



Humidité du sol en semis direct et sous labour

A. CHERVET, L. RAMSEIER et W. G. STURNY, Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne, Rütli, 3052 Zollikofen

P. WEISSKOPF et U. ZIHLMANN, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

M. MÜLLER et R. SCHAFFLÜTZEL, Haute école suisse d'agronomie HESA, 3052 Zollikofen

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

Résumé

Les systèmes de culture avec labour (L) et en semis direct (SD) sont comparés depuis 1994 sur la parcelle de suivi à long terme «Oberacker» à l'Inforama Rütli (Zollikofen, BE). Le sol profond, mi-lourd avec humidité sous-jacente, a fait l'objet de mesures physiques entre 1999 et 2004 dans le cadre du programme cantonal d'observation des sols (KABO). La structure des agrégats, la sensibilité à la battance et la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol ont été analysées. L'effet du système cultural sur le potentiel matriciel et sur la teneur volumique en eau du sol a également été étudié, ce qui a permis de caractériser l'assèchement du sol pendant la période de végétation. Avec le système SD, la couche supérieure du sol n'est pas travaillée et le plus souvent recouverte de résidus végétaux; son humidité est soumise à moins de variations qu'avec le système L. Le sol cultivé en SD est moins soumis à l'évapotranspiration, ce qui peut expliquer la meilleure productivité en matière sèche des cultures dans ce système.

Introduction

En production végétale, l'agriculteur cherche à mettre en valeur son domaine en utilisant des techniques culturales adaptées. Les ressources naturelles que sont le sol, l'eau et l'air doivent être utilisées de manière durable pour permettre une production de qualité mais à faible coût. Pour cela, l'interaction entre le sol et l'eau mérite une attention particulière. Des rendements élevés font en effet que l'eau peut devenir un facteur de production limitant. Le site de l'Inforama Rütli à Zollikofen se trouve dans une zone favorable aux grandes cultures et à la production fourragère (zone climatique A3). De 1998 à 2005, l'effet du semis direct (SD) et du labour (L) sur la structure et l'humidité du sol a été comparé dans le détail (encadré 1).

Matériel et méthodes

Chaque printemps de 1999 à 2004, neuf carottes de 100 cm³ ont été prélevées dans le sol des parcelles portant un engrais vert avant du maïs d'ensilage ou des betteraves su-

crières. Ces prélèvements ont été effectués à deux profondeurs, 10-15 cm et 35-40 cm, quand le sol avait un potentiel matriciel de 60 hPa. En laboratoire, les échantillons ont d'abord été saturés en eau puis reséchés en

passant par les potentiels pF de 1,8 (par succion), 3,0 et 4,2 (par pression; encadré 2); après séchage final à l'étuve, la densité apparente a été déterminée (KABO Berne, 1996).



Fig. 1. Vue aérienne de la parcelle de suivi à long terme de l'Inforama Rütli à Zollikofen (BE), le 29 juin 2004 (photo Gabriela Brändle, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART).

1. Comparaison des systèmes de culture à l'Inforama Rütli

En grandes cultures, des systèmes de travail du sol moins intensifs doivent être pratiqués afin de ménager le sol, d'assurer sa fertilité à long terme (Confédération suisse, 1983) et d'améliorer le rendement économique. Un essai a été mis en place en août 1994 à l'Inforama Rütli de Zollikofen pour comparer les avantages et inconvénients des systèmes de culture avec labour (L) et semis direct (SD) et de résoudre leurs problèmes (fig.1).

Cet essai en bandes et sans répétitions est installé sur un sol brun profond avec 15% d'argile, 3% d'humus et humidité en sous-sol (Chervet *et al.*, 2001). Six soles de 14 ares se trouvent côte à côte; elles sont chacune cultivées pour moitié en semis direct, l'autre moitié étant labourée. Actuellement, la rotation des cultures qui convient à une exploitation sans bétail est la suivante: maïs d'ensilage - orge d'automne/engrais vert (EV) - betteraves sucrières - blé d'automne/EV - pois protéagineux de printemps/EV - seigle d'automne/EV.

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 (SASP) et par l'Inforama Rütli. Des paramètres de physique, de biologie et de chimie du sol sont relevés, ainsi que d'autres données agronomiques. Certains aspects sont étudiés par la Haute école suisse d'agronomie (HESA) à Zollikofen et par Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

Cet article est le quatrième d'une série qui traitent de l'essai comparatif «Oberacker».

Un autre échantillon a été prélevé aux mêmes profondeurs sur les parcelles destinées aux maïs et aux betteraves, afin de mesurer la stabilité de la percolation. Les plus gros agrégats ont tout de suite été émiétés à la main, puis les échantillons mis à sécher à l'air avant d'être tamisés à 1-2 mm. Dix

grammes des agrégats obtenus ont été déposés dans un tube en verre à travers lequel de l'eau déminéralisée a été percolée pendant dix minutes sous la pression constante d'une colonne d'eau de 20 cm (Siegrist, 1995). Ces mesures ont été répétées sept fois.

2. La porosité du sol

Porosité totale (P_T): volume total des pores asséchés en passant du sol saturé en eau au sol séché à l'étuve.

Pores très grossiers (P_{TG}): pores ayant un diamètre équivalent supérieur à 128 μm (galeries de vers de terre par exemple); en cas de forte pluie, ils conduisent rapidement l'eau vers les couches plus profondes et sont donc déterminants pour les mesures d'infiltration.

Pores grossiers (P_G): d'un diamètre équivalent supérieur à 50 μm , ces pores contiennent l'eau dite «de gravitation», c'est-à-dire qu'ils s'assèchent par gravitation, soit à un potentiel de 60 hPa (correspondant à une valeur pF de 1,8).

Pores moyens-grossiers (P_{MG}): d'un diamètre équivalent de 3,2 à 50 μm , ces pores contiennent l'eau «facilement utilisable par les plantes» retenue par le sol contre la gravitation et mise à disposition pour les plantes moyennant une force jusqu'à concurrence de 1000 hPa (correspondant à pF 3,0).

Pores moyens-fins (P_{MF}): d'un diamètre équivalent de 0,2 à 3,2 μm , ces pores contiennent l'eau «difficilement utilisable par les plantes», c'est-à-dire l'eau que le sol retient face à la gravitation et que les plantes n'absorbent que difficilement, moyennant une force de 15000 hPa (correspondant à pF 4,2) au maximum.

Pores fins (P_F): ces pores ont un diamètre équivalent inférieur à 0,2 μm et ne s'assèchent complètement qu'à l'étuve (105 °C pendant 24 heures); ils contiennent l'eau dite «morte», celle que le sol retient si fortement qu'elle n'est pas du tout utilisable par les plantes.

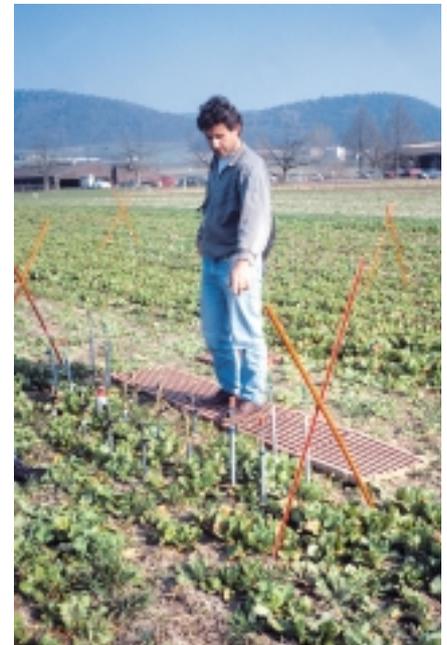


Fig. 2. Des instruments de mesure tels que tensiomètres, sondes TDR ou lysimètres à succion peuvent être mis en œuvre grâce à la collaboration précieuse entre Agroscope Reckenholz-Tänikon ART et la HESA de Zollikofen.

Durant le prélèvement des échantillons intacts et désagrégés, des mesures d'infiltration ont été faites en neuf répétitions au moyen d'infiltromètres cylindriques simples posés directement sur le sol (KABO Berne, 1996).

Du semis à la récolte du maïs et des betteraves, le potentiel matriciel a été mesuré trois fois par semaine (à quatre profondeurs différentes) à l'aide de tensiomètres. La teneur en eau du sol a aussi été déterminée (à sept profondeurs) par la technique TDR (time domain reflectometry; fig. 2).

Structure

En moyenne des parcelles et des années, les densités apparentes ne se sont pratiquement pas différenciées entre systèmes de culture, entre horizons du sol ou dans les volumes totaux des pores (tabl.1). Les valeurs sont comparables à celles obtenues par Weiskopf *et al.* (2006). Le système L présente des horizons plus hétérogènes que le système SD.

Dans le système L, l'horizon superficiel est retourné, ce qui élimine pratiquement le tassement que peuvent y produire les machines. Un tel effet n'existe pas dans le système SD: malgré un sol bien rassis et un nombre de passages restreint, la pression des passages à 10 cm de profondeur est un peu plus importante. A l'inverse, dans le labour traditionnel avec passage dans le sillon, tel que pratiqué jusqu'à fin 2002, les roues du tracteur compriment le sol d'un côté jusqu'à 10 cm seulement des couches profondes, ce qui explique la structure un peu moins bonne observée avec ce système.

La médiane des volumes de pores grossiers est généralement supérieure à 11% et donc nettement au-dessus de la valeur indicative

Tableau 1. Paramètres physiques du sol de la parcelle «Oberacker». Moyennes des six parcelles et différences statistiquement significatives. Echantillonnages: printemps 1999 à 2004 à un potentiel hydrique d'environ 60 hPa.

Paramètre et profondeur	Moyenne des médianes des six parcelles		Nombre de différences significatives ¹ en faveur de	
	L	SD	L	SD
Système de culture				
Volume des pores² [%] de 10 à 15 cm de profondeur				
Volume total des pores	47,1	45,2	3	–
Volume des pores grossiers (pF 0,0 à 1,8)	13,2	11,0	2	–
Volume des pores moyens-grossiers (pF 1,8 à 3,0)	7,2	7,5	1	2
Volume des pores moyens-fins (pF 3,0 à 4,2)	14,7	13,7	2	–
Volume des pores fins (pF 4,2 asséchés à l'étuve)	12,1	13,1	–	1
Volume des pores² [%] de 35 à 40 cm de profondeur				
Volume total des pores	42,1	43,4	–	1
Volume des pores grossiers (pF 0,0 à 1,8)	13,9	15,5	–	1
Volume des pores moyens-grossiers (pF 1,8 à 3,0)	6,0	6,3	–	1
Volume des pores moyens-fins (pF 3,0 à 4,2)	10,8	10,7	–	1
Volume des pores fins (pF 4,2 asséchés à l'étuve)	11,0	10,3	–	–
Densité apparente² [g/cm³]				
de 10 à 15 cm de profondeur	1,395	1,447	2	–
de 35 à 40 cm de profondeur	1,550	1,515	–	1
Stabilité de la percolation³ [g eau/10 minutes]				
de 10 à 15 cm de profondeur	1101,3	1265,2	1	4
de 35 à 40 cm de profondeur	519,2	429,5	7	3
Infiltration d'eau³ [mm/h]				
	9,5	29,2	–	5

¹Les analyses statistiques ont été faites par diagrammes en boîtes à moustaches et encoches (Polasek, 1994): une différence est considérée significative quand les encoches de deux échantillons ne se recoupent pas.

²Sur six comparaisons (un échantillonnage par parcelle).

³Sur douze comparaisons (deux échantillonnages par parcelle).

de 7% proposée par la Société suisse de pédologie (Buchter & Häusler, 2004). Ceci montre que la structure n'a pas subi de grands tassements pour l'ensemble de l'essai. Avec le système SD, la porosité grossière de l'horizon profond est particulièrement élevée (15%), soit environ un tiers de plus que l'horizon superficiel.

En ce qui concerne les pores moyens et fins, les systèmes SD et L n'ont presque pas produit de différences, dans aucun des horizons échantillonnés. Une tendance à la diminution des volumes de pores avec la profondeur a été observée dans les deux systèmes, le plus fortement pour les pores moyens-fins du système L.

Stabilité de percolation

En moyenne, après séchage à l'air, les agrégats de l'horizon supérieur ont laissé percoler davantage d'eau (+ 50%) que ceux de l'horizon plus profond; ils sont donc plus stables (tabl.1). La stabilité des agrégats de l'horizon superficiel en SD est supérieure de 16% à celle du L. Dans l'horizon plus profond, le rapport est à peu près le même, mais en faveur du labour.

La stabilité de percolation est étroitement liée à la teneur en matière organique (AUL, 2003). Avec le système L, les résidus végétaux sont mécaniquement enfouis jusqu'à

une profondeur de 25 cm, indépendamment de l'activité biologique du sol. Après décomposition et humification, la matière organique se trouve donc répartie sur tout

l'horizon travaillé. Avec le système SD, les résidus végétaux ne sont amenés en profondeur et mélangés à la terre fine que par la faune du sol; la matière organique se trouve



Fig. 3. Le même semoir de précision pour semis direct est utilisé dans les deux systèmes de culture - semis direct ou labour - afin d'obtenir un peuplement de densité comparable.

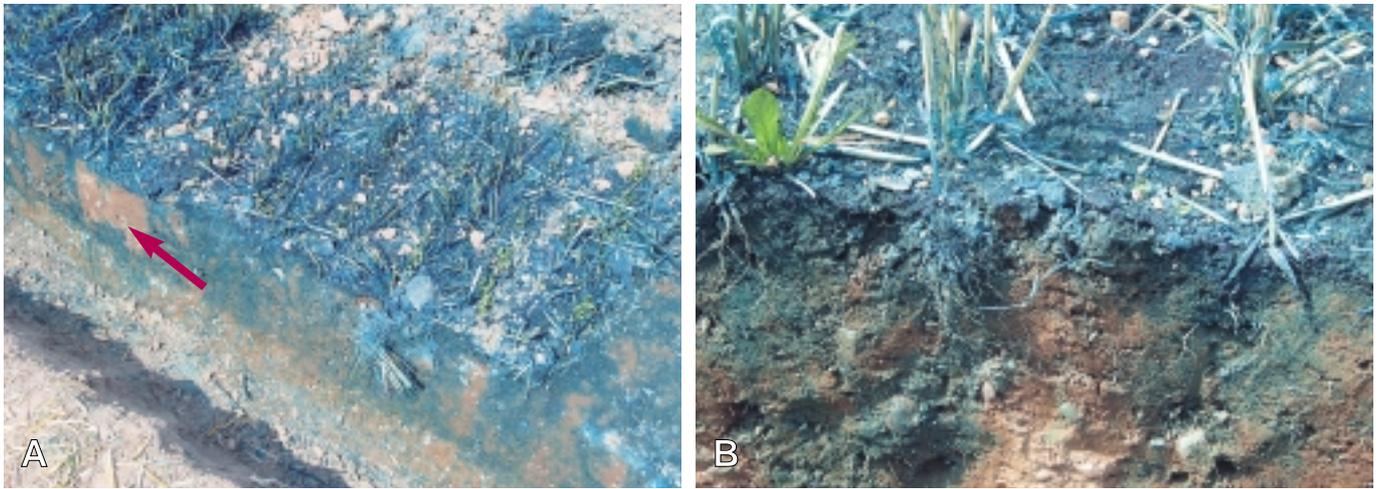


Fig. 4. A: L'eau colorée progresse de manière frontale dans la couche travaillée puis est stoppée par la semelle de labour. La zone compactée par le passage de la roue n'absorbe pas de liquide et reste non colorée (flèche). B: La coloration d'un profil cultural sous semis direct montre une infiltration préférentielle le long de l'appareil racinaire.

donc surtout en surface, là où l'activité biologique est la plus intense (Rauber, 2005). La bonne stabilité de percolation dans l'horizon superficiel des deux systèmes est un facteur positif contre la battance du sol, surtout lorsque celui-ci est protégé par des résidus végétaux (Siegrist, 1995).

Les agrégats de l'horizon superficiel ne provenaient pas que de la surface mais également d'une profondeur de 10 à 15 cm, ce qui laisse supposer que le sol du système SD est encore mieux protégé contre la battance que ne l'indiquent les mesures (fig. 3 et 4).

Infiltration de l'eau

En moyenne de toutes les parcelles, l'eau pénètre dans le sol cultivé en SD environ trois fois plus vite que dans le sol labouré

(tabl.1). Sur le sol non travaillé, il y a donc moins de pertes par ruissellement en surface lors de fortes pluies. En comparant les systèmes SD et L, aucune corrélation n'apparaît entre vitesse d'infiltration et volume des pores grossiers.

Le labour détruit régulièrement les galeries de vers de terre qui forment des pores très grossiers ($> 128 \mu\text{m}$) capables de conduire l'eau sur d'importantes distances. Dans un sol travaillé, on peut trouver plusieurs couches plus ou moins distinctes telles qu'une surface battue, une couche de lissage due au passage de la herse rotative, un «matelas de paille», un fond de sillon gâché et un horizon profond tassé. Les pores très grossiers n'ont alors plus de continuité et le transport de l'eau en profondeur est entravé. Chaque intervention de travail du sol réduit en outre nettement les populations

de vers de terre (Maurer-Troxler *et al.*, 2006). Ce sont surtout les vers des espèces les plus grosses telles que *Lumbricus terrestris* qui sont blessés ou tués. De ce fait, moins de nouvelles galeries drainantes sont creusées.

Avec le système SD, au contraire, on n'observe pas de couches nettement marquées. Grâce à leurs fortes populations de vers de terre, les sols cultivés en SD ont des galeries stables pendant des années, ce qui permet à l'eau de s'infiltrer facilement jusque dans les couches profondes. En outre, les résidus végétaux présents en surface et la stabilité de la percolation des agrégats superficiels protègent également le sol contre la battance. Même si elles ne sont plus habitées, les galeries de vers de terre sont rarement bouchées par de la terre fine, elles restent donc efficaces longtemps (fig. 5).



Fig. 5. A. Les pores du sol peuvent être mesurés avec précision si le prélèvement des cylindres se fait avec soin. B. Pour mesurer l'infiltration de l'eau, le sol est tout d'abord saturé durant une heure, puis on mesure la baisse du niveau de l'eau dans la colonne de l'infiltromètre durant une heure supplémentaire.

Fig. 6. Potentiel matriciel du sol sur la parcelle de suivi à long terme «Oberacker». *En haut*: précipitations (station météorologique Inforama Rütli); au milieu: potentiel matriciel des systèmes de culture L et SD; *en bas*: différence de potentiel matriciel entre ces systèmes. Mesures pendant la croissance du maïs (du 3 juin au 20 août, en moyenne des années 1998, 1999, 2000, 2003, 2004 et 2005).

Potentiel matriciel

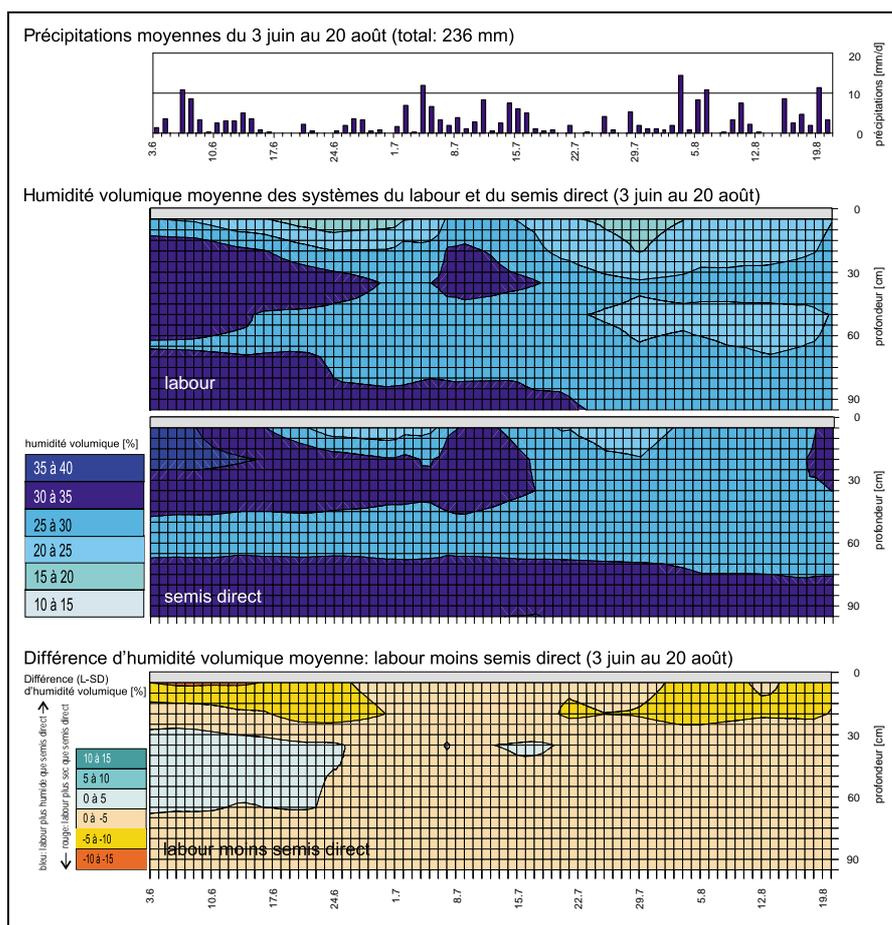
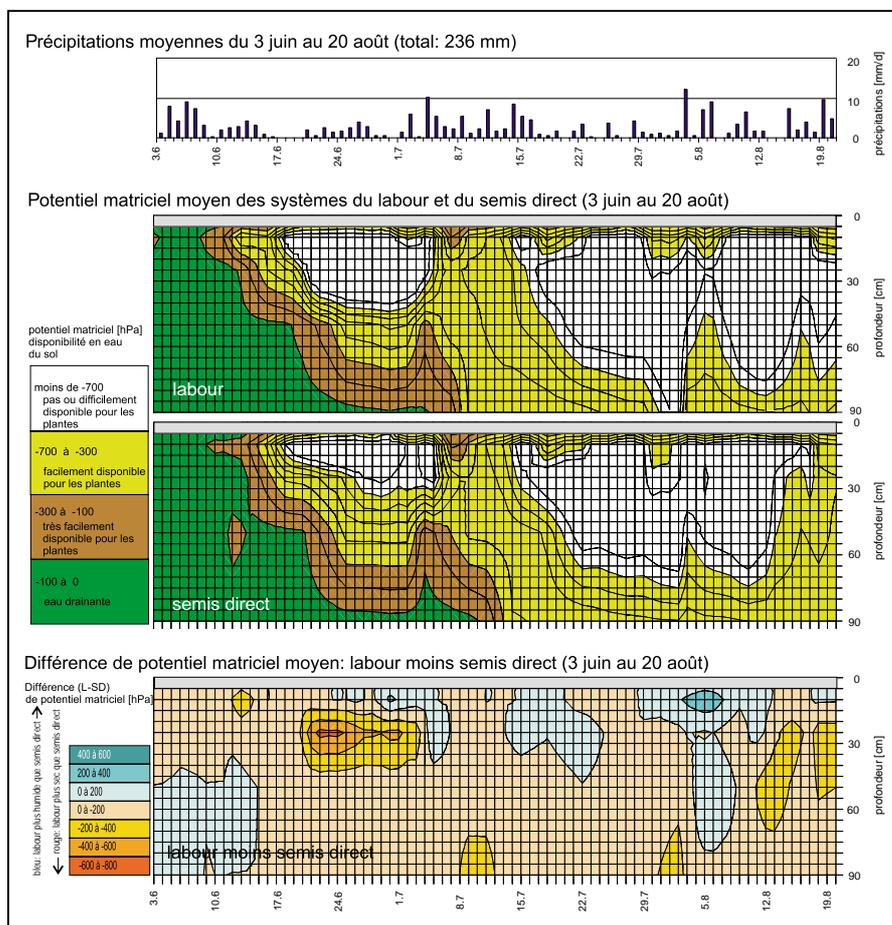
Quand un sol s'assèche, son potentiel matriciel diminue. Le potentiel matriciel permet indirectement d'apprécier la disponibilité en eau pour les plantes. Les instruments courants permettent de mesurer le potentiel jusqu'à environ -700 hPa, valeur à laquelle presque toute l'eau disponible pour les plantes a été soutirée. Dans les deux graphiques à aires comparés dans la figure 6, les moyennes de quatre répétitions ont été interpolées dans le temps entre trois mesures hebdomadaires et dans la profondeur entre les valeurs de 10, 25, 50 et 87 cm. Dans la durée, le potentiel matriciel se comporte selon les mêmes règles dans les deux systèmes de culture: le potentiel augmente après les précipitations (fig. 6, histogramme en haut) puis décroît durant les périodes sèches du milieu de l'été. Quand les plantes consomment beaucoup d'eau, c'est-à-dire quand leur croissance et leur transpiration sont maximales (en juillet pour le maïs d'ensilage), le potentiel matriciel est encore bas. Au milieu de l'été, les deux graphiques à aires (fig. 6 en haut) présentent de larges zones blanches correspondant à un stress hydrique. Ces zones blanches sont moins étendues dans le système SD, indiquant que les plantes souffrent moins du sec grâce à l'interception de la couche de litière. Après les pluies de la mi-août, le potentiel matriciel se rééquilibre en dessinant des pointes descendantes et ascendantes. Avec le SD, ce rééquilibrage est rapide et caractéristique d'un sol où les pores sont continus dans le sens vertical, ce qui favorise aussi bien l'infiltration que la remontée capillaire de l'eau.

La différence de potentiel entre les deux systèmes est représentée dans le troisième graphique à aires (fig. 6 en bas), qui montre donc la différence entre les valeurs interpolées des deux graphiques au-dessus. Les couleurs jaune et rouge qui dominent indiquent que le potentiel matriciel est en moyenne plus élevé dans le sol du système SD. Avec le système L, l'infiltration de l'eau est en partie freinée par une semelle de labour, ce qui se manifeste par les zones bleues à 25 cm de profondeur.

Teneur volumétrique en eau du sol

Dans les deux graphiques à aires comparés dans la fig. 7, les moyennes sur quatre répétitions et six ans de l'humidité du sol ont

Fig. 7. Humidité volumétrique du sol sur la parcelle de suivi à long terme «Oberacker». *En haut*: précipitations (station météorologique Inforama Rütli); au milieu: humidité volumétrique des systèmes de culture L et SD; *en bas*: différence d'humidité volumétrique entre ces systèmes. Mesures pendant la croissance du maïs (du 3 juin au 20 août, en moyenne des années 1998, 1999, 2000, 2003, 2004 et 2005).



été interpolées dans le temps entre trois mesures hebdomadaires et dans la profondeur entre les valeurs à 5, 20, 35, 50, 65, 80 et 95 cm. Durant l'été, alors que la transpiration du maïs est maximale, la teneur en eau du sol diminue continuellement. Les précipitations estivales (fig. 7 en haut) ne suffisent pas à compenser les pertes par transpiration qui accompagnent la production de matière sèche par les plantes. Les réserves en eau du sol sont donc progressivement utilisées, ce qui se traduit par une couleur de plus en plus claire des graphiques dès la mi-juillet.

Avec le système L, les résidus végétaux sont enfouis et la surface exposée du sol travaillé est nettement plus grande, ce qui entraîne une plus grande évaporation d'eau de l'horizon supérieur. Une grande différence de structure entre la couche très ameublie et le fond du sillon de labour se manifeste par une humidité plus élevée en profondeur, reconnaissable dans les graphiques à aires (fig. 7 en haut) par des zones plus sombres entre 25 et 45 cm de profondeur. Avec le temps, ces zones deviennent plus claires.

Avec le système SD, au contraire, la surface

non ameublie et les résidus végétaux qui s'y trouvent freinent l'évaporation; l'horizon superficiel est donc moins souvent sec et l'horizon plus profond garde aussi davantage d'humidité. Pendant toute la période de mesure, l'humidité des couches les plus profondes n'a presque pas diminué, ce qui montre bien que ce système permet de conserver une réserve en eau.

Le sol cultivé en SD garde plus d'humidité, comme le montrent les zones jaunes ou rouges du graphique différentiel (fig. 7 en bas) où sont comparées les humidités interpolées de chacun des systèmes SD et L. Avec le système L, on observe un assèchement plus rapide de l'horizon travaillé, qui peut perdre jusqu'à 10% de son volume. Les facteurs qui concourent à cela sont l'évaporation plus intense du sol nu et la moins bonne infiltration, entraînant des pertes par ruissellement, ainsi que par un «effet plaque de cuisson» (l'eau des précipitations qui ne s'infiltre pas rapidement peut ensuite s'évaporer directement). Tant que la surface du sol ne sèche pas complètement, l'activité biologique s'y poursuit, ce qui est favorable pour la matière organique.

Disponibilité en eau facilement utilisable

Les tableaux 2 et 3 indiquent dans quelle mesure l'eau du sol a pu être un facteur de croissance limitant pour les deux systèmes de culture. Pour la période de végétation du maïs et des betteraves, ces tableaux donnent le nombre de jours pendant lesquels les pores moyens-grossiers étaient plus ou moins remplis et le nombre de jours où l'évapotranspiration les avait vidés de leur réserve en eau facilement utilisable (voir formule de l'encadré 3). Dans l'horizon supérieur du sol labouré, il apparaît que la réserve en eau facilement utilisable est plus souvent épuisée que dans le sol cultivé en SD. La durée des périodes sans stress hydrique est donc plus longue avec le système SD, soit de 16 jours en moyenne pour le maïs d'ensilage (SD 106 - L 90 = 16) et de 11 jours pour les betteraves sucrières (SD 146 - L 135 = 11).

Au printemps, la teneur en eau de l'horizon supérieur est encore assez élevée pour approvisionner les plantules en suffisance, même si leurs racines ne sont encore que

Tableau 2. Pores moyens-grossiers (= réserve en eau facilement utilisable) et humidité volumique du sol de la parcelle «Oberacker» sous une culture de maïs. Précipitations et nombre de jours où les pores moyens-grossiers sont plus ou moins remplis ($A_{MG} > 0$) ou vides ($A_{MG} < 0$). Moyennes des périodes de mesures sur six années (voir explications de l'encadré 3).

Période de mesure	Été 1998		Été 1999		Été 2000		Été 2003		Été 2004		Été 2005		Σ des six périodes		Ø des six périodes	
	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD
Σ jours	122		106		134		114		133		119		728		121	
Σ précipitations [mm]	239		362		494		290		225		430		2040		340	
Ø précipitations [mm] par jour	2,0		3,4		3,7		2,5		1,7		3,6				2,8	
Système de culture	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD
Nombre de jours avec $A_{MG} > 0^1$	77	119	70	95	129	128	55	59	132	133	78	105	541	639	90	106
Nombre de jours avec $A_{MG} < 0^1$	45	3	36	11	5	6	59	55	1	0	41	14	187	89	31	15
Nombre de jours avec $A_{MG} > 0^2$	122	122	106	106	134	134	75	68	133	133	119	119	689	682	115	114
Nombre de jours avec $A_{MG} < 0^2$	0	0	0	0	0	0	39	46	0	0	0	0	39	46	6	7

¹Profondeur de 10 à 15 cm. ²Profondeur de 35 à 40 cm.

Tableau 3. Pores moyens-grossiers (= réserve en eau facilement utilisable) et humidité volumique du sol de la parcelle «Oberacker» sous une culture de betteraves sucrières. Précipitations et nombre de jours où les pores moyens-grossiers sont remplis ($A_{MG} > 0$) ou vides ($A_{MG} < 0$). Moyennes des périodes de mesures sur six années (voir explications de l'encadré 3).

Période de mesure	Été 2000		Été 2001		Été 2004		Été 2005		Σ des quatre périodes		Ø des quatre périodes	
	L	SD	L	SD	L	SD	L	SD	L	SD	L	SD
Σ jours	164		151		147		183		645		161	
Σ précipitations [mm]	539		609		250		683		2081		520	
Ø précipitations [mm] par jour	3,3		4,0		1,7		3,7				3,2	
Système de culture	L	SD	L	SD	L	SD	L	SD	L	SD	L	SD
Nombre de jours avec $A_{MP} > 0^1$	149	160	135	151	147	147	111	126	542	584	135	146
Nombre de jours avec $A_{MP} < 0^1$	15	4	16	0	0	0	72	57	103	61	26	15
Nombre de jours avec $A_{MP} > 0^2$	164	164	151	151	147	144	150	152	612	611	153	153
Nombre de jours avec $A_{MP} < 0^2$	0	0	0	0	0	3	33	31	33	34	8	8

¹Profondeur de 10 à 15 cm. ²Profondeur de 35 à 40 cm.



Fig. 8. Manque d'eau visible dans les parcelles labourées (moitié droite de chaque image) de betteraves sucrières (A) et pois protéagineux (B). Par rapport au semis direct, les cultures à battre atteignent plus tôt une maturité forcée.

3. Assèchement des pores moyens-grossiers

La teneur en eau du sol (c'est-à-dire son humidité volumique H) et le volume des pores par classe (voir encadré 2) permettent de calculer approximativement le taux d'assèchement des pores moyens-grossiers (A_{MG}). Ce taux d'assèchement (en % du volume) a été calculé pour chaque parcelle selon la formule:

$A_{MG} = H - (P_{MF} + P_F)$; si $A_{MG} > 0$, les P_{MG} sont en partie ou entièrement remplis d'eau; si $A_{MG} < 0$, les P_{MG} sont totalement secs et la réserve en eau facilement utilisable est épuisée.

peu développées après la germination. L'horizon profond est en général assez humide pour les plantes; celles-ci ne souffrent donc du sec que si leurs racines ne sont pas descendues assez vite en profondeur quand la couche supérieure s'assèche. Les étés 2003 (pour le maïs) et 2005 (pour les betteraves) ont été exceptionnels car le sol s'est

asséché jusqu'en profondeur pour les deux systèmes de culture (fig. 8).

Pendant les périodes estivales de forte croissance, les cultures ayant un système racinaire assez développé peuvent couvrir leur besoin en eau en la cherchant dans les réserves profondes du sol. Des irrégularités dans le profil du sol peuvent toutefois en-



Fig. 9. Test à la bêche (à gauche: semis direct; à droite: labour). Les racines de betteraves sucrières croissent sans problème dans le sol à structure grumeleuse du semis direct. Par contre, le labour répété année après année peut entraîner un grave tassement et une semelle de labour, ce qui donne des betteraves fourchues (photo A. Candinas, OFAG, Berne).

traver l'accès à l'eau. Dans le sol de la parcelle «Oberacker», la disposition naturelle des horizons peut jouer un rôle, surtout si elle s'accompagne de brusques changements de texture. Dans le système L, la croissance des racines peut être entravée par l'effet de ce système sur le profil du sol (effet apparent sur la fig. 7 sous forme d'une zone horizontale plus foncée entre 25 et 45 cm de profondeur ainsi que sur la fig. 9). En cas de sécheresse estivale, un problème de croissance sous la surface du sol peut se répercuter aussi au-dessus. C'est ce qui pourrait expliquer que les céréales d'automne ont un moins bon rendement avec le système L qu'en SD (Chervet *et al.*, 2005).

Les plantes transpirent presque toute l'eau qu'elles absorbent et la transpiration refroidit un peu le feuillage. Pendant l'été 2003, l'Institut de botanique de l'Université de Berne a effectué des mesures de température foliaire qui ont donné des valeurs légèrement plus basses pour les feuilles du maïs du système SD. Des feuilles moins chaudes peuvent indiquer un stress hydrique moindre et une meilleure vitalité de la culture, même si un rapport direct n'a pas encore pu être établi entre ces mesures et le contenu en eau du sol.

Conclusions

Avec le système SD, on renonce à tout travail d'ameublissement du sol. Cela favorise un profil du sol plus continu, donc avec des horizons moins marqués que dans un sol labouré. Des couches avec accumulation de paille, avec gâchage ou tassement au niveau de la semelle de labour ou une couche battue en surface sont des conséquences du travail primaire ou secondaire du sol. On ne les rencontre donc pas avec le SD. De fortes populations de vers de terre s'y développent, avec des espèces fouisseuses qui creusent des galeries jusqu'en profondeur. Ces différences ont des conséquences pour le régime de l'eau dans le sol:

- ❑ Les agrégats de la surface non travaillée mais recouverte de résidus végétaux sont bien protégés de la battance avec le système SD.
- ❑ Les galeries de vers de terre du système SD gardent en grande partie leur forme et leur fonction lors du passage de machines. L'eau de pluie peut donc s'infiltrer plus facilement en profondeur, où elle n'est plus soumise à l'évaporation directe.
- ❑ Lors de sécheresse, l'humidité du sous-sol peut bien remonter par capillarité avec le système SD, tandis que les limites brusques entre horizons du système L peuvent entraver ce processus, même si la structure a des propriétés comparables horizon par horizon avec le système SD.
- ❑ La surface non travaillée et le mulch du système SD réduisent l'évaporation par rapport au système L.
- ❑ Le sol plus humide du système SD permet une activité biologique prolongée, mais cela peut aussi être vrai pour les limaces.
- ❑ En cas de sécheresse, les cultures du système SD ne doivent pas plonger leurs racines aussi profondément pour s'approvisionner en eau.
- ❑ Le sol plus longtemps humide du système SD favorise l'absorption des nutriments solubles par les plantes.

Bibliographie

- Autorenkollektiv AUL, 2003. Bodenbericht 2003. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, 27-30.
- Buchter B. & Häusler S., 2004. Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. Teil 2: Vorschläge für Richt- und Prüfwerte zur Definition von Bodenschadverdichtungen. BGS Dokument 13, Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale Zollikofen, 17-35.
- Chervet A., Maurer C., Sturny W. G. & Müller M., 2001. Semis direct en grandes cultures: Effets sur la structure du sol. *Revue suisse Agric.* **33** (1), 15-19.

Zusammenfassung

Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug

Auf der Dauerbeobachtungsfläche «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) werden seit 1994 die beiden Anbausysteme «Direktsaat» (DS) und «Pflug» (PF) auf einer tiefgründigen, mittelschweren, grundfeuchten Braunerde miteinander verglichen. Die im Rahmen der kantonalen Bodenbeobachtung (KABO) zwischen 1999 und 2004 durchgeführten bodenphysikalischen Untersuchungen liefern Angaben zum Gefügebau, zum Verschlammungsverhalten und zum Wasserinfiltrationsvermögen des Bodens. Zusätzlich wurde der Einfluss der beiden Anbausysteme auf das Matrixpotential und den volumetrischen Wassergehalt beziehungsweise auf das Abtrocknungsverhalten des Bodens während der Vegetationsperiode erfasst. Es wurde festgestellt, dass der Wasserhaushalt vor allem im ungelockerten, meist mit Pflanzenresten bedeckten Oberboden des Systems DS kleineren Schwankungen unterworfen ist als beim System PF. Eine kleinere Evapotranspirationsrate im System DS führt zu geringerem Bodenwasserverlust, was mit einer höheren Trockensubstanzproduktion der Pflanzenbestände in Verbindung gebracht werden kann.

Summary

Soil water under no-tillage and ploughing

In the long-term field trial «Oberacker» at the Inforama Ruetti in Zollikofen (Switzerland), no-tillage and conventional plough tillage have been compared on a light to medium textured cambisol since 1994. The soil physical analyses carried out within the cantonal soil monitoring programme (KABO) between 1999 and 2004 provide information on structure, stability and water infiltration capacity of the soil. Additional analyses have elucidated the impact of both cropping systems on soil matrix potential and volumetric water content, and thus on the drying-out behaviour of the soil during the vegetation period. The soil water content was found to be less subject to fluctuations in the no-tillage system, particularly in the unloosened no-tilled topsoil, which is generally covered by plant residues. A smaller rate of evapotranspiration reduces soil water loss in the no-tillage system, which can be related to a higher production of dry plant matter by the crops.

Key words: cropping system, no-tillage, soil water, matrix potential, evapotranspiration, porosity.

- Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. & Tschannen S., 2005. Comparaison du semis direct et du labour pendant 10 ans. *Revue suisse Agric.* **37** (6), 249-256.
- Confédération suisse, 1983. Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE). Recueil systématique du droit fédéral, *RS N° 814.01*.
- KABO Berne, 1996. Methoden-Sammlung – Landwirtschaftliche Dauerbeobachtungsstandorte. Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern, Zollikofen.
- Maurer-Troxler C., Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. & Oberholzer H.-R., 2006. Biologie du sol après 10 ans de semis direct ou de labour. *Revue suisse Agric.* **38** (2), 89-94.

- Polasek W., 1994. EDA - Explorative Datenanalyse. Einführung in die deskriptive Statistik. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg.
- Rauber P., 2005. Auswirkungen zweier Bodennutzungssysteme auf die Humus- und Nährstoffdynamik des Bodens. Diplomarbeit am Departement D-BAUG, ETH Zürich.
- Siegrist S., 1995. Experimentelle Untersuchungen über die Verminderung der Bodenerosion durch biologischen Landbau in einem NW-schweizerischen Lössgebiet. *Die Erde*. **126**, 93-106.
- Weisskopf P., Zihlmann U., Chervet A., Sturny W. G. & Müller M., 2006. Evolution de la structure du sol avec le semis direct et le labour. *Revue suisse Agric.* **38** (1), 41-46.