

Assolement, travail du sol, variété et protection fongicide en production céréalière

Raphaël Charles, Edouard Cholley, Peter Frei, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon
Renseignements: Raphaël Charles, e-mail: raphael.charles@acw.admin.ch, tél. +41 22 363 46 59



La rotation céréalière se doit d'être équilibrée. Les techniques culturales ne compensent que partiellement les risques phytosanitaires.

Introduction

La pression est grande de simplifier les systèmes de culture: rotation des cultures dominée par la production céréalière, travail du sol sans labour et limitation de la protection phytosanitaire sont autant de voies de réduction des coûts ou d'extensification. Le choix variétal intervient également dans ces processus. Selon les bases de la protection intégrée (Häni *et al.* 1990), une rotation des cultures diversifiée réduit les risques phytosanitaires. De même, le travail du sol enfouit les résidus de récolte et réduit la transmission de maladies ou de ravageurs

d'une culture à l'autre. Enfin, le choix variétal permet de disposer de tolérances aux bio-agresseurs. Chacun de ces facteurs apporte une contribution spécifique au système de culture, qu'il s'agit d'intégrer au mieux.

Dans un essai de longue durée consacré à la rotation céréalière, Vullioud (2007) a observé une perte de rendement de 15 % avec un blé en monoculture comparativement à un blé en rotation. Les différents modes de travail du sol, de gestion des résidus de récolte, de la fumure azotée ou du déchaumage testés dans le but d'atténuer les effets négatifs de la monoculture n'ont pas eu d'effet significatif. Par contre, l'effet des traite-

ments fongicides était significatif, mettant en évidence les risques phytosanitaires plus élevés avec une charge céréalière supérieure à 50 %.

Cet essai de longue durée a été adapté dès 2006, les facteurs variété et protection fongicide venant s'ajouter aux facteurs assolement et travail du sol déjà existant. Par ce complément, il s'agissait d'évaluer dans quelle mesure la tolérance variétale aux maladies et la protection fongicide permettaient de compenser les risques phytosanitaires dus à une charge élevée en céréales. Certains travaux ont démontré qu'aucune fertilisation supplémentaire ou protection phytosanitaire renforcée ne pouvaient compenser les effets d'une rotation des cultures déséquilibrée (Berzsenyi *et al.* 2000). Toutefois, les conséquences de la monoculture varient selon les régions du globe et peuvent être acceptables dans certaines conditions culturales (Lithourgidis *et al.* 2006). Ces observations sont-elles applicables dans les conditions pédoclimatiques et culturales de nos régions ? Cet article étudie le rendement du blé d'automne sous la contrainte des facteurs assolement, travail du sol, variété et protection fongicide, avec l'hypothèse que seul un système intégré permet d'atteindre des performances élevées. Les observations sur l'état phytosanitaire des plantes pendant la phase de végétation et sur la qualité des récoltes seront présentées dans un article à suivre.

Matériel et méthode

Le dispositif expérimental consacré à la rotation céréalière a été installé en 1967 à Nyon (Changins, 430 m). Le sol est du type sol brun lessivé, avec 25 % d'argile, 48 % de silt et 27 % de sable, pour une profondeur utile de 70 à 100 cm. En 2004, la teneur en matière organique se situait entre 2,0 et 2,3 % et les indices de fertilité P, K et Mg étaient satisfaisants (Vullioud 2007).

Les cultures de blé d'automne durant la période 2006 à 2010 font l'objet de la présente étude. Quatre procédés du schéma expérimental de longue durée (Vullioud 2007) ont été retenus. Ils correspondent à la combinaison des facteurs assolement (monoculture ou rotation blé d'automne, colza d'automne, blé d'automne, maïs) et travail du sol (labour ou techniques culturales simplifiées). Ces quatre procédés ont été complétés par deux sous-variantes supplémentaires (choix variétal et protection fongicide). Deux variétés aux caractéristiques agronomiques et technologiques contrastées ont été comparées: Arina de la classe I, présente dans le dispositif depuis 1992, ainsi que Tapidor de type fourrager (Levy *et al.* 2010). Deux niveaux de protection fongicide ont été introduits: aucune protection, ou 3 traitements ciblés sur les maladies du pied (prochloraze, BBCH

Résumé

Dans le cadre d'un essai de longue durée consacré à la rotation céréalière, les facteurs variété et protection fongicide ont été ajoutés durant trois années (2006, 2008 et 2010) aux facteurs assolement et travail du sol déjà étudiés depuis 1967. Par ce complément, il s'agissait d'évaluer dans quelle mesure la tolérance variétale aux maladies et la protection fongicide permettent de compenser les risques phytosanitaires dus à une charge élevée en blé d'automne, et comment le travail du sol interagit.

La monoculture a pénalisé le rendement de 8 à 22 q/ha, principalement en raison de la réduction du nombre grains produits par unité de surface. Deux années sur trois, l'effet du travail du sol était significatif, avec un écart de 8 q/ha en faveur du labour. L'écart entre variétés a atteint 8 à 15 q/ha, correspondant aux différences connues entre les deux types de blé testés. Le gain de rendement par la protection fongicide variait entre 4 et 7 q/ha. Les effets d'une charge élevée en céréales n'ont pas pu être compensés. Les contributions spécifiques de chacun des facteurs et les nombreuses interactions relevées rappellent la nécessité d'intégrer au mieux les techniques culturales pour une production de haut niveau.

Tableau 1 | Rendement (q/ha), poids de 1000 grains (g) et nombre de grains/m² du blé d'automne pour les différents facteurs et leurs interactions

Assolement - A	Rendement			Poids 1000 grains			Nb 1000 grains/m ²		
	2006	2008	2010	2006	2008	2010	2006	2008	2010
monoculture	61,5	52,0	47,5	38,0	44,2	40,1	1,61	1,17	1,18
rotation	69,2	65,6	69,9	40,0	45,8	45,5	1,73	1,43	1,54
	**	**	**	**	p=0,08	**	**	*	**
Travail du sol - T									
tcs	61,2	58,4	54,6	38,8	44,6	41,8	1,57	1,30	1,29
labour	69,5	59,2	62,8	39,2	45,4	43,8	1,77	1,30	1,43
	**	p=0,47	**	p=0,22	*	**	**	p=1,00	**
Variété - V									
Arina	61,5	51,4	53,7	38,3	44,6	43,5	1,60	1,15	1,23
Tapidor	69,2	66,2	63,7	39,7	45,4	42,1	1,74	1,45	1,49
	**	**	**	**	*	**	**	**	**
Protection fongicide - P									
non traité	62,1	55,5	56,7	38,2	43,5	41,8	1,62	1,27	1,35
traité	68,6	62,1	60,7	39,8	46,5	43,8	1,72	1,33	1,37
	**	**	**	**	**	**	**	**	p=0,15
Interactions; valeur de p									
A * T	*	0,41	*	0,10	0,40	0,17	0,24	0,57	0,09
A * V	1,00	**	**	0,07	0,93	*	0,51	**	**
A * P	0,43	0,23	0,29	0,65	0,51	0,37	0,54	0,58	0,43
T * V	0,60	0,88	0,23	0,16	0,10	0,74	0,24	0,61	0,21
T * P	0,53	0,19	0,92	1,00	*	0,55	0,68	0,48	0,81
V * P	0,23	*	0,07	0,38	**	0,11	0,17	0,89	0,54
A*T*V	0,29	0,47	0,48	0,24	0,61	0,88	0,18	0,40	0,31
A*T*P	0,13	1,00	*	0,39	0,89	0,32	0,47	0,97	0,16
A*V*P	0,83	0,98	*	0,12	0,49	0,67	0,26	0,80	0,12
T*V*P	**	0,61	0,10	0,08	0,44	0,63	0,08	0,81	0,12
A*T*V*P	0,07	0,56	0,12	0,56	*	*	0,20	0,96	0,54

*significatif (p < 0,05); **hautement significatif (p < 0,01).

31–32), du feuillage (azoxystrobine et cyproconazole, dès BBCH 45) et de l'épi (prothioconazole, dès BBCH 61). Aucun régulateur de croissance n'a été appliqué. Les résidus de récolte ont été laissés sur le champ. Selon les années, entre 140 à 190 kg N/ha ont été apportés conformément aux données de base pour la fumure (Sinaj *et al.* 2009). Les autres soins aux cultures ont été réalisés selon les bonnes pratiques agricoles.

L'étude s'est concentrée sur les années avec du blé sur tout le dispositif. Pour les procédés en rotation, cela concernait des cultures après maïs en 2006 et 2010, et après colza en 2008. Le rendement (15 % d'humidité), et ses composants (poids de 1000 grains, nombre de grains/m²) ont été relevés sur chaque parcelle. Des observations complémentaires ont été réalisées sporadiquement (nombre d'épis/m²). Les mesures concernaient aussi la qualité des récoltes et le développement

des maladies du blé. Ces résultats seront présentés dans une publication ultérieure.

Le schéma expérimental initial est constitué de blocs randomisés répétés quatre fois. L'introduction des deux facteurs supplémentaires pour la présente étude conduit à un schéma expérimental interprété statistiquement en split-split-split plot (Gomez et Gomez 1984).

Pendant les années d'étude, les températures ont été généralement plus élevées que la moyenne des 30 ans. Les mois de janvier et février ont été plutôt secs durant les 3 ans. Les mois de mars à mai 2006 étaient humides (>100 mm/mois). Mars et avril 2008 étaient pluvieux. En novembre et décembre 2009, les précipitations ont été particulièrement élevées (140 mm/mois). Le printemps 2010 était sec, hormis un mois de mai moyennement arrosé (80 mm).

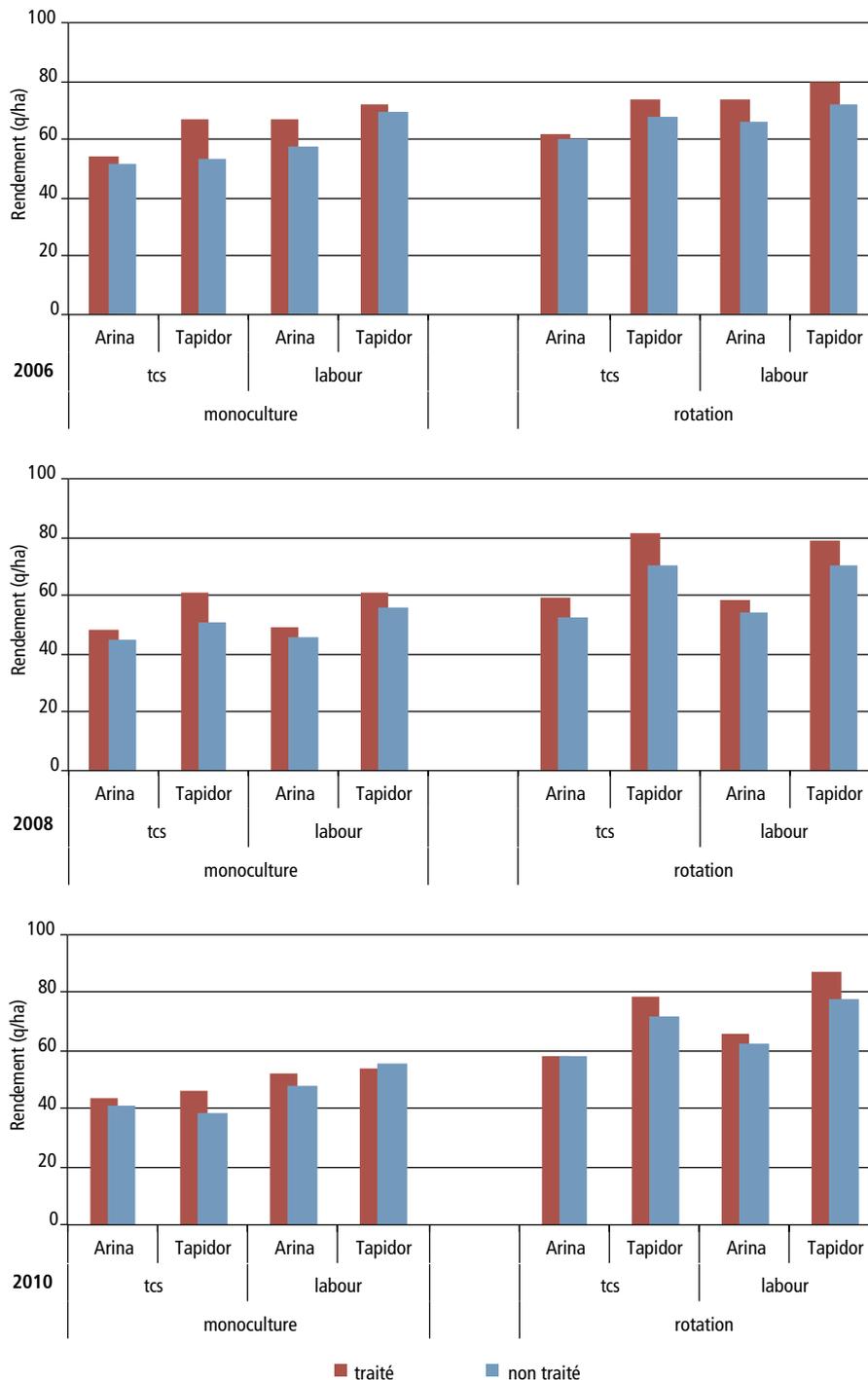


Figure 1 | Rendement du blé d'automne en fonction des facteurs assolement, travail du sol, variété et protection fongicide pour les années 2006, 2008 et 2010. Interprétation statistique dans le tableau 1.

Résultats

Rendements

Les rendements moyens de l'essai ont atteint 65 q/ha en 2006 et 59 q/ha les années suivantes. Les variations entre procédés étaient grandes, situées notamment entre 39 et 87 q/ha en 2010. Les quatre facteurs ont influencé

significativement les rendements chaque année (tabl. 1). Ces résultats sont nuancés par de nombreuses interactions simples ou complexes (fig. 1 et tabl. 1).

La monoculture a pénalisé le rendement de 8 à 22 q/ha selon les années, soit une diminution de 11 % en 2006, 21 % en 2008 et 32 % en 2010. En 2006 et 2010, l'effet du travail du sol était significatif, avec un écart de

Tableau 2 | Composantes de la variance pour le rendement, le poids des grains et le nombre de grains par unité de surface, exprimées en pourcentage des carrés moyens pour les quatre facteurs étudiés et l'ensemble des interactions

	2006	2008	2010
Rendement			
Assolement	24	39	66
Travail du sol	28	0	9
Variété	24	45	13
Fongicide	17	9	2
Interactions	7	6	10
Poids 1000 grains			
Assolement	38	16	70
Travail du sol	1	3	9
Variété	18	4	5
Fongicide	22	57	9
Interactions	21	20	7
Nb 1000 grains/m²			
Assolement	15	38	53
Travail du sol	41	0	8
Variété	21	54	29
Fongicide	11	2	0
Interactions	12	6	10

8 q/ha en faveur du labour, tandis qu'en 2008 aucune différence n'a été observée. L'écart entre variétés a atteint de 8 à 15 q/ha, correspondant aux différences connues entre un blé panifiable de qualité (Arina) et un blé fourrager (Tapidor; Levy et al. 2010). La protection fongicide était efficace chaque année avec un gain de rendement situé entre 4 et 7 q/ha.

L'interdépendance entre les facteurs du système de culture est soulignée par l'interaction entre les quatre facteurs proche d'un niveau significatif en 2006 et 2010. Ces mêmes années, la supériorité du labour par rapport aux techniques culturales simplifiées (TCS) était plus marquée en monoculture qu'en rotation. Combinés, ces deux facteurs ont de plus interagi significativement avec la protection fongicide (tendance en 2006).

En 2010, la monoculture a limité le rendement des deux variétés à un niveau identique. Par contre, en rotation, Tapidor a pu exprimer son potentiel de rendement supérieur à Arina. En 2008, cet écart a atteint 20 q/ha. Les variétés ont réagi de manière spécifique à la protection fongicide, avec une efficacité supérieure pour Tapidor en 2008 et 2010. La protection fongicide a généralement eu un effet identique, quel que fût le travail du sol

et l'assolement. Par contre, elle a contribué à des interactions entre plusieurs facteurs, dans des relations relativement complexes. En 2006, les traitements fongicide ont systématiquement favorisé le rendement de Tapidor, tandis que la protection phytosanitaire était efficace pour Arina uniquement après labour. En 2010, Tapidor a davantage bénéficié de l'effet de la rotation et de la protection fongicide que Arina, pour atteindre un rendement de 83 q/ha.

L'assolement, mais également le choix variétal expliquent pour une large part les variations du rendement (tabl. 2). La contribution du travail du sol a varié selon les années et s'est même révélée nulle en 2008. Ces trois facteurs ont contribué de manière égale à la variance du rendement en 2006, année la plus productive (8 q/ha d'écart entre variantes d'un même facteur). En 2008, la variété et l'assolement étaient les facteurs les plus influents. En 2010, l'assolement a déterminé 66 % de la variance, pour une réduction du rendement de 22 q/ha en monoculture. L'effet du fongicide n'a jamais été aussi déterminant que celui des autres facteurs. L'ensemble des interactions a atteint une part maximale de 10 % de la variance.

Poids des grains

Le poids de mille grains (PMG) a été plus particulièrement favorisé par la rotation et par le labour en 2010, ainsi que par les traitements phytosanitaires en 2008 (tabl. 1). Des différences entre variétés sont aussi apparues, mais la meilleure variété a varié selon les années. L'interaction significative entre les quatre facteurs en 2008 et 2010 souligne la complexité des processus relatifs au grossissement du grain. En 2008, la protection fongicide a été fortement bénéfique pour Tapidor et son absence limitait plus particulièrement les TCS. L'assolement et la protection fongicide ont exercé un rôle majeur sur la variance du PMG (tabl. 2). Les interactions entre la variété et les autres facteurs ont expliqué une part importante de la variance du PMG, en particulier en 2008 avec la protection fongicide (14 % de la variance).

Nombre de grains

Les quatre facteurs ont influencé de façon significative le nombre de grains produits par unité de surface (tabl. 1). En 2010, un gain de 360 grains/m² distinguait la rotation de la monoculture. En 2008 et 2010, une forte interaction assolement x variété a été observée, l'écart entre les deux assolements étant nettement plus important pour Tapidor que pour Arina. En termes de variance, le nombre de grains par unité de surface dépendait principalement de l'assolement et de la variété en 2008 et 2010, tandis que le travail du sol constituait le facteur

déterminant en 2006 (tabl. 2). L'effet du traitement fongicide était généralement faible.

Le peuplement d'épis (observations sur Arina uniquement) était significativement supérieur en rotation, avec respectivement 550 épis/m² en 2008 et 500 en 2010, soit 100 épis de plus qu'en monoculture. Le travail du sol a exercé un rôle significatif en 2008 seulement, avec 60 épis de plus en TCS.

Formation du rendement

Le rendement est formé du nombre de grains multiplié par leur poids. Au cours des 3 années, les variations du nombre de grains ont été proportionnellement plus grandes que celles du PMG (tabl. 1). Le nombre de grains a donc exercé un effet plus important. D'autre part, le rapport entre ces deux caractères varie sous l'effet des facteurs de production. Relier les rapports des variantes permet d'identifier l'influence majeure de chaque fac-

teur en termes de fertilité (nombre de grains) et de conditions de croissance (poids du grain; fig. 2). Le nombre de grains et leur poids ont réagi presque systématiquement dans le même sens aux facteurs de production: nombreux grains lourds pour les meilleurs variantes ou petits grains légers dans les conditions limitantes (fig. 2). De façon générale, la protection fongicide a eu un effet sur le PMG plus prononcé que les autres facteurs. L'unique effet compensatoire entre le nombre de grains et leur poids est apparu pour le facteur variété en 2010. Cette même année, l'assolement et le travail du sol ont eu un effet analogue sur les caractères de formation du rendement. L'assolement a été à l'origine de la grande variabilité des rendements comme l'illustre l'écart au niveau du nombre de grains/m². L'année 2006 se distingue par un nombre de grains élevés, un PMG relativement bas. Dans ces conditions, la relation nombre et poids des grains était proche pour tous les facteurs. >

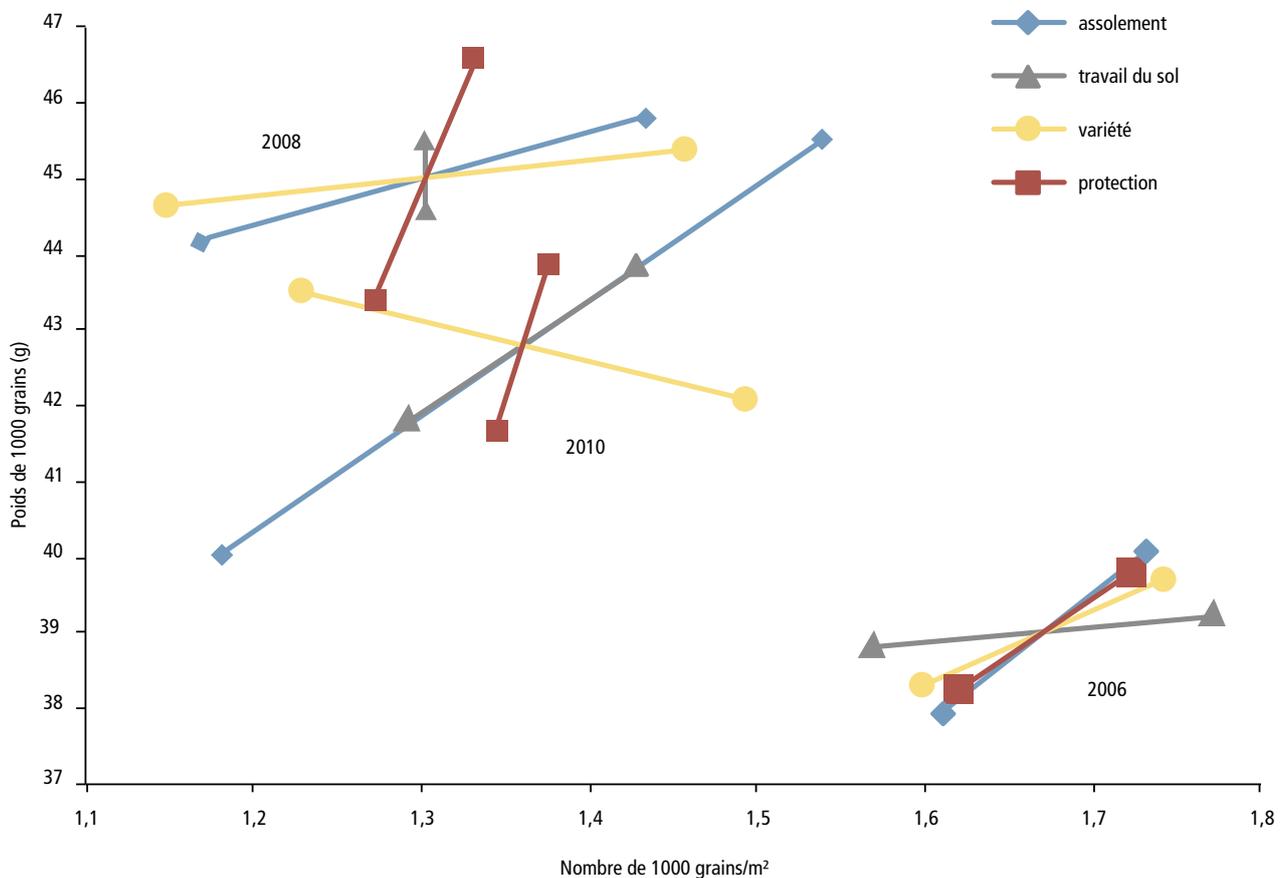


Figure 2 | Relation entre le nombre de grains par unité de surface et le poids des grains du blé d'automne pour les quatre facteurs et les trois années d'observation. Résultats des variantes dans le tableau 1.

Discussion

Plusieurs travaux ont montré que l'assolement dominait les effets de la protection phytosanitaire, du travail du sol (Deike *et al.* 2008) et de la fertilisation (Sieling *et al.* 2005). La baisse de rendement est régulièrement proportionnelle à la charge en céréales dans la rotation (Berzsenyi *et al.* 2000). Sieling *et al.* (2005) ont relevé des valeurs situées entre 8 et 57 % dans la littérature. Vez (1975) relevait une diminution de rendement de 35 % au cours des premières années d'une monoculture, de 15 à 18 % par la suite. Ce dernier niveau a été observé sur le long terme par Vullioud (2007). La stabilité de cette réduction est nuancée par la présente étude, qui montre une très forte variation selon les années, dépendante en partie de l'intensité de production. L'origine des pertes de rendement en monoculture peut être attribuée avant tout à la réduction du nombre de grains par unité de surface. Ce résultat est corroboré par d'autres travaux (Sieling *et al.* 2005; Berzsenyi *et al.* 2000).

Comparativement au labour, le travail réduit du sol a été limitant deux années sur trois. Les travaux conduits précédemment sur ce même dispositif avaient montré une similitude des rendements entre labour et TCS (Vullioud 2007), ceci toutefois sur le long terme et dans des conditions de production moins intensives.

Les nombreux cas d'interaction impliquant la variété et la protection fongicide, ainsi que la variabilité des réactions selon les années, montrent que la tolérance des variétés aux maladies a influencé les performances du blé, mais aussi que l'assolement et le travail du sol ont exercé un effet significatif sur l'état phytosanitaire des cultures. Gindrat *et al.* (2003) et Schürch *et al.* (2009) ont mis en évidence les relations entre les systèmes de culture céréalières et les attaques fongiques dans les conditions pédoclimatiques similaires. Ces études pourront être confrontées aux observations de maladies réalisées dans cet essai.

Conclusions

- Après 43 ans de monoculture, le rendement du blé a atteint 54 q/ha en moyenne. Cette charge excessive en céréales a pénalisé le rendement de 10 à 20 q/ha. L'écart entre variétés a atteint 10 à 15 q/ha. L'effet du travail du sol a produit un écart de 10 q/ha. La protection fongicide permettait un gain de rendement d'environ 5 q/ha.
- Ces variations de rendement mettent en évidence les effets spécifiques de chacun des facteurs étudiés et la nécessité d'intégrer au mieux les facteurs de production.
- La rotation des cultures est un facteur essentiel pour obtenir des rendements élevés. Aucun des autres facteurs n'a compensé les effets défavorables de la monoculture.
- L'assolement, mais aussi le travail du sol, influencent davantage la fertilité des plantes et des épis que le grossissement des grains, qui est davantage favorisé par la protection fongicide.
- La combinaison entre variété productive et protection fongicide intensive a été particulièrement favorable en cas de labour. En termes de potentiel de rendement, les différences variétales se sont révélées importantes et valorisables pour l'élaboration de systèmes de culture intégrés.
- Un article à suivre montrera les relations entre les performances des cultures et le développement des maladies. Les incidences sur la qualité des récoltes seront également présentées. ■

Riassunto

Rotazione delle colture, lavorazione del suolo, varietà e protezione fungina nella produzione cerealicola

Nell'ambito di una prova a lunga durata dedicata alla rotazione cerealicola, i fattori varietà e protezione fungina sono stati aggiunti durante tre anni (2006, 2008 e 2010) ai fattori rotazione delle colture e lavorazione del suolo già studiati dal 1967. Attraverso questo complemento si trattava di valutare in quale misura la tolleranza varietale alle malattie e la protezione fungina permettono di compensare i rischi fitosanitari dovuti a un carico elevato di frumento autunnale e come interagisce la lavorazione del suolo. La monocoltura ha penalizzato la resa da 8 a 22 q/ha, riduzione dovuta principalmente al numero minore di grani per unità di superficie. Due anni su tre, l'effetto della lavorazione del suolo era significativa con uno scarto di 8 q/ha in favore dell'aratura. La differenza tra le varietà ha raggiunto i 8–15 q/ha, corrispondente alle differenze note tra i due tipi di frumento testati. Il guadagno di resa attraverso la protezione fungina varia tra 4 e 7 q/ha. Gli effetti di un carico elevato di cereali non possono essere compensati. I contributi specifici di ciascun fattore e le numerose interazioni rilevate sottolineano la necessità di integrare al meglio le tecniche colturali per una produzione di alto livello.

Summary

Crop rotation, soil tillage, variety and fungicide protection in cereal production

Within the framework of long-term experiment devoted to cereal production, the factors variety and fungicide protection were added during three years (2006, 2008 and 2010) to the factors crop rotation and soil tillage already studied since 1967. By this complement, the aim was to evaluate to what extent variety disease tolerance and fungicide protection may compensate for phytosanitary risks due to high ratio of winter wheat in rotation, and how far soil tillage interacts. Monoculture penalized grain yield from 8 to 22 q/ha, mainly because of the reduction of the grains number produced per unit of area. Two years out of three, the effect of soil tillage was significant, with a variation of 8 q/ha in favor of the ploughing. The difference between varieties reached 8 to 15 q/ha, corresponding to the known variation between the two types of wheat tested. The additional yield by fungicide protection varied between 4 and 7 q/ha. The effects of a high ratio of cereals in rotation could not be compensated. The specific contributions of each factor and many stressed interactions point out the need for better integrating the cropping techniques for a high-level production.

Key words: winter wheat, crop rotation, monoculture, soil tillage, fungicide.

Bibliographie

- Bersenyi Z., Györfly B. & Lap D. Q., 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *Europ. J. Agronomy* **13**, 225–244.
- Deike S., Pallutt B., Melander B., Straasemeyer J. & Christen O., 2008. Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case-study of long-term field experiments in Germany and Denmark. *Europ. J. Agronomy* **29**, 191–199.
- Gindrat D., Frei P. & Pellet D., 2003. Prévion du risque de piétin-verse sur le blé d'automne en Suisse. *Revue suisse Agric.* **35** (3), 113–116.
- Häni F., Popow G., Reinhard H., Schwarz A., Tanner K. & Vorlet M., 1990. Protection des plantes en production intégrée. LMZ Centrale des moyens d'enseignement agricole, Zollikofen, 334 p.
- Levy L., Collaud J. F., Schwärzel R., Bertossa M., Hiltbrunner J., Anders M., Stoll P. & Peter D., 2010. Liste recommandée des variétés de céréales pour la récolte 2011. *Recherche Agronomique Suisse* **1** (7–8), 1–8.
- Lithourgidis A. S., Damalas C. A. & Gagianas A. A., 2006. Long-term yield patterns for continuous winter wheat cropping in northern Greece. *Europ. J. Agronomy* **25**, 208–214.
- Schürch S., Frei P., Frey R., Wullschlegler J. & Sierotzki H., 2009. Septoriose du blé: sensibilité aux fongicides de la population suisse de *Mycosphaerella graminicola*. *Revue suisse Agric.* **35** (3), 113–116.
- Sieling K., Stahl C., Winkelmann C. & Christen O., 2005. Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *Europ. J. Agronomy* **22**, 71–84.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et herbages. *Revue suisse Agric.* **41** (1), 98 p.
- Vez A., 1975. Observations dans les essais de rotation de cultures à Changins au cours des 10 dernières années. *Revue suisse Agric.* **7** (4), 113–118.
- Vulllioud P., 2007. Rotations de cultures chargées en blé: est-il possible d'en diminuer les inconvénients? *Revue suisse Agric.* **39** (1), 15–23.