolo o la riduzione del rischio di cancro. Ma nel contesto del foraggiamento del bestiame, soprattutto nel caso degli animali monogastrici, sono preferibili viscosità basse. Una viscosità elevata, riduce infatti, tra le altre cose, l'attività enzimatica nell'intestino dell'animale, rallenta il passaggio del bolo alimentare e diminuisce il tasso di assorbimento degli alimenti. Per contrastare questi inconvenienti, l'industria arricchisce di enzimi le miscele per la foraggicoltura. È stata analizzata la viscosità di 48 varietà di frumento, e 24 varietà sono state testate nei tre anni di sperimentazione. Questa caratteristica dipende in larga misura dalla varietà, ma varia anche in base alle condizioni pedoclimatiche della coltura. Il 70 % delle varietà studiate presenta una viscosità media adatta al foraggiamento. La viscosità non è correlata praticamente con nessun'altra caratteristica agronomica (in particolare il rendimento in grano) o qualitativa. Tuttavia, un sottocampione di 11 varietà mostra una correlazione negativa tra viscosità e tenore di proteine.

I risultati dello studio mostrano che i produttori dispongono di varietà con viscosità molto diverse. Una conoscenza approfondita della viscosità delle varietà e il loro utilizzo mirato potrebbero contribuire a ridurre l'utilizzo di enzimi nelle miscele, soprattutto nel caso in cui l'allevatore produca egli stesso la materia prima per il foraggiamento degli animali.

**Bibliographie**

La bibliographie est disponible chez l'auteur.

**Summary****Effects of variety and environment on wheat viscosity**

Wheat viscosity is a qualitative characteristic of cereals. Certain studies indicate positive effects for human health linked to high viscosity, such as the lowering of cholesterol or a reduction in cancer risks. Where the feeding of livestock is concerned, however – especially monogastric animals – low levels of viscosity are desirable. In fact, among other things, a high viscosity reduces enzymatic activity in the animal's gut, slows down the passage of the alimentary bolus, and reduces the rate of absorption of the feed. To counteract these disadvantages, the industry enriches forage mixtures with enzymes. The viscosity of 48 varieties of wheat was analysed, with 24 varieties being tested during the three years of the trial. Although this trait is highly dependent upon variety, it also varies according to the pedoclimatic conditions of the crop. Seventy per cent of the varieties studied have an average viscosity that is suitable for feed. Viscosity is linked to practically no other agronomic or qualitative characteristic (particularly kernel yield). Despite this, a sub-sample of 11 varieties shows a negative correlation between viscosity and protein content. The results of this study show that producers have access to varieties with highly contrasting viscosities. In-depth knowledge of the viscosities of the different varieties and their targeted usage might contribute to a reduction in the use of enzymes in the mixtures, especially where the breeders themselves produce the raw material for feeding their livestock.

**Key words:** viscosity, wheat, varieties, protein content, GxE interaction.