



Comparaison du semis direct et du labour pendant 10 ans

A. CHERVET, L. RAMSEIER et W. G. STURNY, Service des améliorations structurelles et de la production
(Protection des sols), Rütti, CH-3052 Zollikofen
S. TSCHANNEN, Inforama Rütti, CH-3052 Zollikofen

@ E-mail: andreas.chervet@vol.be.ch
Tél. (+41) 31 91 05 338.

Résumé

Deux systèmes de culture, respectivement basés sur le semis direct et sur le labour, sont comparés depuis dix ans dans un essai en bandes sur six parcelles à l'Inforama Rütti de Zollikofen, sur un sol brun profond contenant 15% d'argile et 3% d'humus.

Dans le système du semis direct, l'absence de tout travail du sol demande une stratégie plus élaborée pour le contrôle des adventices. À côté des interventions chimiques, mécaniques ou thermiques, les mesures indirectes sont tout aussi importantes: rotation des cultures équilibrée, couverture permanente du sol, gestion adaptée des pailles et semis immédiatement après la récolte du précédent.

Le semis direct permet une utilisation durable du sol, dont la structure devient plus stable et mieux portante qu'en culture avec labour; le risque d'érosion est nettement diminué et moins de passages de machines diminuent les coûts (notamment en carburant). Après une période d'adaptation de sept ans, le cycle de l'azote est plus régulier et permet des rendements équivalents à ceux du labour en quantité et en qualité.

Deux problèmes ne sont pas encore définitivement résolus: le système est plus dépendant des herbicides comme le glyphosate et il y a un risque accru de formation de mycotoxines, lorsque des céréales d'automne sont cultivées après maïs. Les solutions sont de modifier la rotation, de broyer les résidus de récolte du maïs et de choisir des céréales plus résistantes à la fusariose.

Fig. 1. Vue aérienne du site de suivi à long terme «Oberacker» de l'Inforama Rütti à Zollikofen (BE) (Photo Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz).



L'essai d'Oberacker

En grandes cultures, des systèmes de travail du sol moins intensifs doivent être pratiqués de façon à ménager le sol, à assurer sa fertilité à long terme (LPE, 1983) et à améliorer le rendement économique. A l'Inforama Rütli de Zollikofen, le système de culture du semis direct est pratiqué depuis août 1994 sur un sol brun profond avec 15% d'argile et 3% d'humus et de l'humidité en sous-sol (Chervet *et al.*, 2001). En comparaison avec le système traditionnel basé sur le labour, cet essai en bandes sans répétitions doit montrer les avantages et les problèmes de ce nouveau système cultural. Six parcelles contiguës sont cultivées moitié en semis direct, moitié avec labour, avec la même rotation de cultures (fig. 1).

L'essai de démonstration est conduit dans le cadre de la surveillance cantonale des sols par le Service des améliorations structurelles et de la production (Protection des sols) du canton de Berne et par l'Inforama Rütli. Des paramètres physiques, biologiques et chimiques du sol sont mesurés à côté des caractères agronomiques. Certains aspects sont étudiés par la Haute école suisse d'agronomie (HESA) de Zollikofen et par la Station fédérale de recherches en agriculture et agroécologie d'Agroscope FAL Reckenholz. Cet article est le premier d'une série d'environ huit publications à paraître sur une période d'environ deux ans, traitant de l'essai comparatif «Oberacker».

Comparaison des systèmes

La mise en place des cultures par semis direct se fait sans aucun travail du sol. Les semoirs pour semis direct sont munis de socs spéciaux qui ouvrent une fente peu profonde dans le sol, y déposent les graines et les recouvrent. Dans le système avec labour (fig. 2), le retournement du sol permet à la fois d'incorporer les engrais verts et de limiter les adventices. Pendant la période de végétation, les traitements herbicides se font surtout



Fig. 2. Labour hors sillon à l'aide de la charrue «onland»: les roues de tracteur roulent en dehors du fond de la raie de labour, diminuant ainsi la formation d'une semelle de labour.

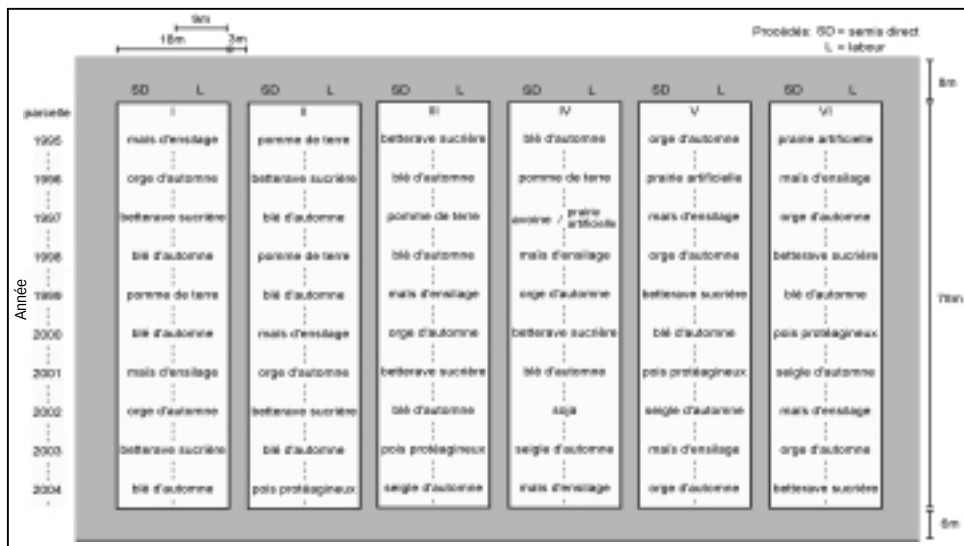


Fig. 4. Plan de culture de l'essai Oberacker de 1994-1995 à 2004.

après la levée. En semis direct, par contre, l'absence de travail du sol implique une autre stratégie de régulation des adventices, surtout pour éviter l'établissement d'espèces pérennes. Si on veut limiter l'emploi de produits chimiques, il faut alors avoir recours à la rotation des cultures, à des engrais verts adaptés, à la lutte mécanique ou thermique et gérer les pailles (fig. 3). Le système du semis direct cherche à maîtriser les adventices en les concurrençant en permanence dans l'occupation du sol avec la rotation.

Système cultural et contrôle des adventices

Rotation des cultures

Les cultures concurrencent les adventices qui germent surtout vis-à-vis de la lumière mais aussi de l'eau et des nutriments. Une bonne rotation des cultures permet donc de limiter les adventices. Ce principe a été pris en compte dans l'essai Oberacker, où la rotation des cultures a été modifiée dans ce sens en 1996. Les céréales à paille et les autres cultures sont depuis lors cultivées en

alternance année après année. On fait en sorte qu'une culture semée en automne soit suivie d'un engrais vert puis d'une culture semée au printemps (qui elle n'est pas suivie d'engrais vert). Au début, les pommes de terre étaient cultivées par plantation directe sous litière, mais à long terme ce procédé contrariait l'effet du semis direct et la culture a en conséquence été remplacée par une légumineuse en 1999 (Reinhard *et al.*, 2001). La rotation actuelle se déroule comme suit: betteraves sucrières – blé d'automne – pois protéagineux – seigle d'automne – maïs d'ensilage – orge d'automne (fig. 4). La concurrence contre les adventices est particulièrement efficace avec les cultures de maïs et de seigle. A l'inverse, sans intervention, les pois et les betteraves laissent les adventices se développer même durant leur pleine végétation.

Travail du sol pour les engrais verts

Depuis le changement de rotation de 1999, le sol n'est plus travaillé que superficiellement avant le semis d'engrais vert, et ce uniquement dans les parcelles du système avec labour (tabl. 1).



Fig. 3. Semis direct classique sans aucun travail du sol dans les chaumes très hauts, après avoir bien réparti les résidus du seigle lors du moissonnage-battage.

Tableau 1. Nombre total de mesures de régulation du couvert végétal en fonction du système de culture des semis de 1994 aux récoltes de 2004 sur la parcelle «Oberacker».

ENGRAIS VERTS	Labour	Semis direct
Nombre de semis	29	30
Jours de friche avec très forte couverture du sol avant le semis d'engrais vert	212	209
Jours de friche nue avant le semis d'engrais vert	3	–
Nombre de travaux du sol avant le semis d'engrais vert	34	11 ¹
– dont travaux avec machines à prise de force	28	–
Nombre de parcelles avec très forte couverture du sol après le semis d'engrais vert	1	24
Nombre de parcelles avec faible couverture du sol après le semis d'engrais vert	28	6
CULTURES PRINCIPALES		
Nombre de semis	60	60
Jours de friche avec très forte couverture du sol avant le semis de la culture principale	306	330
Jours de friche nue avant le semis de la culture principale	299	42
Nombre d'interventions de régulation du couvert végétal avant le semis de la culture principale ou juste après, en prélevée, dont:	118	52
– interventions mécaniques dans le sol	118	1 ²
– interventions mécaniques sur le sol (broyages)	–	5
– interventions chimiques	–	40
– interventions thermiques	–	6
Nombre de parcelles avec très forte couverture du sol après le semis de la culture principale	–	46
Nombre de parcelles avec faible couverture du sol après le semis de la culture principale	3	13
Nombre de parcelles avec sol entièrement nu	57	–
Nombre d'interventions de régulation de la flore adventice après la levée de la culture principale, dont:	99	94
– interventions mécaniques dans le sol	23 ³	20 ³
– interventions mécaniques sur le sol (broyages)	1	1
– interventions chimiques	76	74
– interventions thermiques	1	–

¹Buttage préalable pour la plantation sous litières des pommes de terre, avant enherbement.

²Semis sur bandes fraîchées du maïs en 1995.

³Dont, pour chaque système, 12 buttages après plantation des pommes de terre.



◁ Fig. 5. Levée régulière de la navette dans les chaumes de seigle après semis direct (à gauche) ou après un travail superficiel à l'aide d'une herse rotative à axe horizontal (à droite).

Engrais vert

Pour concurrencer les adventices, des cultures intercalaires à croissance rapide sont préférables. Les crucifères choisies couvrent le sol rapidement et leurs profondes racines pivotantes régénèrent la structure du sol. En fonction de la date de semis de la culture principale, on sème la navette (hivernante; fig. 5) avant le maïs et le radis oléifère (non hivernant; fig. 6) avant la betterave et le pois.



◁ Fig. 6. Après une phase de transition d'environ sept ans, le radis oléifère produit plus de biomasse en semis direct (à gauche) qu'après labour (à droite).

Usage des herbicides

L'usage régulier de l'herbicide bon marché glyphosate est souvent critiqué. On redoute des résidus de matière active dans les nappes phréatiques ainsi que l'apparition de résistances chez des adventices. Pour minimiser ces risques, il faut davantage choisir les doses minimales et les appliquer avec peu d'eau et avec agent mouillant ou sulfate d'ammonium. Il est aussi possible de diminuer les traitements en postlevée en contrôlant précisément la flore au semis et en choisissant les matières actives et les doses en conséquence (fig. 7).



Fig. 7. Avec une rotation adaptée en semis direct, il est possible de renoncer à une application systématique d'herbicide non sélectif.

Contrôle de la flore en présemis ou prélevée

Dans le système avec labour, celui-ci est pratiqué avant chaque culture principale. Il est suivi d'une préparation au semis avec une herse rotative entraînée par la prise de force (tabl.1). Outre l'enfouissement des engrais verts et des résidus de récolte, ce système permet à court et à moyen terme un contrôle efficace des adventices. Avec le semis direct, la flore présente avant le semis doit être combattue différemment. En moyenne sur plusieurs années, des herbicides non sélectifs sont utilisés dans quatre parcelles avec un engrais vert et ses adventices sur six (voir encadré ci-dessus).

Un traitement thermique (traitement à la flamme, coûteux) est aussi utilisé avec succès après les cultures sarclées (pomme de terre et betterave) et avant les céréales d'automne. La navette ayant hiverné est encore présente après le semis du maïs (fig. 8) ou la plantation des pommes de terre. Elle est alors broyée sur place, mais ce procédé peut parfois entraîner un mauvais développement initial de la nouvelle culture, qui pourrait être dû à un effet allélopathique (Bohren et Delabays, 2005).

Cultures principales

Chaque culture a été mise en place le même jour et de manière identique dans les deux systèmes en comparaison, avec une exception en 1997. Depuis 2000, et comme pour les engrais verts, le semoir de semis direct (espace interligne: 16 cm; fig. 3) est aussi utilisé après labour.



◁△ Fig. 8. Le même semoir (ici à soc «Cross Slot» pour le maïs) est utilisé pour obtenir des densités de plantes identiques dans les deux systèmes.

Fig. 9. Le maïs semé directement dans la navette fleurie se porte bien lorsqu'elle est éliminée chimiquement. △▷



Contrôle des adventices en postlevée

Les sarcluses et herse-étrilles traditionnelles sont adaptées au système avec labour. En sol non travaillé, elles ne sont que partiellement utilisables à cause des résidus de récolte qui provoquent des bourrages. Elles peuvent même casser l'effet à long terme du semis direct. Les interventions en postlevée se font chimiquement, en moyenne un peu plus d'une fois par parcelle et par année (tabl.1 et fig. 9). Cela facilite la comparaison entre les systèmes. Depuis l'abandon de la culture des pommes de terre en 1999, plus aucun sarclage n'a été effectué.

Semis immédiat

Autant que possible, le semis a lieu le jour même de la récolte. Le but est d'obtenir rapidement une nouvelle couverture du sol et donc de le laisser nu le moins longtemps possible. En outre, le jour même de la récolte, la paille est plus cassante et se laisse assez facilement couper par le soc du semoir. Cela permet de bien déposer les graines dans un sol encore meuble. En revanche, après la pluie ou une forte rosée, la paille humide devient élastique et se tasse dans la fente de semis, ruinant plus ou moins le semis direct, car le contact de la graine avec le sol est insuffisant. La germination est alors entravée, la levée irrégulière et le peuplement lacunaire, sujet à l'envahissement par les mauvaises herbes.

Gestion des pailles

Dans le système avec labour, les pailles et autres résidus de récolte sont incorporés avant le semis suivant. En semis direct, par contre, ces résidus sont répartis au mieux sur toute la surface (fig.10). La paille non hachée entraîne facilement le bourrage des machines de travail du sol. C'est pourquoi la paille a souvent été enlevée les premières années dans le système avec labour. Grâce à l'amélioration technique des machines, la paille peut aujourd'hui toujours être laissée sur le champ, ce qui réduit les coûts tout en facilitant la comparaison entre les deux systèmes.



Fig. 10. Il est avantageux de disposer d'une moissonneuse-batteuse pourvue de répartiteurs aussi bien pour les balles que pour la paille. Les résidus de récolte sont ainsi bien répartis et ne forment pas d'andains inhibant la germination.

Tableau 2. Nombre de jours à risque accru d'érosion en tenant compte de toutes les interventions spécifiques aux deux systèmes culturels sur la parcelle «Oberacker».

	Labour	Semis direct
PÉRIODE DE CULTURE 1		
Σ jours de jachère nue avant le semis d'engrais vert	3	–
Σ jours avec faible recouvrement du sol et structure meuble avant le semis d'engrais vert: 28 parcelles labour, resp. 6 parcelles semis direct à 10 jours avec risque d'érosion accru ¹	280	60
PÉRIODE DE CULTURE 2		
Σ jours de jachère nue avant le semis de la culture principale	299	42 ²
Σ jours avec faible recouvrement du sol et structure meuble entre deux cultures principales: 3 parcelles labour, resp. 13 parcelles semis direct à 10 jours avec risque d'érosion accru ³	30	130
Σ jours avec sol entièrement nu et structure très meuble après le semis de la culture principale: 57 parcelles labour, resp. 0 parcelles semis direct avec risque d'érosion accru ⁴	3881	–
Σ JOURS À RISQUE ACCRU D'ÉROSION	4493	232

¹Labour: 28 parcelles avec semis sous litière; semis direct: 6 parcelles avec semis sous litière.

²Après pommes de terre et après betteraves.

³Labour: 3 parcelles avec semis sous litière de prairie; semis direct: 9 parcelles de blé d'automne après betteraves, 3 parcelles de blé d'automne après pommes de terre et une parcelle d'avoine d'automne après pommes de terre.

⁴Périodes de culture: blé d'automne: 13 parcelles à 161 jours; maïs: 10 parcelles à 45 jours; betteraves: 10 parcelles à 61 jours; orge d'automne: 10 parcelles à 11 jours; pommes de terre: 5 parcelles à 20 jours; seigle d'automne: 4 parcelles à 11 jours; pois de printemps: 2 parcelles à 61 jours; pois d'automne: 2 parcelles à 161 jours; soja: 1 parcelle à 30 jours.



Fig. 11. Effet protecteur d'une couverture permanente entre les rangs de betteraves sucrières (semis direct *en haut*, labour *en bas*) lors d'une chute de pluie de 55 mm le 2 juin 2004.



Fig. 12. Sol tassé dans la parcelle labourée entre les rangs de betteraves sucrières dû au passage des roues de tracteur lors du semis et lors du traitement herbicide.

est généralement moins bonne, souvent à cause des dégâts dus aux limaces, mais ce désavantage est compensé par les plantes au cours de la période de végétation. Cette compensation est surtout effective pour des céréales d'hiver dont la maturité de récolte correspond à la mort des plantes et dont le rendement augmente de 7,9%. En revanche, les rendements du maïs d'ensilage, des betteraves sucrières et des pois protéagineux de printemps ne diffèrent pratiquement pas entre les deux systèmes.

Durant les premières années, les cultures sarclées, en particulier, ont subi des pertes de rendement avec le semis direct. Les causes de ces pertes sont à rechercher dans le sol (qui s'adapte avec le temps au semis direct), dans les machines (qui avaient besoin d'être améliorées) et dans le manque de connaissances agronomiques. Les pommes de terre plantées sous litière, en particulier, ont donné des résultats décevants, quantitativement et qualitativement (Reinhard *et al.*, 2001). Leur remplacement dès 2000 par les pois protéagineux d'automne a révélé la grande sensibilité de cette culture aux retours de froid et ce sont des pois de printemps qui ont finalement été semés dès 2003.

En moyennes annuelles (tabl. 4), les rendements du semis direct étaient jusqu'à 7% inférieurs pendant les sept premières années

Comparaison des effets des deux systèmes de culture

Risques d'érosion

L'intervalle entre le travail du sol et le moment où la couverture du sol atteint 10% est particulièrement exposé au risque d'érosion (Prasuhn et Grünig, 2001). Pour chacun des deux systèmes de culture, les jours à risque accru d'érosion sont figurés dans le tableau 2. En recourant systématiquement au semis direct, la période à risque accru d'érosion a pu être nettement réduite. Le nombre de jours entre sol nu et couverture de 10% était moins élevé. Par contre, le système avec labour compte 19 fois plus de jours à risque accru d'érosion.

La battance à la surface du sol est éliminée par la pratique du semis direct, ce qui se répercute positivement sur la dynamique des nutriments dans l'horizon supérieur du sol (fig. 11). L'infiltration de l'eau est nettement meilleure dans un sol qui n'est jamais travaillé (collectif SEA, 2001). Ces facteurs contribuent à réduire l'érosion due aux fortes précipitations.

Charge physique sur le sol

Le nombre de passages de machines est élevé dans le système avec labour (tabl. 3). En moyenne, plus de deux interventions supplémentaires sont nécessaires pour le travail du sol. Pour le semis direct, on comptabilise une intervention de plus «sur le sol» liée au contrôle des adventices en présemis et en prélevée, comme l'ont également

constaté Vullioud et Mercier (2004). Mais la charrue et les outils de travail du sol nécessitent plus de passages que le pulvérisateur. Chaque parcelle labourée (largeur 9 m) compte ainsi treize passages supplémentaires par année (tabl. 3 et fig. 12). La réduction des passages avec le semis direct permet de réduire les coûts de travail et de carburant, en plus de l'effet positif sur la structure du sol et sur le régime des nutriments. La portance d'un sol qui n'est plus travaillé depuis des années est significativement améliorée (van der Veer, 2004 et fig. 13).

Rendements

Les rendements relatifs obtenus sur la période d'essai de dix ans sont présentés dans le tableau 4 (système avec labour = 100%). En moyenne, la comparaison des systèmes montre des rendements un tout petit peu plus élevés avec le semis direct. La levée y

Tableau 3. Somme des interventions et des passages de machines, des semis de 1994 aux récoltes de 2004 sur la parcelle «Oberacker».

	Interventions/passages		Différence sur 10 ans entre semis direct et labour		Différence moyenne par parcelle et par année
	Labour	Semis direct	Absolue	Relative (labour = 100%)	
Σ INTERVENTIONS AVEC MACHINES	696	620	76	89,1	1,26
– interventions dans le sol	194	54	140	27,8	2,33
– interventions sur le sol	502	566	64	112,7	1,07
Σ PASSAGES PAR LARGEUR DE 9 M	2131	1341	790	62,9	13,17
– interventions dans le sol	1253	381	872	30,4	14,54
– interventions sur le sol	878	960	82	109,3	1,37

Tableau 4. Effets des précédents cultureux, des systèmes de mise en place et de la fumure azotée sur les rendements relatifs (labour = 100%) au champ. Parcelle «Oberacker».

Année de culture	Parcelle I		Parcelle II		Parcelle III		Parcelle IV		Parcelle V		Parcelle VI	
	labour [%]	semis direct [%]	labour [%]	semis direct [%]	labour [%]	semis direct [%]	labour [%]	semis direct [%]	labour [%]	semis direct [%]	labour [%]	semis direct [%]
1994/1995	maïs d'ensilage ¹		pommes de terre + e. v. ²		betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		orge d'automne		prairie artificielle	
	100	96,5	100	79,5	100	82,6	100	117,0	100	117,4	3	3
1995/1996	orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		pommes de terre ² + e. v.		prairie artificielle		maïs d'ensilage	
	100	97,3	100	96,4	100	102,9	100	103,1	3	3	100	103,0
1996/1997	betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		pommes de terre ²		avoine + e. v. prairie art.		maïs d'ensilage		orge d'automne + e. v.	
	100	106,4	100	85,2	100	73,7	3	3	100	91,0	100	106,2
1997/1998	blé d'automne + e. v.		pommes de terre ²		blé d'automne + e. v.		maïs d'ensilage		orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières	
	100	97,6	100	77,6	100	99,8	100	106,5	100	109,5	100	109,8
1998/1999	pommes de terre ^{2, 4}		blé d'automne + e. v.		maïs d'ensilage ⁴		orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières ^{1, 4}		blé d'automne + e. v.	
	100	98,4	100	131,0	100	99,3	100	117,0	100	110,1	100	132,4
1999/2000	blé d'automne + e. v.		maïs d'ensilage		orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		pois protéagineux d'automne de printemps	
	100	100,3	100	96,3	100	93,2	100	81,2	100	123,0	100	102,3
2000/2001	maïs d'ensilage		orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		pois protéagineux d'aut.+e.v.		seigle d'automne + e. v.	
	100	96,7	100	101,4	100	95,3	100	110,4	100	62,7	100	99,4
2001/2002	orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		soja		seigle d'automne + e. v.		maïs d'ensilage	
	100	120,7	100	104,1	100	111,7	10	97,2	100	111,5	100	100,4
2002/2003	betteraves sucrières		blé d'automne + e. v.		pois protéagineux + e. v.		seigle d'automne + e. v.		maïs d'ensilage		orge d'automne + e. v.	
	100	124,1	100	110,7	100	103,7	10	108,7	100	103,0	100	112,8
2003/2004	blé d'automne + e. v.		pois protéagineux + e. v.		seigle d'automne + e. v.		maïs d'ensilage		orge d'automne + e. v.		betteraves sucrières	
	100	114,1	100	104,3	100	105,7	100	105,3	100	107,6	100	119,5

e. v. = engrais vert



Dose d'azote supérieure en système de semis direct.
Dose d'azote supérieure en système avec labour.
Semis direct: rendement relatif moyen supérieur à la dose relative moyenne d'azote.

¹Semis sur bandes fraisées.
²Plantation sous litière.
³Rendement non mesuré.
⁴Fumier et/ou purin.

d'essai (sauf en 1999). Mais, depuis maintenant trois ans, la situation s'est inversée et ces rendements dépassent presque de 10% ceux du système avec labour. Ce n'est donc qu'après plusieurs années que le sol s'est adapté au nouveau système de culture. Une couverture permanente, moins de passages et pas de travail du sol ont permis qu'une nouvelle structure se mette progressivement en place dans le sol grâce à l'activité biologique. Ce nouvel état se répercute maintenant positivement sur les rendements (fig. 14).

Fumure azotée

Le tableau 4 indique, dans les colonnes de droite, les doses annuelles d'azote apportées en moyenne des six soles (en quantités absolues et relatives par rapport au labour). Pendant une période d'adaptation de six ans, les apports d'azote ont été jusqu'à 30% (2000) supérieurs en culture avec semis direct. En modifiant la rotation des cultures il y a quatre ans (pomme de terre remplacée par une légumineuse, blé remplacé par du seigle moins exigeant), les doses d'azote ont

pu être réduites de presque 50%. Depuis, des doses très faibles (50 à 60 kg/ha) et pratiquement semblables sont apportées dans les deux systèmes (fig. 15). Ces doses ont permis de maintenir les rendements à un niveau satisfaisant pour des production de type Extensio (tabl. 4 et 5). Il convient de noter que les apports de phosphore et de potassium ont été identiques depuis le début entre les deux systèmes de culture. Si l'on compare les apports moyens d'azote et les rendements des cultures, on constate



Fig. 13. La portance du sol est notablement améliorée après quelques années seulement de semis direct en continu.



Fig. 14. Un système de semis direct en continu produit un nouvel équilibre dynamique dans le sol. La meilleure efficacité des nutriments qui s'ensuit se traduit par des rendements légèrement plus élevés.

Ø rendem. annuels		Ø N-input/année de culture			
labour [%]	semis direct [%]	labour (kg/ha)	semis direct [%]	labour (kg/ha)	semis direct [%]
100	98,6	98,8	100	112,7	114,1
100	100,5	112,8	100	115,5	102,4
100	92,5	89	100	97,6	109,7
100	100,1	97	100	116,3	119,8
100	114,7	145,5	100	172,1	118,3
100	99,4	66,8	100	87,4	130,8
100	94,3	53,9	100	53,9	100
100	107,6	58,5	100	61,2	104,6
100	110,5	56,3	100	57,7	102,5
100	109,4	61,1	100	61,1	100
100	102,8	84	100	93,6	110,2

Tableau 5. Rendements moyens (absolus) de 1995 à 2004.

Culture	Σ parcelles	Labour	Semis direct
Blé d'automne ¹	13	53,3	57,8
Orge d'automne ¹	10	62,6	67,1
Betteraves sucrières ²	10	737,7	748,7
Maïs d'ensilage ³	10	204,0	203,8
Maïs grain ³	9	111,2	111,6
Pommes de terre ²	5	401,3	340,0
Seigle d'automne ¹	4	57,3	61,7
Pois protéagineux ¹	4	41,1	40,7
Soja ¹	1	29,8	29,0

Unités: ¹[kg/a; 15% H₂O] céréales, légumineuses à graines;
²[dt MF/ha] betteraves sucrières, pommes de terre;
³[dt MS/ha] maïs d'ensilage, maïs grain.



Fig. 15. La culture de seigle (semis direct à gauche, labour à droite) n'a reçu aucun apport d'azote si ce n'est les reliquats du précédent cultural, en l'occurrence du pois protéagineux.

que la production augmente dès 2002 dans le système du semis direct, sans fumure supplémentaire (tabl. 4). L'efficacité des apports d'azote a donc augmenté. Après sept ans de semis direct, la phase d'adaptation du sol semble donc se terminer. Pendant les deux dernières années de culture, les six parcelles ont atteint des rendements supérieurs et une bonne qualité grâce à cette meilleure valorisation de l'azote et aux remarquables facultés de compensation des plantes issues du semis direct. Les effets positifs du semis direct demandent plusieurs années pour se manifester, mais l'utilisation des nutriments par les plantes est dès lors et durablement meilleure. Tant que cette adaptation n'est pas remise en cause par un nouveau travail du sol, elle permet de bons rendements avec peu d'azote.

Qualité des produits

Mycotoxines

Depuis 1999, des échantillons de céréales (18 par système de culture) sont analysés quant à leur teneur en désoxynivalénol (DON) et en zéaralénone (ZEA), tous deux produits par des champignons, au moyen d'un kit ELISA (BioCheck, GmbH, D-Leipzig). La ZEA n'a jamais pu être détectée dans aucun échantillon, ni dans le seigle (n = 4), ni dans le blé (n = 8), ni dans l'orge (n = 6). Le même résultat a été obtenu avec le DON dans le seigle avec précédent légumineuse. Dans le blé d'automne avec précédent betterave, une des huit analyses a révélé la présence de la mycotoxine dans les deux systèmes de culture. Des teneurs plus élevées en DON ont aussi été mesurées dans l'orge avec précédent maïs, dans cinq échantillons des parcelles en semis direct et dans trois des parcelles labourées. Dans aucun cas, cependant, la limite légale de 1 mg/kg de MS n'a été dépassée (encadré ci-dessus).

Mycotoxines

En 2003, les chaumes du maïs d'ensilage ont pour la première fois été broyés avant le semis de l'orge. En 2004, on n'a alors plus trouvé de mycotoxines à l'analyse. Dans la rotation choisie, des teneurs accrues en mycotoxines DON et ZEA ne sont pas à craindre dans les céréales panifiables. La succession maïs – blé est connue pour favoriser les fusarioses, mais des mycotoxines peuvent aussi apparaître dans l'orge récoltée après maïs. Dans ces cas, il est indiqué de broyer finement les résidus de récolte du maïs avant le semis direct d'une variété peu sensible aux fusarioses (fig. 16)!



Fig. 16. La culture de blé et de triticales après maïs implique un risque élevé d'attaque de fusariose. En cas de cultures de blé sans labour, la lutte mécanique contre les fusarioses et la pyrale du maïs par un broyage soigné des résidus de maïs à ras du sol est incontournable et doit être combinée avec le choix de variétés peu sensibles comme Arina ou Titlis.

Céréales

Dans les récoltes des deux systèmes de culture, le poids à l'hectolitre (n = 25 par système), le poids de mille grains (n = 16) et la proportion de grains de 1^{re} classe (n = 20) ont été régulièrement mesurés; les différences entre les deux systèmes sont petites. Au total, les résultats ont été six fois à l'avantage du semis direct et trois fois à celui du labour.

Betteraves sucrières

A cause de la minéralisation retardée de l'azote en semis direct – que montre un jaunissement plus tardif du feuillage – les betteraves sucrières mûrissent plus tard en automne. Le transport d'assimilats vers les racines est donc retardé. Un seul apport d'azote au semis peut déjà corriger la situation (fig. 17): en 2004, il a pour la première fois été possible d'obtenir un rendement en racines, une teneur en sucre et une extractibilité en semis direct plus élevés qu'après labour.



Fig. 17. Semis direct de betteraves sucrières dans du radis oléifère, déperri par le gel, avec un unique apport d'azote localisé. Les roues en étoiles montées devant les socs semeur écartent les débris de plantes.



Fig. 18. Après onze ans d'essai de démonstration sur la parcelle de surveillance à long terme Oberacker, l'impact du semis direct sur le sol et les plantes intéresse de plus en plus les producteurs...

Maïs d'ensilage

En divisant le rendement en épis par le rendement en plantes entières, on obtient un indice de récolte (différent de celui qui concerne les grains seulement). En moyenne des années, l'indice est plus élevé de 0,9% pour le semis direct, ce qui indique un fourrage plus énergétique à la fin de la maturité pâteuse.

Betteraves sucrières

Par rapport au système avec labour, les betteraves du semis direct ont présenté une teneur en sucre (-0,2%) et un rendement en sucre (-0,5%) légèrement inférieurs. Maïs, avec leur rendement un peu plus élevé, en moyenne des dix ans, le rendement en sucre était exactement le même pour les deux systèmes (encadré page précédente, en bas).

Bibliographie

- Autorenkollektiv AUL, 2003. Bodenbericht 2003. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern. Zollikofen, 28.
- Bohren Ch. & Delabays N., 2005. 17. Fachtagung zur Unkrautregulierung, Tagungsunterlagen, Agroscope FAL Reckenholz.

Conclusions

Après dix ans de comparaison entre les deux systèmes de culture «semis direct» et «labour» sur le site d'Oberacker, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- ❑ La rotation doit être adaptée au semis direct. Elle participe activement à la maîtrise des adventices. Les céréales doivent alterner avec les autres cultures.
- ❑ Des cultures intercalaires sont systématiquement choisies en fonction de la date de semis de la culture suivante.
- ❑ Le contrôle de la flore adventice se fait en présemis avec un herbicide non sélectif ou en postlevée.
- ❑ Le semis doit être réalisé immédiatement après récolte: autant que possible, la culture suivante, qu'elle soit principale ou intercalaire, doit être semée le jour même de la récolte. Les résidus de récolte ainsi que les pailles sont répartis sur toute la surface lors du moissonnage-battage.
- ❑ Suppression des risques d'érosion: en recourant systématiquement au semis direct, le nombre de jours à risque a pu être nettement réduit. La battance a disparu. L'infiltration de l'eau est quant à elle nettement meilleure.
- ❑ Beaucoup moins de poids sur le sol: le semis direct nécessite moins de passages, ce qui allège les coûts, le travail et la pression physique exercée sur les parcelles. La structure du sol comme la portance sont significativement améliorées.
- ❑ Les rendements progressent avec le temps et donnent depuis trois ans un avantage au semis direct. Les adaptations techniques et agronomiques, une couverture permanente, moins de passages et l'absence de travail du sol ont progressivement généré une nouvelle structure grâce à l'activité biologique, ce qui se répercute maintenant positivement sur les rendements.
- ❑ L'azote acquiert une meilleure efficacité: si l'on compare les apports moyens d'azote et les rendements des cultures, on note que la production progresse dès 2002 dans les parcelles en semis direct sans augmentation de la fumure azotée. L'amélioration de la valorisation de l'azote par les plantes se conjugue à la bonne qualité des produits. Par contre, pendant une période d'adaptation de six ans, il a été nécessaire d'apporter davantage d'azote en semis direct.
- ❑ Dans l'ensemble, le système du semis direct contribue efficacement au maintien à long terme de la fertilité des sols.

Chervet A., Maurer C., Müller M. & Stumy W. G., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 8 (1), 12-17.

Prasuhn V. & Grünig K., 2001. Evaluation der Ökomaßnahmen Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. *Schriftenreihe der FAL*, 56-59.

Reinhard H., Chervet A. & Stumy W. G., 2001. Direktsaat im Praxisversuch: Erträge der Kulturen (1995-1999). *Agrarforschung* 8 (1), 6-11.

Van der Veer S., 2004. Bodenverdichtung bei der Zuckerrübenanbau - die zwei Hauptverfahren im Vergleich, Diplomarbeit SHL, Zollikofen. 29-80.

Vullioud P. & Mercier E., 2004. Résultats de 34 ans de culture sans labour à Changins. I. Evolution des rendements. *Revue suisse Agric.* 36 (5), 201-212.

Remarque:

Les personnes intéressées par les calculs de rendement économique, de risque d'érosion (facteur C) ou de bilan écologique peuvent obtenir toutes les données du site de surveillance à long terme «Oberacker». Des échantillons des céréales peuvent aussi être mis à disposition pour des analyses qualitatives plus poussées.

Zusammenfassung

Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich

Seit zehn Jahren wird auf der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker am Inforama Rütti in Zollikofen das Pflug- mit dem Direktsaatsystem in sechs Fruchtfolgestreifen verglichen. Die tiefgründige Braunerde weist 15% Ton und 3% Humus auf.

Die im Vergleich zum Pflugsystem fehlende Bodenbearbeitung erfordert im Direktsaatsystem eine aufwändigere Strategie zur Beikrautregulierung. Faktoren wie ausgeglichene Fruchtfolge, permanente Bodenbedeckung, angepasstes Strohmanagement und sofortige Neuaussaat der Folgekultur werden genauso einbezogen wie chemische, mechanische oder thermische Verfahren.

Im Direktsaatsystem wird der Boden nachhaltig genutzt: Im Vergleich zum Pflugsystem ist er strukturstabiler und tragfähiger; das Erosionsrisiko sinkt markant; mit weniger Überfahrten werden (Treibstoff-)Kosten eingespart; nach siebenjähriger Bodenumstellung bewirkt die kontinuierlichere Stickstoffumsetzung mindestens gleich hohe Erträge und Qualität.

Zwei erst teilweise gelöste Probleme bleiben: vermehrte Abhängigkeit von Herbiziden wie Glyphosate und erhöhtes Risiko für Mykotoxinbildung beim pfluglosen Wintergetreideanbau nach Mais. Verkleinert werden kann die Gefahr durch Umstellen der Fruchtfolge, Zerkleinern von Maisstroh/-stopplern und wenig fusariumanfällige Getreidesorten.

Summary

No-tillage versus conventional tillage: ten years of comparison

Over the last ten years, conventional plow tillage has been compared to no-tillage on six crop rotation plots in the long-term field trial «Oberacker» at the Inforama Rütti in Zollikofen, on a deep cambisol with 15% clay and 3% organic matter. The absence of tillage operations in no-tillage makes a more complex strategy for weed control necessary. Options such as a balanced crop rotation, permanent soil cover, adapted crop residue management and immediate seeding of subsequent crops are used besides chemical, mechanical and thermal strategies of weed control. Land use is sustainable in the no-tillage system: no-tilled soil has a higher structural stability and load capacity while being markedly less prone to erosion; less machine usage and traffic reduce (fuel) costs. After seven years of no-tillage, continuous release of soil-borne nitrogen leads to crop yields and qualities at least equal to those obtained with conventional tillage. Two challenges remain only partly solved: the greater dependence on herbicides such as glyphosate and the greater risk of mycotoxin formation encountered in no-tilled winter cereal crops that follow corn. Remedies include adaptations of the crop rotation, chopping of residual corn straw/stalks and cropping of cereal varieties less susceptible to fusarium.

Key words: tillage system, no-tillage, weed control, yield, glyphosate, mycotoxin.