

Maladies et rendement du blé d'automne: influence du système de culture

Raphaël Charles, Edouard Cholley, Peter Frei et Fabio Mascher,
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



Une monoculture de blé d'automne est observée depuis 1967 dans un essai du site d'Agroscope Changins-Wädenswil ACW. Les rendements y sont nettement inférieurs par rapport à des conditions de rotation. Cela repose sur la présence de plusieurs maladies.

Introduction

Le système de culture influence de diverses manières les performances du blé d'automne. Un récent article (Charles *et al.* 2011) présentait l'influence des facteurs assolement, travail du sol, variété et protection fongicide sur la production de blé d'automne. Cette étude était conduite de 2006 à 2010 dans le cadre d'un essai de longue durée comparant du blé d'automne en monoculture et en rotation depuis 1967. Les résultats ont montré que la charge en céréales était le principal facteur de variation du rendement, une charge excessive réduisant le rendement de 10 à 20 q/ha. L'écart entre variétés a atteint 10 à 15 q/ha en conditions favorables. Le travail du sol a conduit à une différence de rendement allant jusqu'à 10 q/ha. La protection fongicide a permis un gain de rendement de quelque 5 q/ha. Les effets de la variété et de la protection fongicide sur le rendement, ainsi que la variabilité des réactions selon les années, ont signalé

une implication significative des maladies. Les nombreux cas d'interactions entre ces facteurs laissent également présager que l'état phytosanitaire des cultures dépend aussi de l'assolement et du travail du sol. Gindrat *et al.* (2003) et Schürch *et al.* (2009) ont observé de nombreuses relations entre les systèmes de culture céréalières et les attaques fongiques dans des conditions pédoclimatiques similaires. Cet article analyse l'effet du système de culture sur le développement des maladies et discute de leurs incidences sur le rendement en grains du blé d'automne. En mettant en relation chaque maladie avec les pratiques agricoles, il sera finalement possible de proposer des mesures culturales préventives selon les systèmes de culture adoptés.

Matériel et méthodes

Cette étude a été intégrée dans un essai de longue durée consacré à la rotation céréalière et installé en 1967 à Nyon (Changins, 430 m) sur un sol 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 étaient satisfaisants (Vulliod 2007). 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 observés. 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).

Quatre procédés du schéma expérimental de longue durée (Vulliod 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, TCS). 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, pré-

sente 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 31–32), du feuillage (azoxystrobine et cyproconazole, dès BBCH 45) et de l'épi (prothioconazole, dès BBCH 61). L'étude s'est concentrée sur trois années avec du blé sur l'ensemble du dispositif. Pour les procédés en rotation, cela concernait des cultures semées après maïs (11.10.2005 et 07.10.2009) ou après colza (16.10.2007) à des densités de 450 grains/m² pour les deux variétés. Les résidus de récolte ont été laissés sur le champ. Aucun régulateur de croissance n'a été appliqué. Les autres soins aux cultures ont été réalisés selon les bonnes pratiques agricoles. Les autres conditions de cette expérimentation ont été décrites précédemment (Charles *et al.* 2011; Vulliod *et al.* 2007).

Les maladies les plus fréquentes et abondantes ont été suivies et seuls les résultats les plus significatifs sont présentés ici: piétin-verse (*Oculimacula yallundae*, *O. acuformis*), septorioses sur feuilles (*Septoria nodorum* et *S. tritici confondus*), oïdium (*Erysiphe graminis*), rouille brune (*Puccinia recondita*) et fusariose de l'épi (*Fusarium* spp.). La notation du piétin-verse a été réalisée en fin de maturation du blé en se basant sur la part des plantes atteintes et la sévérité d'attaque sur la tige, à l'aide d'un indice allant de 1 (¼ du pourtour atteint) à 4 (totalité du pourtour atteint; Gindrat *et al.* 2003). Les trois dernières feuilles ont servi pour noter les maladies du feuillage, en termes de présence sur les plantes et de couverture de la surface foliaire par la maladie juste avant le traitement et 15 jours après l'intervention. La présence de mycotoxines (désoxynivalénol DON) dues à la fusariose a été analysée sur grain après récolte sur la base de test Elisa (Häller-Gärtner *et al.* 2005). Le rendement (15 % d'humidité) et la qualité de la récolte ont été relevés sur chaque parcelle. Des mesures de l'intensité de la chlorophylle ont été réalisées au moment de la floraison sur la dernière feuille (N-Tester, Yara).

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-plot (Gomez et Gomez 1984).

Résultats

Piétin-verse

L'efficacité de la protection fongicide a pu être vérifiée chaque année. En 2006 et 2008, l'intervention a réduit de près de moitié le pourcentage de plantes atteintes au début de la maturation des grains (tabl. 1), le fait de

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 les influences du système de culture sur la présence des maladies du blé d'automne et de discuter des incidences sur le rendement.

L'effet favorable de mesures préventives telles que la rotation des cultures et le labour a été relevé pour le piétin-verse, la septoriose sur feuilles et la fusariose sur épi. Ces mesures phytosanitaires préventives ont pu être contournées par des conditions environnementales favorables au développement ultérieur de la maladie. L'oïdium et la rouille brune n'ont guère été influencés par le système de culture et leur développement dépendait principalement des conditions environnementales. La concentration en mycotoxines produites par la fusariose reposait sur la présence d'un antécédent maïs plutôt que d'un blé d'automne en monoculture. L'importance du labour ou d'une variété tolérante comme Arina a pu être soulignée. La tolérance variétale constituait un facteur essentiel et stable pour le contrôle des maladies. L'efficacité de la protection fongicide dépend de ces mesures culturales préalables ainsi que des conditions environnementales du moment.

Tableau 1 | Notation du piétin-verse, de l'oïdium, de la rouille et teneur en DON sur blé d'automne en fonction des facteurs et des interactions. Présence de piétin-verse exprimée en % des tiges atteintes pour 2006 et 2008 et en indice (note de 1 à 4, 4 = totalité du pourtour de la tige atteinte) pour 2010. Oïdium et rouille exprimés en % de plantes atteintes. DON exprimés en ppm.

	Piétin-verse			Oïdium			Rouille			DON
	2006	2008	2010	2006	2008	2010	2006	2008	2010	2010
Stadium BBCH	75	75	75	65	65	75	65	71	79	récolte
Assolement - A										
monoculture	36,6	49,5	3,2	2,3	5,2	8,1	0,1	17,2	9,7	0,2
rotation	30,5	59,3	2,3	1,2	6,6	3,8	1,3	22,7	28,4	1,2
	p=0,40	p=0,07	*	p=0,16	p=0,25	p=0,07	p=0,22	p=0,10	*	**
Travail du sol - T										
tcs	28,2	60,3	2,9	0,4	1,6	4,1	1,0	14,7	15,6	0,9
labour	38,9	48,5	2,5	3,0	10,2	7,8	0,4	25,2	22,5	0,5
	**	*	p=0,07	*	**	p=0,39	p=0,58	*	p=0,18	*
Variété - V										
Arina	36,0	63,8	2,6	1,7	11,1	9,7	1,4	34,7	29,1	0,2
Tapidor	31,1	45,1	2,8	1,8	0,6	2,2	0,0	5,2	9,1	1,2
	p=0,19	**	p=0,26	p=0,91	**	**	p=0,18	**	**	**
Protection fongicide - P										
non traité	44,0	73,5	2,9	1,7	8,8	10,9	1,3	38,7	38,1	0,9
traité	23,1	35,3	2,5	1,8	3,0	0,9	0,1	1,3	0,0	0,5
	**	**	**	p=0,95	*	**	p=0,25	**	**	**
Interactions; valeur de p										
A * T	*	0,56	0,05	0,33	0,68	0,56	0,74	0,69	1,00	*
A * V	0,15	0,07	0,78	0,91	0,73	1,00	0,26	0,16	0,32	**
A * P	0,60	0,81	**	0,32	0,10	0,16	0,17	0,34	**	**
T * V	0,93	0,06	0,33	0,91	**	0,79	0,53	0,52	0,39	*
T * P	0,63	0,55	0,33	0,95	*	0,24	0,70	*	0,11	0,17
V * P	0,38	*	0,71	0,55	**	*	0,25	**	**	**
A*T*V	0,10	0,47	0,93	0,91	0,73	*	0,70	0,55	0,13	*
A*T*P	0,23	0,90	0,36	0,95	0,42	0,48	0,52	0,50	1,00	0,99
A*V*P	0,87	*	0,82	0,32	0,05	0,81	0,17	0,40	0,30	**
T*V*P	0,77	0,26	0,81	0,64	*	1,00	0,70	0,85	0,37	0,15
A*T*V*P	0,54	*	0,53	0,27	0,42	0,07	0,52	0,53	0,11	0,96

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

traiter ou non expliquant plus de la moitié de la variance du pourcentage de plantes atteintes (tabl. 2). De même en 2010, la sévérité de l'attaque de la maladie (indice) a été réduite par la protection fongicide, qui est toutefois restée sans effet sur le pourcentage de plantes atteintes (données non présentées).

Durant deux années, la présence du piétin-verse dépendait des effets conjugués de l'assolement et du travail du sol. En 2006, les TCS pratiquées avant un blé en rotation ont conduit au plus faible taux de présence de la maladie (interaction significative). Les autres combi-

naisons de facteurs ont fait presque doubler le nombre de plantes atteintes (40 %). En 2010, la combinaison monoculture et TCS a entraîné un indice piétin significativement plus élevé. Les deux facteurs évalués individuellement montraient déjà un effet intéressant. L'assolement exerçait un rôle majeur sur la maladie, expliquant plus de la moitié de la variance de la maladie (tabl. 2).

En 2008, une interaction significative entre les 4 facteurs illustre la complexité du développement de la maladie et son origine multifactorielle. Les TCS, Arina et l'absence de fongicide ont été favorables à la maladie,

quel que soit l'assolement. Tapidor est resté généralement sain, profitant mieux qu'Arina des conditions défavorables à la maladie que sont le labour et la protection fongicide.

Oïdium

La présence d'oïdium est restée faible en 2006, rendant toute interprétation délicate (tabl. 1). En 2008, le labour a favorisé l'oïdium et a interagi avec la variété et la protection fongicide. L'absence de protection fongicide en situation de labour a été particulièrement favorable à la maladie pour Arina (31 % des plantes atteintes, assolements confondus). Pour la même combinaison en conditions de TCS, la maladie ne s'est pas développée (4 %). D'autre part, Arina cultivée en rotation et sans protection fongicide a montré une présence particulièrement élevée de la maladie (23 % des plantes atteintes, travaux du sol confondus). Le procédé directement comparable en monoculture a réduit de moitié la présence de la maladie. Toutes les autres situations ont conduit à des présences modestes d'oïdium (< 7 %). En 2010, les effets les plus marqués ont été observés sur Arina, à nouveau plus sensible que Tapidor. Les interactions expliquent une part importante de la variance de la présence de l'oïdium, entre 36 et 49 % lors des trois ans d'essais (tabl. 2), l'interaction variété*protection fongicide étant la plus marquée.

Rouille brune

La rouille brune s'est peu manifestée en 2006. Les années suivantes, la variété et la protection fongicide ont montré, individuellement et en interaction, des effets significatifs (tabl. 1) ainsi qu'une contribution importante à la variance (tabl. 2). La maladie a été favorisée par le labour

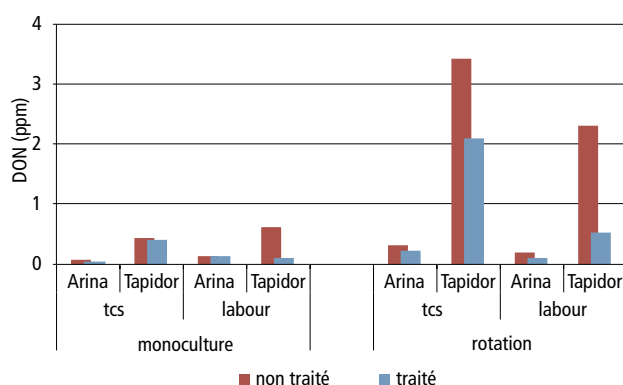


Figure 1 | Teneur en DON des grains de blé d'automne en 2010 en fonction des facteurs assolement, travail du sol, variété et protection fongicide. Interprétation statistique selon tableau 1.

Tableau 2 | Composantes de la variance pour le piétin, l'oïdium et la rouille brune et teneur en DON sur blé d'automne, exprimées en pourcentage des carrés moyens pour les quatre facteurs étudiés et l'ensemble des interactions.

Variance	2006	2008	2010
piétin verse (%)			
Assolement	5	4	53
Travail du sol	14	6	8
Variété	3	15	1
Fongicide	55	62	11
Interactions	24	14	26
Oïdium			
Assolement	9	0	6
Travail du sol	55	17	4
Variété	0	25	16
Fongicide	0	8	29
Interactions	36	49	45
Rouille			
Assolement	10	1	11
Travail du sol	3	3	1
Variété	15	26	12
Fongicide	10	42	45
Interactions	63	27	30
DON			
Assolement			22
Travail du sol			3
Variété			32
Fongicide			6
Interactions			37

en 2008 (faible tendance en 2010) et par la rotation en 2010 (tendance en 2008). Dans ces deux situations, le traitement a été particulièrement efficace, empêchant le développement de la maladie (interactions significatives).

Septoriose

La septoriose est la maladie foliaire qui a montré le plus de contraste entre procédés et entre années. Trois stades ont été considérés en 2008, en raison de la variation particulière des résultats et du développement de la maladie (tabl. 3 et 4). De façon systématique, les 3 années montrent une meilleure tolérance d'Arina à la maladie et l'efficacité de la protection fongicide (tendance en 2006).

En 2006, les TCS en conditions de monoculture ont entraîné la contamination la plus élevée, tandis que dans la rotation, ces mêmes techniques ont permis d'ob-

Tableau 3 | Septoriose sur blé d'automne. Présence de septoriose exprimée en % des plantes atteintes pour 2006 et 2008 et en % des feuilles atteintes pour 2010.

Septoriose	2006	2008		2010	
Stade BBCH	65	55	65	71	79
Assolement - A					
monoculture	95,6	51,6	51,9	80,5	74,6
rotation	86,4	40,9	58,6	86,6	53,8
	*	**	*	p=0,11	*
Travail du sol - T					
tcs	90,1	53,0	65,0	87,0	67,7
labour	91,9	39,5	45,4	80,0	60,7
	p=0,61	**	**	*	*
Variété - V					
Arina	82,9	39,5	50,8	78,6	49,2
Tapidor	99,1	53,0	59,7	88,4	79,2
	**	**	**	**	**
Protection fongicide - P					
non traité	93,0	47,3	73,1	98,1	80,3
traité	89,0	45,2	37,3	68,9	48,2
	p=0,09	p=0,40	**	**	**
Interactions; valeur de p					
A * T	*	*	0,61	0,17	0,53
A * V	*	0,62	0,56	0,40	**
A * P	0,74	0,90	0,68	*	**
T * V	0,64	0,13	0,10	*	0,46
T * P	0,23	0,99	0,24	*	0,10
V * P	0,32	0,81	0,53	**	0,13
A*T*V	0,09	0,56	0,15	0,12	0,66
A*T*P	0,51	0,81	0,07	0,28	0,49
A*V*P	1,00	0,99	0,77	0,23	*
T*V*P	0,27	0,12	0,13	0,12	0,92
A*T*V*P	0,58	0,90	0,77	0,57	0,77

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

tenir la plus faible présence de septoriose (interaction p < 0,05). De même, la monoculture a provoqué une forte infection d'Arina, pourtant moins sensible, qui a atteint un niveau d'attaque proche de Tapidor dans ces conditions seulement.

En 2008, le développement de la septoriose a varié en cours de végétation en fonction de l'assolement. En début d'infection (BBCH 45), alors que les fongicides n'avaient pas encore eu d'effet, la monoculture et les TCS ont favorisé le développement de la septoriose et interagi significativement. Au contraire, le blé en rota-

tion installé après labour a montré la plus faible présence de septoriose. Par la suite, la rotation a offert des conditions plus favorables à la maladie, alors que l'efficacité de la protection fongicide apparaissait et que les différences restaient marquées au niveau du travail du sol. En fin de cycle (BBCH 71), la présence de la maladie était peu influencée par l'assolement (p = 0,11), la plus faible infection de septoriose étant obtenue en situation de monoculture avec un traitement fongicide (interaction significative). Dans l'ensemble, les plus faibles taux d'infection ont été observés avec les combinaisons labour*Arina, labour*traitement fongicide et Arina*traitement fongicide (interactions significatives). En 2010, l'interaction significative entre assolement, variété et protection fongicide, illustre l'effet combiné de ces trois facteurs. Tapidor a montré une faible présence de septoriose uniquement en rotation et avec un traitement fongicide, toutes les autres combinaisons de ces facteurs conduisant à des niveaux d'infection élevés. A l'inverse, la tolérance de Arina face à la septoriose a conduit à de faibles écarts entre les deux types d'assolement pour un même niveau de protection fongicide. De même, l'effet du traitement fongicide était similaire en monoculture ou en rotation pour cette variété.

Teneur en mycotoxines

Les infections de fusariose et les concentrations de mycotoxines ont fortement varié selon les années. En 2006, l'infection en fusariose est restée faible. En 2008, malgré des attaques de fusariose plus marquées, de nombreux résultats d'analyses de mycotoxines sont restés à des niveaux inférieurs au seuil fiable de détection pour pouvoir être interprétés. En 2010, les concentrations en mycotoxines étaient par contre suffisamment élevées pour l'ensemble des analyses (tabl. 1 et 2). La variété Arina a montré des concentrations systématiquement inférieures à quelques dixièmes de ppm (fig. 1). La présence d'un maïs avant le blé était plus favorable à la production de mycotoxines que les conditions d'une monoculture de blé. Les TCS étaient plus favorables aux mycotoxines que le labour. La protection fongicide a toujours permis de réduire leur concentration. La variété et le travail du sol étaient les principales composantes de la variance des teneurs en mycotoxines, les principales interactions concernant également ces deux facteurs. Les concentrations sont restées systématiquement faibles pour Arina ou en monoculture, quel que soit le travail du sol ou la protection fongicide. A l'inverse, Tapidor en rotation a montré de hautes concentrations avec les TCS, mais aussi en cas de labour. Dans ce dernier cas seulement, la protection fongicide a permis de bien limiter la présence de mycotoxines.

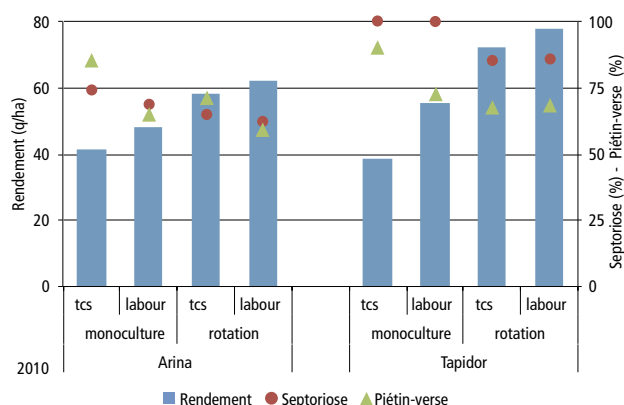


Figure 2 | Rendement, septoriose et piétin-verse du blé d'automne en fonction de la variété, de l'assolement et du travail du sol en l'absence de traitement fongicide pour l'année 2010.

Discussion

Les observations de maladies peuvent être mises en relation avec les performances des cultures décrites dans un article précédent (Charles *et al.* 2011). Dans cette perspective, le tableau 5 présente un bref résumé des résultats de rendement. L'année 2010 montre une certaine correspondance entre le rendement final et les présences de septoriose et de piétin-verse (fig. 2). Toutefois, les nombreuses interactions entre facteurs observées pour le rendement et pour les maladies rendent délicate toute interprétation d'une relation directe de cause à effet. En outre, plusieurs maladies sont apparues chaque année et ont exercé une pression phytosanitaire variable et difficilement quantifiable en termes de rendement. Il convient donc de concentrer la discussion sur quelques cas de figure.

L'écart entre variétés se situait entre 8 et 15 q/ha selon les années. Cet écart s'explique par la typologie des deux variétés et par leur sensibilité aux maladies (Levy *et al.* 2010). Comparée à Tapidor, Arina était plus tolérante à la septoriose et à la fusariose sur épi, mais

Tableau 4 | Composantes de la variance pour la septoriose sur blé d'automne, exprimées en pourcentage des carrés moyens pour les quatre facteurs étudiés et l'ensemble des interactions.

Variance	2006	2008		2010	
Septoriose (%)					
Stade BBCH	65	55	65	71	79
Assolement	14	19	2	3	16
Travail du sol	0	30	20	4	2
Variété	43	30	4	8	33
Fongicide	3	1	67	68	37
Interactions	41	20	6	18	13

plus sensible aux autres maladies. Ces différences expliquent de nombreuses interactions avec la protection fongicide, l'efficacité variable des traitements et finalement des écarts de rendement. En 2008 et 2010 notamment, l'efficacité des fongicides était supérieure pour Tapidor. Ces deux années ont montré une forte présence de septoriose, en particulier sur cette variété. La protection fongicide a conduit à un gain de rendement moyen annuel de 4 à 7 q/ha.

La monoculture a pénalisé le rendement de 8 q/ha en 2006 et de 22 q/ha en 2010. En 2006 et 2010, le labour a produit des rendements supérieurs de 8 q/ha. La fertilité des plantes (épis, grains produits) a été réduite notamment en monoculture, mais aussi en TCS. Aucune des maladies observées, essentiellement dès l'apparition de la dernière feuille, ne permet d'expliquer de si grands écarts. Par contre, l'assolement et le travail du sol, seuls ou en interaction, ont eu un effet déterminant sur la présence de piétin-verse, de septoriose et sur la concentration de DON. Les attaques de piétin-verse sont plus fréquentes après un précédent blé d'automne (Gindrat et Frei 1999). L'effet du système de culture (assolement, travail du sol) et l'importance de la tolérance variétale (Vogelgsang *et al.* 2009) sont reconnus pour la fusariose. La septoriose peut être combattue par une bonne gestion des résidus de cultures précédentes et une grande diversité d'espèces dans la rotation afin de casser le cycle des maladies (Schürch et Frei 2009). Certaines maladies ont aussi été limitées par les TCS ou n'ont pas été transmises par la monoculture, soulignant l'origine multifactorielle de la présence et du développement des maladies. Les développements de la septoriose en 2008 permettent de distinguer d'une part les conditions favorables à la présence initiale d'une maladie, et d'autre part son développement ultérieur en fonction des conditions environnementales (climat, microclimat, sol). Les reliquats azotés, issus de précédents comme le colza (dans cet essai en 2008), peuvent aussi influencer favorablement le développement du piétin-verse (Gindrat et Frei 1999). En 2008, le développement de l'oïdium a réagi favorablement aux conditions de croissance générées par le labour et la rotation. Cette maladie réagit favorablement à l'azote et à un microclimat humide (labour, densité de végétation). Dans cette expérimentation, des mesures d'indice chlorophyllien ont montré chaque année des écarts entre variétés, mais aucun effet significatif de la part des autres facteurs. Ces résultats confirment *a posteriori* que les procédés les plus pénalisés en termes de rendement ont présenté une teneur en chlorophylle et par extrapolation une nutrition azotée non limitantes. Ceci confirme aussi le rôle majeur exercé par les maladies. ➤

Tableau 5 | Rendement du blé d'automne et variance du rendement en fonction des facteurs assolement, travail du sol, variété et protection fongicide pour les années 2006, 2008 et 2010.

	Rendement (q/ha)		
	2006	2008	2010
Assolement - A			
monoculture	61,5	52,0	47,5
rotation	69,2	65,6	69,9
	**	**	**
Travail du sol - T			
tcs	61,2	58,4	54,6
labour	69,5	59,2	62,8
	**	p=0,47	**
Variété - V			
Arina	61,5	51,4	53,7
Tapidor	69,2	66,2	63,7
	**	**	**
Protection fongicide - P			
non traité	62,1	55,5	56,7
traité	68,6	62,1	60,7
	**	**	**
	Variance (%)		
	2006	2008	2010
Assolement	24	39	66
Travail du sol	28	0	9
Variété	24	45	13
Fongicide	17	9	2
Interactions	7	6	10

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

Conclusions

- Dans le cadre d'un essai de longue durée, les maladies observées ne se distinguaient pas spécifiquement entre un blé d'automne en rotation et en monoculture. Les principales maladies relevées étaient le piétin-verse et la septoriose. L'oïdium, la rouille brune, ainsi que la fusariose sur épi, mesurée au niveau des DON, étaient présents de façon moins systématique.
- L'effet de mesures préventives, telles que la rotation des cultures et le labour, a été relevé pour le piétin-verse, la septoriose et la fusariose. Toutefois, l'effet de ces mesures préventives a pu être renversé par des conditions environnementales favorables au développement ultérieur de la maladie. Au contraire, l'oïdium et la rouille brune n'ont guère été influencés par le système de culture et leur développement dépendait principalement des conditions environnementales.
- En conditions climatiques favorables à la fusariose, la concentration en DON était plus élevée en présence d'un antécédent maïs qu'après un blé d'automne en monoculture. L'importance du labour ou d'une variété tolérante comme Arina a pu être soulignée.
- La tolérance variétale constituait un des facteurs essentiels et stables contrôlant les maladies, offrant de nombreuses interactions avec les autres mesures culturales. De nombreuses combinaisons de techniques culturales sont envisageables selon le système de culture adopté et les objectifs de production. La pertinence de la protection fongicide dépend de ces mesures préalables ainsi que des conditions environnementales du moment. ■

Riassunto

Influenza del sistema di coltura sull'apparizione di malattie del frumento autunnale e la loro incidenza sulla resa

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 l'influenza del sistema colturale sulla presenza delle malattie del frumento autunnale e di discutere delle incidenze sulla resa. L'effetto favorevole di misure preventive, come la rotazione colturale e la lavorazione del terreno, è stato osservato per il mal del piede dei cereali, la septoriosi sulle foglie e la fusariosi sulla spiga. Dette misure fitosanitarie preventive hanno potuto essere eluse dalle condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo ulteriore della malattia. L'oidio e la ruggine bruna erano poco influenzati dal sistema colturale e il loro sviluppo dipende principalmente dalle condizioni ambientali, mentre la concentrazione di micotossine prodotte dalla fusariosi si basano piuttosto sulla presenza di un mais antecedente che su una monocoltura di frumento autunnale. È stata evidenziata l'importanza della lavorazione del suolo o di varietà tolleranti come Arina. La tolleranza varietale ha costituito un fattore essenziale e stabile per il controllo delle malattie. L'efficacia della protezione fungicida dipende da queste preliminari misure colturali e dalle condizioni ambientali del momento.

Bibliographie

- Charles R., Cholley E. & Frei P., 2011. Assolement, travail du sol, variété et protection fungicide en production céréalière. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (5), 212–219.
- Gindrat D. & Frei P., 1999. Quelques particularités du piétin-verse du blé d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 31 (5), 213–216.
- Gindrat D. & Frei P., 1999. La météo, un élément clef pour la prévision du risque de piétin-verse pour le blé d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 31 (5), 217–220.
- Gindrat D., Frei P. & Pellet D., 2003. Prévision du risque de piétin-verse sur le blé d'automne en Suisse. *Revue suisse Agric.* 35 (3), 113–116.
- Häller-Gärtner B., Kleijer G. & Mascher F., 2005. Répartition du DON dans les fractions de mouture du blé. *Mitt. Lebensm. Hyg.* 96, 462–465.
- Gomez K. A. & Gomez A. A., 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. Wiley-Interscience, second edition, 680 p.

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. This complement aimed at evaluating the influence of the cropping system on the development of diseases on winter wheat and discussing the impacts on yield.

The favorable effect of sanitation measures such as crop rotation and ploughing was raised for eyespot, septoria leaf blotch and fusarium head blight. These preventive measures could be reversed by environmental conditions favorable to the later disease development. Powdery mildew and brown rust were further influenced by the environmental conditions favorable to their development. The concentration in fusarium mycotoxins depended more on the presence of previous maize than on winter wheat in monoculture. The importance of the ploughing or a tolerant variety such as Arina could be underlined. The variety resistance constituted a crucial and stable factor for the diseases control. The efficiency of fungicide protection depends on these initial cropping measures as well as on current environmental conditions.

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

- Levy L., Collaud J., Schwaerzel 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.
- 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.
- 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.
- Vogelgsang S., Jenny E., Hecker A., Bänziger I. & Forrer H.-R., 2009. Fusarien und Mykotoxine bei Weizen aus Praxis-Ernteproben. *Agrarforschung* 16 (7), 238–243.
- Vullioud P., 2007. Rotations de cultures chargées en blé : est-il possible d'en diminuer les inconvénients. *Revue suisse Agric.* 39 (1), 15–23.