

# Influence de la variété et de l'environnement sur la qualité du blé d'automne bio

Samuel Knapp<sup>1</sup>, Rosalie Aebi<sup>1</sup>, Martin Anders<sup>1</sup>, Cécile Brabant<sup>2</sup> et Jürg Hiltbrunner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 8046 Zurich, Suisse

<sup>2</sup>Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Jürg Hiltbrunner, e-mail: juerg.hiltbrunner@agroscope.admin.ch



**Figure 1** | Pain du test en panification en grand (pain d'une livre) des variétés Titlis (à gauche) et Suretta (à droite) du site de Vufflens (VD) en 2013. (Photo: Ecole professionnelle de Richemont)

## Introduction

La qualité boulangère joue un rôle central autant dans la sélection que dans la production du blé suisse. En panification industrielle, le blé issu de l'agriculture biologique doit satisfaire les mêmes exigences de qualité que le blé issu de l'agriculture conventionnelle (Keiser et Degen 2013). Bien qu'un prix intéressant soit payé aux producteurs, seul 35 % du blé planifiable bio transformé en Suisse est d'origine indigène. Les raisons invoquées sont la surface de culture trop limitée et souvent aussi la qualité boulangère insuffisante.

La qualité ne se définit pas uniquement par le volume, la forme et la saveur du produit fini, mais aussi par les composants et les propriétés de transformation. Ces dernières sont particulièrement importantes, notamment en boulangerie industrielle, qui requiert une qualité technologique élevée et constante. Étant donné le grand nombre de propriétés, quelques paramètres ou un seul ne suffisent pas à déterminer la qualité. La multitude de paramètres (onze paramètres évaluant la qualité rhéologique et six paramètres évaluant la qualité de panification) utilisés pour évaluer les variétés de blé en Suisse (schéma 90, Saurer *et al.* 1991) est la preuve manifeste de cette complexité.

Les différents paramètres de qualité sont influencés par la génétique, l'environnement (site et conditions météorologiques), la méthode culturale et leurs interactions. Dans l'agriculture biologique, les possibilités d'intervenir au niveau de l'exploitation sont limitées du fait des restrictions concernant les intrants. Par conséquent, le choix de la variété et l'influence du site ont ici une plus grande importance.

Afin de déterminer quelles sont les possibilités d'intervenir sur la qualité et de mieux comprendre l'interaction des différents facteurs, les questions suivantes ont été étudiées:

- Comment les différents paramètres de qualité sont-ils liés les uns aux autres ?
- Quel impact jouent la variété, l'environnement et leur interaction sur les différents paramètres de qualité ?
- La stabilité des paramètres de qualité diffère-t-elle selon les variétés ?

## Matériel et méthodes

Dans le réseau d'essais du blé bio coordonné par Agroscope (essais en petites parcelles avec trois répétitions; Anders et Hiltbrunner 2014), les paramètres de qualité du schéma 90 (Saurer *et al.* 1991) ainsi que le

pois de mille grains (PMG) et le poids à l'hectolitre (PHL) ont été analysés par les laboratoires de Richemont et d'Agroscope Changins sur douze variétés (classe I et TOP selon swiss granum) en 2012 et 2013 (tabl. 1). Les parcelles d'essais ont été exploitées selon la pratique de l'exploitation respective et selon les directives de l'agriculture biologique. Les évaluations sont basées sur 14 environnements (combinaisons lieu-année), les tests de panification n'ont pas pu être réalisés dans tous les essais (tabl. 1). La date de l'épiaison a été notée afin de caractériser la précocité des variétés.

Les composants de variance ont été calculés avec un modèle ( $y = \text{variété } [V] + \text{environnement } [E]$ ), dans lequel les deux facteurs ont été considérés comme aléatoires. Le même modèle a été utilisé pour le calcul des moyennes avec les deux facteurs considérés comme fixes. Les moyennes échelonnées des variétés ont permis d'effectuer une analyse des composants principaux afin d'obtenir une représentation graphique de la corrélation entre les critères. Pour étudier plus en détails l'interaction entre les variétés et l'environnement, les résidus du modèle fixe ont également été soumis à une analyse des composants principaux (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction [AMMI], Gauch 2006). La covariable environnementale «Stress caniculaire 25» a été calculée selon Holzschläger *et al.* (2014) pour chaque environnement à partir des données des stations météorologiques les plus proches (moyenne des températures journalières maximales pendant la période de végétation où la température maximale dépassait 25 °C). Toutes les évaluations statistiques ont été effectuées avec R (R Core Team 2014).

## Résultats et discussion

### Relation entre les paramètres de qualité étudiés

Les deux premiers axes de l'analyse des composants principaux expliquent 66,8 % de la variabilité totale entre les paramètres (fig. 2). Les paramètres qui vont dans la même direction (ou la direction opposée) sont en corrélation positive (ou négative) les uns par rapport aux autres. Lorsque deux paramètres forment un angle droit l'un par rapport à l'autre, cela signifie qu'ils ne sont pas corrélés. Les moyennes des variétés pour le critère consistance au farinogramme ont été multipliées par  $-1$ , car cette valeur doit être la plus basse possible.

Quatre groupes ont pu être identifiés (G1–G4) sur la base des corrélations entre les paramètres (données non indiquées), de sorte que tous les paramètres qui présentent une corrélation significativement positive ( $p < 0,05$ ), se situent dans un groupe et que les groupes ne présentent pas de corrélation significativement positive entre eux:

**Résumé** ■ Des mesures sont à l'étude actuellement pour améliorer la qualité de la production suisse de blé en condition bio. La qualité de la culture peut être influencée par le choix du site, la méthode culturale et le choix de la variété. Pour étudier les effets de la variété et de l'environnement, des essais approfondis ont été réalisés en 2012 et 2013 sur la qualité de douze variétés mises en place dans le réseau expérimental de blé bio. Il est apparu que de nombreux paramètres de qualité difficiles à mesurer étaient significativement corrélés avec des paramètres plus simples à mesurer. Toutefois, le poids de mille grains et le poids à l'hectolitre n'ont aucun rapport significatif avec d'autres paramètres. L'influence de la génétique est plus importante que celle de l'environnement pour la plupart des paramètres de qualité. Par conséquent, la sélection et le choix de la variété sont essentiels. L'analyse de l'interaction entre variété et environnement a montré que certaines variétés obtenaient des notes significativement plus basses pour des paramètres de qualité importants, comme la teneur en protéines et le volume de panification en moule, lorsque les températures étaient élevées pendant la phase de remplissage des grains. Cette réaction différente des variétés correspond de manière significative à la période de l'épiaison. Les variétés qui ont réagi aux températures élevées présentaient également une stabilité moindre pour les critères correspondants. Une fois validés à l'aide d'une base de données plus importante pour les différents maillons de la chaîne de valeur ajoutée, ces résultats pourront être utiles pour assurer une production de blé bio de première qualité en Suisse.

- G1: teneur en protéine et en gluten, résistance au pétrissage, absorption d'eau et perte de consistance de la pâte (sur la base du farinogramme), volume des trois tests de panification, points de qualité du test de panification en grand.
- G2: extensibilité la pâte de l'extensogramme, indice de sédimentation de Zeleny.
- G3: surface (=force de la pâte), résistance de la pâte à l'étirement (=ténacité ou élasticité) et ratio ténacité/extensibilité de l'extensogramme, indice de gluten.
- G4: amylogramme, temps de chute.

L'analyse des composants principaux permet également de visualiser les points forts et les points faibles des variétés en termes de critères de qualité. La variété Molinera est essentiellement positionnée en direction de G1; parmi les variétés étudiées, c'est celle qui présente les

**Tableau 1** | Minimum et maximum des moyennes de variétés et d'environnements pour les critères étudiés de douze variétés de blé d'automne et le nombre d'environnements indiqués en 2012 et 2013 dans le réseau d'essais de variétés bio d'Agroscope (min = minimum; max = maximum)

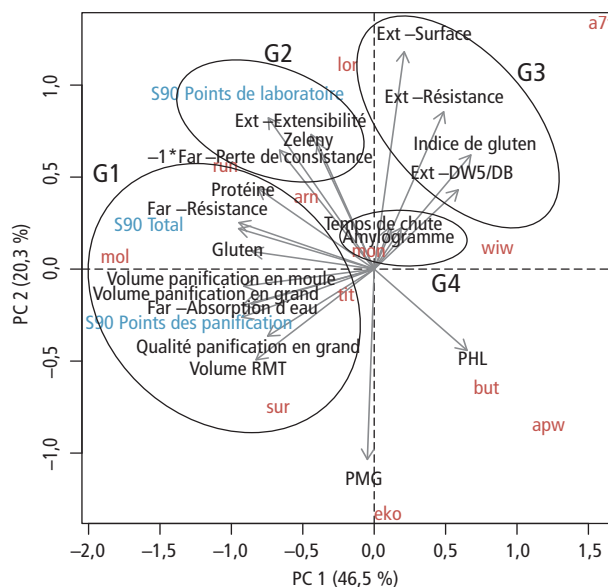
Groupe de paramètres	Critère (unité)	Abréviation	Variétés:	Environnement:	Nombre d'environnements
			min-max	min-max	
Paramètres indirects	Poids à l'hectolitre (kg)	PHL	77-82	76-85	14
	Poids de mille grains (g)	PML	39-50	38-50	14
	Teneur en protéines, à 0 % d'humidité (%)	PR	12,5-15,6	12,4-15,4	14
	Teneur en gluten humide, à 14 % d'humidité (%)	GL	26-36	25-33	14
	Indice de gluten (%)	IG	49-99	69-87	14
	Temps de chute (s)	TC	303-463	244-447	14
Paramètres rhéologiques	Indice de sédimentation de Zeleny (ml)	SED	61-72	53-76	14
	Farinogramme Absorption d'eau (%)	FAE	58-67	59-64	14
	Farinogramme Perte de consistance (FE)	FPC	55-103	60-106	14
	Farinogramme Résistance (min)	FR	2,3-7,3	2,5-6,6	14
	Extensogramme Surface (cm <sup>2</sup> )	ES	79-185	99-143	14
	Extensogramme DW5/DB (ratio)	DW5/DB	1,2-2,7	1,4-2,9	14
Qualité boulangère	Amylogramme viscosité (AE)	AMY	632-1591	379-1535	14
	Rapid mix test, volume (ml)	RMT	431-586	494-542	9
	Essai de panification en moule, volume (ml)	EP	456-636	478-579	9
	Essai de panification en grand, volume (ml)	PV	1404-2105	1608-1936	11
	Essai de panification en grand, qualité (points, 1-100)	PQ	58-85	71-81	11

DWS = ténacité, DB = extensibilité.

valeurs les plus élevées pour presque tous les critères de ce groupe (fig. 2). La variété A7T.9 se place du côté totalement opposé. Pour les critères de G1, elle présente des valeurs plutôt inférieures, mais par contre affiche l'indice de gluten le plus élevé.

La corrélation entre des paramètres simples à étudier (paramètres indirects) et des paramètres plus complexes (paramètres rhéologiques, qualité boulangère) montre qu'il est possible d'estimer grossièrement la qualité des variétés à l'aide de méthodes simples. Au total, il faut cependant enregistrer au moins quatre paramètres (indice de gluten, temps de chute, indice de Zeleny et teneur en protéines), pour pouvoir caractériser les quatre groupes identifiés ici. Le poids de mille grains et le poids à l'hectolitre ne sont pas corrélés à d'autres critères de qualité. Ils doivent donc être considérés comme des propriétés à part.

D'autres études ont déjà confirmé que la qualité ne pouvait pas être prédite uniquement sur la base de la teneur en protéines (Fossati *et al.* 2010). Des corrélations négatives ne signifient pas forcément qu'un indice de gluten plus bas conduise par exemple à un volume de panification plus élevé. De telles relations montrent qu'il peut être difficile d'améliorer simultanément deux paramètres différents lors de la sélection. La corrélation



**Figure 2** | Analyse des composants principaux sur la base de l'échelle des moyennes des douze variétés pour les environnements indiqués dans le tableau 1. Il existe des corrélations significativement positives entre les critères de qualité (abréviations cf. tabl. 1) au sein des groupes (G1-G4), tandis qu'il n'existe pas de corrélations significativement positives entre les groupes. Abréviations des variétés: a7t = A7T.9, apw = APW.1110, arn = Arnold, but = Butaro, eko = Ekolog, lor = Lorenzo, mol = Molinera, mon = Montdor, run = Runal, sur = Suretta, tit = Titlis, wiw = Wiwa

**Tableau 2 |** Variance (%) expliquée par la variété et l'environnement pour les critères de qualité étudiés de douze variétés de blé d'automne (années 2012 et 2013). Abréviations des critères et nombre d'environnements utilisés, cf. tableau 1.

Effet	Paramètres indirects							Paramètres rhéologiques						Qualité boulangère			
	PHL	PMG	PR	GL	IG	TC	SED	FAE	FPC	FR	ES	DW5/DB	AMY	RMT	EP	PV	PQ
Variété (V)	40,6***	41***	41***	44,3***	70***	35***	12,8***	61***	44,8***	47,7***	72,8***	33,5***	32,3***	59***	45,6***	56***	68,5***
Environnement (E)	48,9***	40,5***	36,2***	24,3***	7,3***	48***	62,8***	21,6***	25,8***	19,7***	10,5***	49,1***	52,2***	11,1**	24***	16,9***	5,6**
Erreur résiduelle (VxE)	10,5	18,6	22,8	31,4	22,7	17,1	24,4	17,4	29,4	32,6	16,7	17,5	15,5	29,9	30,4	27,1	25,9
Rapport VE	0,8	1	1,1	1,8	9,5	0,7	0,2	2,8	1,7	2,4	6,9	0,7	0,6	5,3	1,9	3,3	12,2

\*\*\* = significatif (P < 0.001) selon le test Likelihood-Ratio

négative entre les paramètres de l'extensogramme et les tests de panification montre que la qualité boulangère et la qualité de transformation ne se recoupent pas automatiquement. Pour une évaluation approfondie de la qualité des variétés, il est donc toujours nécessaire de relever tous les paramètres compris dans le schéma 90 (Saurer *et al.* 1991).

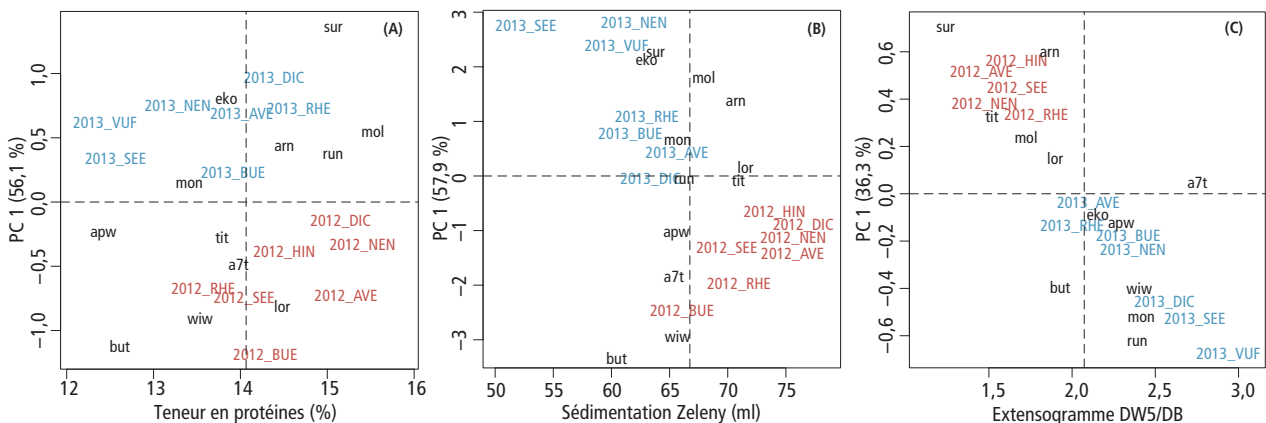
### Influence de la variété et de l'environnement

Les résultats qualité obtenus en 2012 et 2013 ont été fortement influencés par la variété et par l'environnement (Anders et Hiltbrunner 2014). L'influence de ces deux facteurs sur l'ampleur des paramètres peut être déterminée en calculant la part de chacun des composants de la variance par rapport à la variance totale. Avec les données disponibles, on constate que le paramètre indice de gluten, les trois paramètres du farinogramme, la surface de l'extensogramme et tous les paramètres de qualité boulangère sont nettement plus influencés par la variété que par l'environnement (rapport effet de la variété/effet de l'environnement > 1,4; tabl. 2). Les paramètres de qualité boulangère, à l'exception du volume dans le test de panification en moule, sont même influencés à

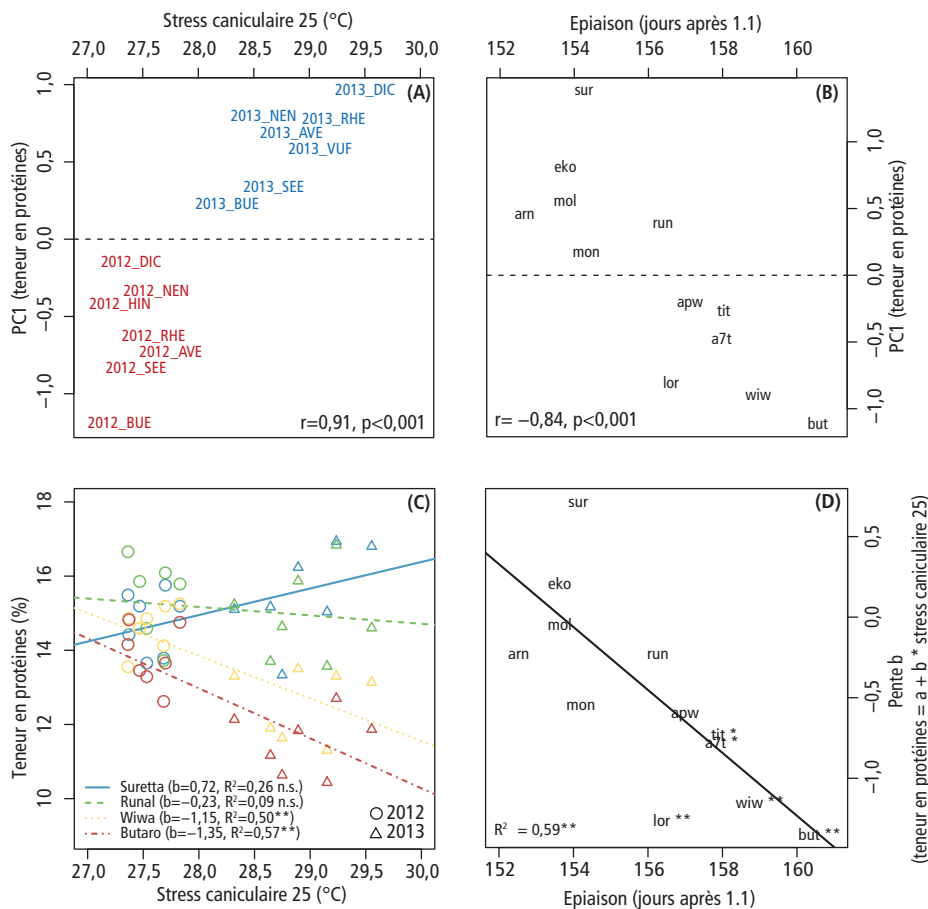
plus de 50 % par la variété. Au contraire, le temps de chute, la valeur de sédimentation, le ratio de l'extensogramme ainsi que l'amylogramme sont nettement plus influencés par l'environnement que par la variété (rapport effet de la variété/effet de l'environnement < 0,75). Suivant le critère, jusqu'à 30 % de la variance peut ne pas être attribué directement à la variété ou à l'environnement.

### Distribution de l'interaction variétés-environnement

La distribution des moyennes des variétés, et des environnements sur l'axe des x dans le schéma AMMI fournit des informations sur le rapport entre les effets principaux variété et environnement. Pour la teneur en protéines (fig. 3A) et pour le ratio ténacité/extensibilité de l'extensogramme (fig. 3C), l'amplitude de variation et par conséquent le rapport entre effet de la variété et effet de l'environnement, est similaire. Au contraire, avec l'indice de sédimentation Zeleny (fig. 3B), l'amplitude de variation des environnements est plus importante que celle des variétés, ce qui apparaît également dans le tableau 2. En outre, pour le ratio de l'extensogramme, on observe un effet annuel plus marqué avec



**Figure 3 |** Schéma AMMI pour la teneur en protéines (A), l'indice de sédimentation de Zeleny (B) et l'extensogramme DW5/DB (C) pour douze variétés de blé d'automne dans 14 environnements. Sur l'axe des x, la moyenne des variétés est indiquée en noir et celle des environnements en rouge pour 2012, en bleu pour 2013. Le premier axe de l'analyse des composants principaux est représenté sur l'axe des y. AVE = Avenches, BUE = Bünzen, DIC = Dickhof, HIN = Hindelbank, NEN = Nennigkofen, RHE = Rheinau, SEE = Seebach, VUF = Vufflens. (Abréviations des variétés cf. fig. 2).



**Figure 4** | Corrélation des valeurs PC1 de l'analyse AMMI de la teneur en protéines pour (A) les environnements avec la covariable environnementale «stress caniculaire 25» et pour (B) les variétés avec la date d'épiaison. (C) Régression de la teneur en protéines à la covariable environnementale «stress caniculaire 25» illustrée par 4 variétés pour 14 environnements. (D) Régression de la pente de (C) à la période d'épiaison (les étoiles derrière les noms des variétés correspondent à la signification de la pente: \* =  $P < 0,05$ ; \*\* =  $P < 0,01$ ). Abréviations des variétés cf. fig. 2 et abréviation des environnements fig. 3.

des valeurs plus élevées en 2013, effet inverse et moins marqué pour l'indice de Zeleny et la teneur en protéines. Dans le schéma AMMI, l'axe des y correspond aux premiers composants principaux (PC1) de l'analyse des composants principaux des résidus (interaction variété-environnement). Les variétés avec une petite valeur absolue affichent une faible interaction et sont donc plus stables, sachant toutefois que les variétés qui sont classées plus haut par exemple sont plus adaptées aux environnements qui se trouvent également plus haut dans le classement. Pour les critères teneur en protéines et indice de Zeleny, PC1 explique plus de 50 % de l'interaction. Le regroupement visible des environnements par année signifie que pour les paramètres représentés, l'interaction variété-année est responsable d'une grande part de l'interaction variété-environnement (fig. 3). Un regroupement similaire a été constaté pour tous les autres paramètres étudiés (données non indiquées). Que ce soit pour

la teneur en protéines (fig. 3A) ou l'indice de Zeleny (fig. 3B), le classement des variétés dans l'axe des y est pareil. Les variétés Suretta et Ekolog se regroupent tout en haut avec les essais de l'année 2013, les variétés Wiwa et Butaro tout en bas avec les essais de l'année 2012; c'est-à-dire que pour ces deux paramètres, Suretta et Ekolog étaient mieux adaptées aux conditions de l'année 2013, tandis que Wiwa et Butaro étaient mieux adaptées aux conditions de l'année 2012. Le même classement des variétés sur PC1 est également visible pour les critères PHL, teneur en gluten, les trois paramètres du farinogramme ainsi que les volumes des trois tests de panification (corrélation Spearman de PC1 du paramètre à tester par rapport à PC1 (protéine),  $P < 0,05$ ).

L'analyse AMMI des composants principaux fournit certes des indications sur le type d'interaction, mais ne dit rien des facteurs et des mécanismes responsables. Comme les années 2012 et 2013 se distinguent l'une de

**Tableau 3 | Stabilité (coefficient de variation en %) pour les critères étudiés de douze variétés de blé d'automne pour le nombre d'environnements indiqués dans le tableau 1 (2012 et 2013). Plus la valeur est basse, plus la variété est stable pour ce critère. Abréviations des critères, cf. tableau 1.**

Groupe	Paramètres indirects							Paramètres rhéologiques						Qualité boulangère			
	PHL	PMG	PR	GL	IG	TC	SED	FAE	FPC	FR	ES	DW5/DB	AMY	RMT	EP	PV	PQ
A7T.9	3	7	8	11	1	15	14	2	21	22	12	19	39	4	8	15	11
APW.1110	2	7	8	12	6	17	13	3	14	19	9	29	42	6	6	6	4
Arnold	3	7	7	9	15	25	7	3	28	45	18	14	45	6	13	8	4
Butaro	4	10	11	17	6	20	21	3	18	48	12	36	38	8	5	5	5
Ekolog	2	6	6	10	20	16	10	4	19	37	14	28	33	7	12	6	5
Lorenzo	4	9	10	11	8	6	10	2	15	34	13	28	18	6	9	7	5
Molinera	3	8	7	12	19	18	8	4	21	31	16	29	26	7	14	7	6
Montdor	3	6	8	11	8	14	13	3	27	49	15	33	34	5	14	8	6
Runal	3	8	7	12	20	15	10	4	14	39	12	36	16	3	10	9	5
Suretta	4	14	7	14	19	17	9	5	22	16	17	19	33	8	11	9	7
Titlis	3	6	7	9	15	15	9	2	12	20	14	28	37	6	5	6	6
Wiwa	3	7	9	13	11	9	17	2	17	36	13	29	31	4	6	8	7

l'autre notamment du fait des températures élevées en juillet 2013, la covariable environnementale «Stress caniculaire 25» a été testée comme explication possible pour les valeurs PC1 des environnements. Pour les critères PMG, teneur en protéines et en gluten, temps de chute, absorption d'eau selon farinogramme ainsi que les deux paramètres de l'extensogramme, on a observé une corrélation positive, hautement significative avec les valeurs PC1 (tous  $r > 0,8$ ,  $P < 0,001$ , fig. 4A). En outre, pour expliquer les valeurs PC1 des variétés, la période de l'épiaison a été étudiée comme covariable génétique. Pour les critères PHL, teneur en protéines et en gluten, indice de Zeleny, absorption d'eau selon farinogramme et pour le RMT (rapid-mix-test) ainsi que le volume de cuisson en moule, une corrélation significativement négative est apparue (tous  $r < -0,75$ ,  $P < 0,01$ , fig. 4B).

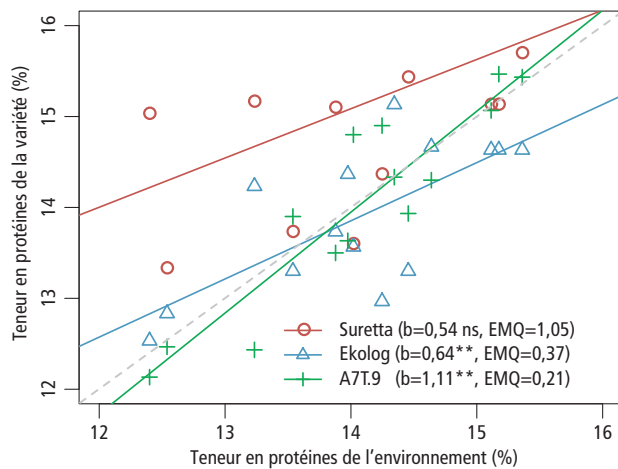
Dans la figure 4C, on constate clairement que la teneur en protéines des variétés baisse plus l'épiaison est tardive (p. ex. Wiwa, Butaro) et plus les valeurs de la covariable environnementale «Stress caniculaire 25» sont élevées, sachant que les variétés avec une épiaison précoce (p. ex. Suretta, Runal) n'ont présenté aucune réaction. Dans le cas de la teneur en protéines, cette baisse peut être expliquée à 59 % par la période de l'épiaison (fig. 4D). L'explication de la baisse enregistrée en cas de forte chaleur par la période de l'épiaison était également signifiante pour les paramètres teneurs en gluten, indice de Zeleny, absorption d'eau selon farinogramme et volume de cuisson en moule (tous  $P < 0,05$ ). Par contre, les valeurs de l'amylogramme et de la perte de consistance dans le farinogramme ont augmenté de manière significative plus la chaleur montait ( $P < 0,05$ ).

Ces résultats montrent donc que les variétés précoces (p. ex. Suretta) étaient moins influencées par les températures élevées pendant la phase de remplissage des grains en 2013. En 2013, les variétés plus tardives possédant des teneurs en protéine moins élevées avaient par contre obtenu des meilleurs rendements. Ceci est expliqué par un effet de dilution des protéines dans le grain. De plus, d'autres facteurs de stress plus tôt dans l'année (p. ex. manque de la luminosité pendant la méiose) peuvent aussi provoquer une diminution de rendement et par conséquent une augmentation du taux de protéines. Cet effet pourrait aussi expliquer partiellement le comportement particulier de la variété Suretta en 2013. En fonction des HPMW-allèles, les variétés pourraient avoir aussi un comportement de la qualité différent selon les environnements.

Dans l'ensemble, la forte interaction variété-année signifie qu'il est nécessaire de faire un test sur plusieurs années pour bien classer les variétés. Comme l'a montré une analyse de la covariable environnementale «Stress caniculaire 25» au cours des 50 dernières années pour le site de Zurich, les jours où la température dépasse 25 °C ont tendance à se multiplier. Pour éviter l'effet indésirable des températures élevées, l'alternative consiste à utiliser des variétés plus précoces ou des variétés moins sensibles aux fortes températures dans cette région.

#### Stabilité des différents paramètres de qualité

S'il est important de connaître les valeurs atteintes par les paramètres de qualité, il est aussi important de savoir si ces valeurs sont stables. Le coefficient de variation (CV) indique le degré de stabilité des paramètres d'une



**Figure 5** | Rapport entre la teneur en protéines (%) des variétés Suretta, Ekolog et A7T.9 et la teneur moyenne en protéines de l'environnement considéré ( $b$  = Pente de la régression; EMQ = erreur moyenne quadratique, \*\*=la pente se différencie de manière significative [ $P < 0,01$ ] de 0, ns = non significatif).

variété dans les environnements étudiés. Aucune des variétés étudiées n'est la plus stable pour tous les paramètres (tabl. 3). Pour la teneur en protéines, on constate que la sensibilité à la chaleur identifiée chez certaines variétés entraîne une stabilité moindre. Ainsi, les variétés à épiaison tardive (p. ex. Wiwa, Butaro) ont un coefficient de variation élevé pour la teneur en protéines et sont donc moins stables. Le coefficient de variation servant à mesurer la stabilité, une variété est déclarée stable lorsqu'elle atteint la même valeur dans tous les environnements étudiés (concept de stabilité statique). Comme il existe différentes régions et années de culture avec différents potentiels, il pourrait également être intéressant de connaître la capacité d'adaptation d'une variété à différentes conditions (concept de stabilité dynamique).

La variété Ekolog – suivie de près par Suretta – présente le plus petit coefficient de variation pour la teneur en protéines et affiche la pente  $b$  la plus faible dans la figure 5. Avec une pente aussi faible, le potentiel peut difficilement être exploité dans de meilleures conditions (teneur plus élevée en protéines). Les variétés comme A7T.9 en revanche, qui s'adaptent bien à des niveaux différents, affichent une forte inclinaison avec des valeurs s'écartant peu de la droite (erreur moyenne quadratique, EMQ). Bien qu'A7T.9 fournisse une teneur en protéines similaire à celle d'Ekolog dans tous les sites d'essai, il a été possible d'atteindre des teneurs supérieures à Ekolog dans les trois environnements (plus de 15 % de teneur en protéines). Si elle présente dans l'ensemble des teneurs en protéines élevées, la variété Suretta affiche toutefois des valeurs très basses dans certains

environnements. C'est également ce que montre l'erreur moyenne quadratique élevée (fig. 5).

## Conclusions

Pour une évaluation grossière correcte de la qualité du blé panifiable, au moins quatre paramètres doivent être utilisés, et davantage pour une évaluation complète et approfondie. Comme le PMG et le PHL ne coïncident pas avec d'autres paramètres de qualité, ces critères ne conviennent pas pour déterminer la qualité.

Pour les critères qui ont un gros impact inhérent à l'environnement, il est important de déterminer plus précisément les facteurs d'influence à l'aide d'études adaptées et d'en tirer des recommandations pour la pratique. Pour les critères fortement marqués par la génétique, il faut utiliser d'une part les possibilités d'amélioration offertes par la sélection et d'autres part celles offertes par le choix des variétés.

Les paramètres de qualité des variétés étudiées réagissent différemment aux températures élevées lors de la phase de remplissage des grains. Sachant que les températures élevées seront sans doute plus fréquentes à l'avenir, des stratégies devraient être trouvées sur ce plan, tant dans la sélection que dans le choix des variétés.

L'utilisation d'informations relative à la stabilité (selon l'approche statique comme selon l'approche dynamique) permet aux conseillers de recommander les variétés de manière plus ciblée et permet aussi aux producteurs, en cas de paiement à la qualité, de stabiliser leur rendement financier par le choix des variétés adaptées. Des qualités plus constantes seraient également bénéfiques aux maillons situés plus en aval dans la chaîne de valeur ajoutée.

Comme les résultats présentés se fondent uniquement sur des essais de deux ans avec un nombre limité de géotypes, il est important qu'ils puissent être validés à l'aide d'une série de données plus importante. ■

### Remerciements

Nous tenons à remercier BioSuisse, Fenaco, Swissem, Swisssmill, le projet UE «Solibam» (FP7 KBBE-245058) ainsi que l'Ecole professionnelle de boulangerie de Richemont pour le soutien financier qu'ils ont apporté au projet. Nous remercions également les agriculteurs participants et les collaborateurs des laboratoires de Richemont et Changins pour leur précieuse collaboration.

**Riassunto****Influenza della varietà e dell'ambiente sui parametri qualitativi del frumento autunnale biologico**

Attualmente in Svizzera vengono sperimentate misure volte a migliorare la qualità nella produzione di frumento. Nella coltivazione è possibile influire sulla qualità mediante la selezione del luogo, il tipo di gestione e la selezione varietale. Nel 2012 e nel 2013, per analizzare gli effetti della varietà e dell'ambiente, nella rete per le prove varietali sul frumento biologico sono state eseguite approfondite analisi della qualità su dodici varietà. È emerso che molte caratteristiche qualitative misurabili con mezzi dispendiosi sono correlate in modo significativo con caratteristiche misurabili in modo più semplice, mentre il peso di mille semi e il peso per ettolitro non presentano nessuna relazione significativa con altre caratteristiche. Per la maggior parte delle caratteristiche qualitative, l'influenza della genetica è maggiore rispetto a quella dell'ambiente, pertanto sono importantissime la selezione e la creazione varietale. L'analisi dell'interazione della varietà e dell'ambiente ha dimostrato che alcune varietà raggiungono valori decisamente peggiori in importanti parametri qualitativi (ad es. il tenore di proteine e il volume del pane in cassetta), se esposte a elevate temperature durante la fase di riempimento della cariosside. Questa differenza nella reazione delle varietà presenta una significativa correlazione con il momento di inizio della spigatura. Le varietà che reagivano alle elevate temperature hanno anche mostrato minore stabilità nelle caratteristiche corrispondenti. Dopo che vi sarà stata una conferma in un set di dati più grande, tali nozioni potranno aiutare i vari soggetti della catena di creazione del valore a garantire una produzione di alta qualità del frumento (biologico) svizzero.

**Bibliographie**

- Anders M. & Hiltbrunner J., 2014. Resultate der Sortenversuche und Bio-Bedingungen 2013, Definitive Auswertung, Agroscope, Zurich.
- Fossati D., Brabant C. & Kleijer G., 2010. Yield, protein content, bread making quality and market requirements of wheat. Tagungsband der 61. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 23.–25. November 2010, Raumberg-Gumpenstein, Autriche. 179–182.
- Gauch H. G., 2006. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Science* **46** (4), 1488.
- Holzkämper A., Fossati D., Hiltbrunner J. & Fuhrer J., 2014. Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for

**Summary****Influence of variety and environment on quality traits in organic winter wheat**

Measures for improving quality are currently being tested in Swiss wheat production. In cultivation, quality can be influenced by choice of site, management, and variety. In order to investigate the effects of variety and the environment, comprehensive quality tests were performed on 12 varieties in the Organic Wheat Trial Network in 2012 and 2013. It became apparent that many quality traits which are laborious to measure correlated significantly with traits which are easier to measure, while the thousand-kernel weight and the test weight do not correlate significantly with any other trait. For most quality traits, the influence of the genetic effect is greater than that of the environment; hence, breeding and variety choice are very important. The analysis of the interaction showed that under high temperatures during grain filling some varieties yield significantly lower values for important quality traits such as e.g. protein content and tin baking volumes. This different reaction of the varieties correlated significantly with the time of ear emergence. Varieties which reacted to the high temperatures also showed a lower stability for the respective trait. These findings may be helpful for ensuring high-quality Swiss (organic) wheat production once a larger dataset has been validated for the various actors in the value chain.

**Key words:** winter wheat, organic farming, baking quality, bread, dough properties.

grain maize and winter wheat in Switzerland. *Regional Environmental Change* **15** (1), 109–122.

- Keiser A. & Degen C., 2013. Mehr Swissness im Bio-Brot: Angebot und Qualität von hiesigem Bio-Weizen steigern. *InfoHAFL* **16**, 16–17.
- R Core Team, 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche.
- Saurer W., Achermann J., Tièche D., Rudin P.M. & Mändli K., 1991. Das Bewertungsschema '90 für die Qualitätsbeurteilung von Weizenzüchtungen. *Landwirtschaft Schweiz* **4**, 55–57.