



Teneurs en humus après onze ans de semis direct ou de labour

M. MÜLLER et R. SCHAFFLÜTZEL, Haute école suisse d'agronomie HESA, 3052 Zollikofen
A. CHERVET et W. G. STURNY, Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne OAN, Rütli, 3052 Zollikofen
U. ZIHLMANN et P. WEISSKOPF, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

@ E-mail: moritz.mueller@shl.bfh.ch
Tél. (+41) 31 91 02 124.

Résumé

Dans le cadre de l'essai comparatif de culture avec labour ou en semis direct de l'Inforama Rütli à Zollikofen (BE), les teneurs en humus du sol mi-lourd faiblement humique ont été comparées en 2005 après onze ans. Ces teneurs, de même que la densité apparente¹ du sol, ont été mesurées par couches jusqu'à 40 cm de profondeur. A cause des différences de densité, la teneur en humus a été rapportée à la masse minérale du sol plutôt qu'à son volume. Après onze ans, les quantités totales d'humus ne sont pas significativement différentes entre le semis direct et le labour. Toutefois, la répartition de l'humus dans le profil varie fortement entre les deux systèmes de culture. En semis direct, des teneurs nettement plus élevées sont généralement mesurées dans les dix premiers centimètres, tandis que dans les couches plus profondes (entre 20 et 40 cm), les plus fortes teneurs se trouvent presque toujours dans les parcelles labourées. Le système du semis direct constitue une protection efficace contre l'érosion, car il favorise la stabilité structurale du sol et améliore l'infiltration de l'eau. Quand la couche de surface est entraînée, de grandes quantités d'humus sont perdues. Dans les régions à fort risque d'érosion (environ 17% des terres ouvertes en Suisse), le passage au semis direct devrait donc permettre d'augmenter les teneurs en matière organique dans le sol. Le semis direct peut en outre contribuer à améliorer le bilan du CO₂ atmosphérique car il entraîne des économies de carburant et, à plus long terme, permet une réduction de la fumure azotée, très consommatrice d'énergie.

¹La **densité apparente** est le rapport de la masse volumique sèche de l'échantillon et son volume à l'état humide.

Introduction

En agronomie, une teneur suffisante des sols en humus est depuis toujours une préoccupation. L'humus permet non seulement de retenir de l'eau et des nutriments, il lie aussi les particules minérales du sol en formant des complexes argilo-humiques (lire encadré ci-dessous). Les couches supérieures du

Définition de l'humus

L'humus stable est la matière organique du sol qui n'est que difficilement décomposable (minéralisable). Il se forme à partir de résidus végétaux ou animaux et donne une couleur foncée au sol.



Fig. 1. Vue aérienne du 29 juin 2004 du site de suivi à long terme «Oberacker» à l'Inforama Rütli, Zollikofen (photo: Gabriela Brändle, Agroscope ART).

Comparaison de systèmes «Oberacker»

En grandes cultures, des systèmes de travail du sol moins intensifs, voire sans labour, doivent être pratiqués de façon à assurer la fertilité du sol à long terme et à améliorer le rendement économique. A l'Inforama Rütli de Zollikofen, un essai a été mis en place en août 1994 pour comparer les avantages et inconvénients des systèmes de culture basés sur le semis direct ou sur le labour (fig.1) et résoudre les problèmes qui en découlent. Cet essai en bandes sans répétitions est installé sur un sol brun profond, avec 15% d'argile, 3% d'humus dans la couche arable et présence d'humidité en sous-sol. Six soles de 14 ares se trouvent côte à côte et sont utilisées chacune pour une moitié en semis direct (SD) et pour l'autre moitié préparées par labour (LA). La rotation des cultures, qui convient à une exploitation sans bétail, est la suivante: blé d'automne/EV (= engrais vert avec proportion élevée de crucifères) - pois protéagineux de printemps/EV - seigle d'automne/EV - maïs d'ensilage - orge d'automne/EV - betterave sucrière. Chacune de ces cultures est conduite selon la norme «extenso».

L'essai de démonstration est conduit par le Service de protection des sols (SPS) du canton de Berne et par l'Inforama Rütli. Certains aspects sont étudiés par la Haute école suisse d'agronomie (HESA) de Zollikofen et par la Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

sation («séquestration») de carbone (C); il joue donc un rôle d'actualité dans les débats sur les gaz à effet de serre. Aux Etats-Unis, les cultures en semis direct sont ainsi subventionnées pour leur contribution contre l'augmentation du CO₂ atmosphérique (Lehmann, 2007).

Matériel et méthodes

Echantillonnages et analyses

Un rectangle d'échantillonnage de 7 m × 14 m a été mesuré sur chaque parcelle puis divisé en dix petits rectangles de 2,8 m × 3,5 m. Un échantillon cylindrique (40 cm de profondeur, environ 3 cm de diamètre) a été prélevé par carottage sur chacune de ces dix surfaces. Les dix carottes ont été découpées puis réunies en échantillons composites par couche de sol. Toute l'opération a été effectuée quatre fois par parcelle, résultant en quatre échantillons composites par couche de sol. La découpe a été faite aux profondeurs suivantes: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-30 cm et 30-40 cm sous semis direct, 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm et 30-40 cm sous labour.

Pour éviter tout biais sur les teneurs en humus, les racines et débris végétaux ont été soigneusement enlevés. Dans la variante labourée, les échantillons ont en outre été récoltés aussi longtemps que possible après le dernier travail du sol (tabl.1).

Pour déterminer la densité apparente, des échantillons cylindriques intacts ont été prélevés aux profondeurs suivantes: 4-9 cm, 14-19 cm, 24-29 cm, 34-39 cm. Toutes les analyses ont été effectuées conformément aux méthodes de référence des stations fé-

sol sont ainsi stabilisées, moins sujettes aux tassements et à l'érosion, mieux aérées et permettent une meilleure infiltration de l'eau.

Les teneurs en humus ont été comparées au printemps et en été 2005 sur la parcelle de suivi à long terme «Oberacker» de l'Inforama Rütli à Zollikofen, après onze ans de culture soit avec labour, soit en semis direct (encadré «Oberacker»; fig.1). La dynamique de l'humus dans un sol de semis direct est sujette à controverse. De nombreuses

publications, surtout américaines (du Nord et du Sud), font état d'un net enrichissement du sol en humus (Reicosky et Saxton, 2007). Des études suisses ont certes montré une nette augmentation des teneurs en humus dans les 10 à 20 cm supérieurs après plusieurs années de semis direct mais que, dans les sols labourés, l'humus se trouve en quantités plus importantes dans les couches plus profondes (Anken *et al.*, 2004; Hermle et Anken, 2007).

L'humus du sol constitue une immobili-

Tableau 1. Dates d'échantillonnage et historique cultural des parcelles I à VI (parcelle de suivi à long terme Oberacker, Rütli-Zollikofen).

Parcelle	I	II	III	IV	V	VI
Date d'échantillonnage	21-22.03.05	28.07.05	21-22.03.05	LA: 01.07.05, SD: 08.07.05	21-22.05.05	28.07.05
Précédent	Blé d'automne, engrais vert	Pois de printemps, engrais vert	Seigle d'automne, engrais vert	Maïs d'ensilage	Orge d'automne, engrais vert	Betterave sucrière
Culture à l'échantillonnage	Pois protéagineux de printemps ¹	Seigle d'automne ²	Maïs d'ensilage ¹	Orge d'automne ²	Betterave sucrière ¹	Blé d'automne ²
LA: date du dernier labour	14.10.03	20.09.04	15.09.03	20.09.04	25.08.03	16.10.04
SD: date du dernier labour	Automne 93	Automne 93	Automne 93	Automne 93	Automne 93	Automne 93
SD: dernière plantation de pommes de terre	1999	1998	1997	1996	Aucune	Aucune
Dernière fumure organique	12.08.98 25 t/ha fumier	16.03.99 37 m ³ /ha purin	24.11.98 30 t/ha fumier	16.03.99 37 m ³ /ha purin	24.11.98 30 t/ha fumier	16.03.99 37 m ³ /ha purin
Paille	Dans les deux systèmes, depuis 2000, la paille est hachée et répartie sur toute la surface					
Dernière fumure N	21.05.04	25.04.03	23.04.02	17.03.05	16.04.04	17.03.05

LA: système avec labour. SD: système avec semis direct.

¹Echantillonnage avant le semis. ²Echantillonnage après la récolte.

La matière minérale comme mesure de référence

Les concentrations en humus et les densités ayant été mesurées jusqu'à 40 cm de profondeur, les teneurs en humus par unité de volume peuvent être calculées par couche et sur le total du profil. Mais ces valeurs ne peuvent pas être comparées entre elles parce qu'elles dépendent de la densité, qui n'est pas la même dans les systèmes de culture comparés. En effet, plus le sol est dense, plus la masse est grande pour un volume donné, donc aussi pour une épaisseur d'échantillonnage donnée. C'est pourquoi la matière minérale a été choisie comme grandeur de référence indépendante de la densité. Le contenu en humus n'a donc pas été exprimé pour un certain volume, mais pour une masse définie de matière minérale – ici: 500 kg/m² de sol. Il a donc, dans chaque cas, été déterminé d'après les densités à quelle profondeur cette masse minérale était atteinte, puis les quantités d'humus ont été additionnées couche par couche jusqu'à cette profondeur (indiquée sur la fig. 2).

Résultats et discussion

Quantités totales d'humus pratiquement identiques

Dans les couches supérieures du sol (0-20 cm), les teneurs en humus varient entre 2,1 et 3,3% (jusqu'à 4,3% pour la parcelle VI SD). De 20 à 30 cm de profondeur, elles atteignent entre 1,7 et 3,0%, et de 30 à 40 cm entre 0,8 et 2,1% (tabl. 2). Dans chaque couche, les

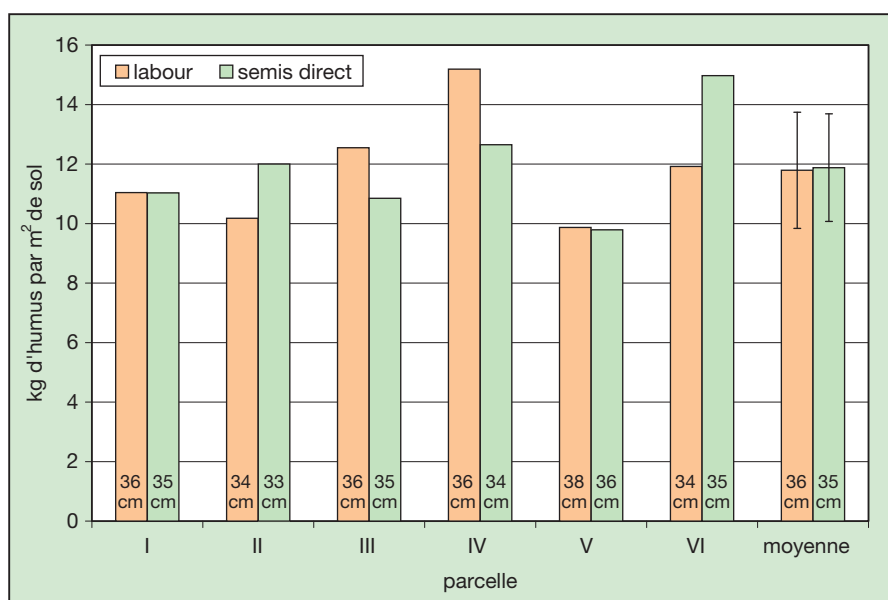


Fig. 2. Parcelle de suivi à long terme Oberacker, 2005. Comparaison des teneurs en humus après onze ans d'essai avec labour ou semis direct. Données pour les premiers 500 kg de matière minérale par m² de sol. Indications chiffrées: profondeur [cm] correspondant à ces 500 kg de matière minérale par m² de sol.

teneurs obtenues varient donc fortement. Les différences les plus marquées doivent être attribuées à des interventions ayant précédé la mise en place de l'expérience (par exemple l'épandage de matière organique).

Pour comparer les quantités d'humus effectivement présentes dans chaque couche échantillonnée, les teneurs ont été exprimées en g/l (fig. 3). Dans les parcelles labourées, les teneurs en humus dans les trois couches supérieures (0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm) ne se différencient que peu, tandis qu'entre 30 et 40 cm, elles sont nettement inférieures.

En semis direct, comme on le supposait,

l'humus est nettement plus concentré dans les 5 cm supérieurs. Au-dessous, les teneurs diminuent progressivement jusqu'à 30 cm. Ensuite, entre 30 et 40 cm, elles diminuent fortement, comme dans les parcelles labourées.

Jusqu'à 10 cm de profondeur, le sol de semis direct contient presque toujours plus d'humus que celui sous labour. Entre 10 et 20 cm, en moyenne des parcelles de chaque système, les résultats sont semblables. En deçà (20-30 cm et 30-40 cm), ce sont les parcelles labourées qui contiennent plus d'humus.

Les quantités totales d'humus sont pratiquement identiques dans les deux systèmes de culture, en moyenne des parcelles respectives (fig. 2). Après onze ans d'essai sur l'Oberacker, le semis direct et le labour ne se distinguent donc pas significativement sur ce point. Ce résultat contredit de nombreuses études, qui font état d'une nette augmentation de la quantité totale d'humus après l'introduction du semis direct au lieu du labour. Au début de la comparaison des deux systèmes de culture, les sceptiques craignaient même l'accumulation de litières non décomposées, qui auraient gêné le semis direct puis la levée des cultures. Ces craintes ne se sont pas justifiées: en général, même de grandes quantités de résidus de récolte ou de fumier ont disparu de la surface du sol avant la récolte suivante. Les nombreux gros vers de terre ont entraîné ces résidus dans leurs galeries, où ils ont été mangés ou décomposés (Maurer-Troxler *et al.*, 2006). La faune du sol – en tout premier lieu les

Tableau 2. Teneurs en humus de la terre fine (en % de la masse). LA: système avec labour, SD: système avec semis direct (parcelle de suivi à long terme Oberacker, 2005).

Parcelle	I		II		III		IV		V		VI	
	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD	LA	SD
Profondeur												
0-5 cm		2,8		3,2		3,0		3,3		2,7		4,3
	2,3		2,2		2,6		3,3		2,3		2,6	
5-10 cm		2,6		2,6		2,7		2,9		2,5		3,6
10-15 cm		2,4		2,6		2,5		2,7		2,2		3,1
	2,4		2,1		2,5		3,1		2,2		2,7	
15-20 cm		2,3		2,5		2,3		2,4		2,0		3,1
20-30 cm	2,3	2,0	2,0	2,0	2,7	1,7	3,0	2,2	2,0	1,7	2,4	2,5
30-40 cm	1,4	1,1	1,3	1,2	1,6	1,3	2,1	1,3	1,1	0,8	1,1	1,5

¹La densité apparente est le rapport de la masse volumique sèche de l'échantillon et son volume à l'état humide.

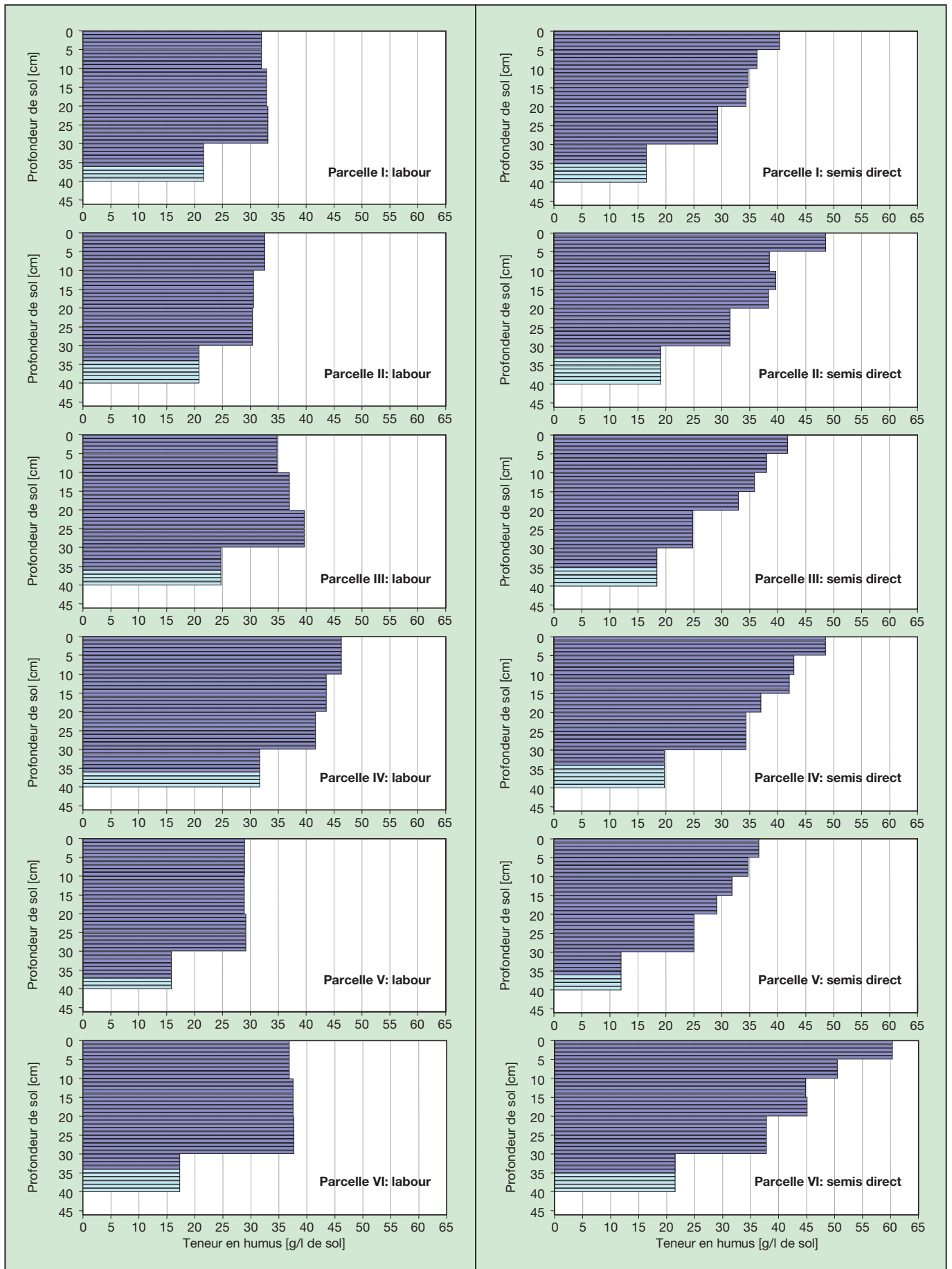


Fig. 3. Parcelle de suivi à long terme Oberacker, 2005. Comparaison des teneurs en humus des parcelles I à VI après onze ans d'essai avec labour ou semis direct. Données en g/l de sol en place. La surface marquée en plus foncé correspond à 500 kg de matière minérale par m² de sol.

vers de terre – remplace donc pleinement le travail d'incorporation habituellement dévolu à la charrue. Cette observation a aussi été faite dans la pratique, sur des exploitations appliquant le semis direct depuis plusieurs années.

Répartition différente dans le profil

Contrairement aux quantités totales, la répartition de l'humus dans le profil montre de grandes différences entre les deux systèmes:

- Sous semis direct, les concentrations d'humus sont maximales dans les premiers 5 à 10 cm. C'est dans cette couche que les résidus végétaux sont principalement incorporés par les nombreux vers de terre. Ils sont alors transformés en humus stable qui se lie à la matière minérale du sol pour former des complexes argilo-humiques. Les galeries de vers de terre sont ainsi stabilisées et se maintiennent sur plusieurs années, favorisant l'infiltration de l'eau et l'aération du sol.
- Sous l'action du labour, les résidus végétaux sont amenés au fond du sillon. Dans nos conditions climatiques, le labour doit parfois être réalisé dans des conditions trop humides, ce qui entraîne la formation d'un tassement (la semelle de labour) qui entrave la percolation de l'eau. Dans cette couche et dans celles sous-jacentes, l'aération est souvent insuffisante et la minéralisation des résidus organiques est de ce fait entravée. Ce phénomène est en partie à l'origine des teneurs élevées en matière organique mesurées à cette profondeur dans les parcelles labourées.

Les conditions régnant pour l'humification sont ainsi différentes entre les deux systèmes de culture. La qualité de l'humus formé varie donc certainement aussi, mais les méthodes utilisées ici ne permettent pas une appréciation directe de ce paramètre.

Comparaison avec de précédentes études

Contrairement aux résultats présentés ici, de nombreuses autres études ont fait état de teneurs en humus plus élevées sous semis direct qu'avec labour.

Ce manque de concordance peut s'expliquer par trois facteurs au moins:

- Les grandes zones de cultures des Etats-Unis et du Canada travaillées intensivement étaient fortement affectées par l'érosion (notamment éolienne), contrairement à notre parcelle de l'Oberacker. L'érosion de la surface du sol correspond à de fortes pertes d'humus. L'introduction du semis direct permet de stabiliser la structure du sol et de faciliter l'infiltration de l'eau. Le sol est dès lors bien protégé contre l'érosion et peut progressivement reconstituer son capital d'humus.
- Dans beaucoup de cas, la comparaison des systèmes de culture s'est probablement faite sur une profondeur de 20 cm seulement. Nos résultats montrent aussi des teneurs en humus significativement plus élevées dans les couches supérieures. Cette différence est toutefois compensée quand on prend aussi en compte la couche entre 20 et 40 cm, où c'est le système basé sur le labour qui présente des teneurs supérieures. Les résultats présentés par Anken *et al.* (2004) vont dans le même sens.
- Sur le Plateau suisse, le labour doit parfois se faire alors que le sol est trop humide. Sous des climats plus secs, le danger de formation d'une semelle de labour est bien moindre, donc aussi l'accumulation de matière organique au niveau d'un tel tassement.

Semis direct et réduction des émissions de CO₂

Particulièrement aux Etats-Unis, le semis direct est vu comme un moyen d'utiliser les terres agricoles comme puits de carbone. Fixer du carbone sous la forme d'humus n'est donc pas seulement un souci agronomique mais aussi une contribution politiquement appréciable à améliorer le bilan global du CO₂. Cette contribution ne doit toutefois pas être surestimée, car les sols minéraux ne peuvent accumuler que des quantités limitées de carbone. En effet, les teneurs en humus n'augmentent que jusqu'à un nouvel équilibre entre humification et minéralisation; quand ce nouvel équilibre est atteint, l'accumulation cesse et le système re-

devient de ce point de vue neutre dans le bilan du CO₂. On estime qu'il faut entre quinze et cinquante ans pour arriver à ce nouvel état d'équilibre (Reicosky et Saxton, 2007).

Contrairement aux observations faites aux Etats-Unis, les onze ans de l'essai de l'Oberacker n'ont pas montré d'accumulation d'humus dans le système du semis direct comparé à celui du labour. Dans les conditions climatiques du Plateau suisse, et tant qu'il n'y a pas de risques d'érosion, on ne peut donc pas s'attendre à une augmentation considérable des quantités totales d'humus dans le sol suite à un changement de système du labour vers le semis direct (sans modification de l'assolement).

La situation est toutefois différente dans les zones sensibles à l'érosion. Là, une structure plus stable en surface et une meilleure infiltration de l'eau contribuent efficacement à protéger un sol de semis direct contre l'érosion. En Suisse, on estime que 17% des terres ouvertes sont très sensibles à l'érosion, pouvant être soumises à des pertes d'au moins quatre tonnes par hectare et par an (Prasuhn *et al.*, 2007). Sur ces surfaces, le passage au semis direct devrait permettre une nette augmentation des teneurs en humus.

Le système du semis direct peut contribuer à améliorer le bilan global du CO₂ d'une autre manière: en évitant de nombreuses interventions culturales par rapport au système basé sur le labour, ce qui représente une économie, selon les cultures, de 35 à 40 litres de carburant diesel par hectare (Schaller *et al.*, 2007). En considérant que la combustion d'un litre dégage 2,65 kg de CO₂, le semis direct permet de réduire l'émission de CO₂ de 100 kg par ha et par an. Un potentiel de réduction encore plus important concerne les engrais azotés, dont la production est particulièrement gourmande en énergie: une utilisation plus efficace de l'azote et les cultures de légumineuses – aussi en dérobées – permettent d'économiser de grandes quantités d'hydrocarbures.

L'essai de l'Oberacker doit d'ailleurs à l'avenir être poursuivi dans ce sens. L'intérêt porté à l'efficacité de l'azote est donc couplé à celui de l'évolution future des teneurs en humus: l'accumulation dans les couches supérieures va-t-elle se poursuivre, puis quand et à quel niveau se stabilisera-t-elle? Un examen qualitatif de l'humus est en outre prévu pour savoir si les différentes formes d'humus présentent des différences entre les deux systèmes de culture et estimer si cela affecte la fertilité du sol (rétention de l'eau et des nutriments, stabilité chimique et physique).

Conclusions

- ❑ Après onze ans d'essai à l'Oberacker, le système du semis direct n'a pas entraîné d'accumulation d'humus par rapport au système du labour – contrairement aux observations faites aux Etats-Unis et au Canada.
- ❑ La répartition de l'humus dans le profil se distingue toutefois fortement: en semis direct, les teneurs sont nettement plus élevées dans les couches supérieures du sol (0-10 cm). Dans les parcelles labourées, les teneurs les plus fortes se retrouvent dans les couches plus profondes (20-40 cm).
- ❑ Les craintes d'une accumulation de litières non décomposées sous semis direct ne se sont pas réalisées. La faune du sol – en tout premier lieu les vers de terre – remplace pleinement le travail d'incorporation de la charrue.
- ❑ La teneur élevée en matière organique favorise la stabilité structurale des couches superficielles et améliore l'infiltration de l'eau. Ainsi, le système du semis direct constitue une protection efficace contre l'érosion. Dans les régions à fort risque d'érosion, le passage au semis direct permet donc d'augmenter les teneurs en humus dans le sol.
- ❑ Le semis direct peut contribuer à améliorer le bilan du CO₂ atmosphérique de manière durable, car il entraîne d'importantes économies de carburant.

Bibliographie

- Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 2006. Méthodes de référence des stations fédérales de recherches agronomiques, vol. 1.
- Anken T., Weisskopf P., Zihlmann U., Forrer H., Jansa J. & Perhacova K., 2004. Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil & Till. Res.* **78**, 171-183.
- Hermle S. & Anken T., 2007. Sols agricoles suisses – bons pour la baisse du CO₂? *Technique Agricole*, mars 2007.
- Lehmann J., 2007. A handful of carbon. *Nature* **447**, 10 mai 2007, 143-144.
- 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.

Summary

Soil organic matter content after eleven years of no-till and plough

The organic matter content of the soil was analyzed on a medium textured slightly humic soil at the Inforama Rütli in Zollikofen (Switzerland) which had been cropped either with no-till or plough over eleven years. In several soil layers down to 40 cm, the organic matter content as well as bulk density were analyzed. Due to differences in the soil density, the organic matter content was expressed as a proportion of the mineral soil material content rather than soil volume.

After eleven experimental years no significant difference in the organic matter content of the two soils was found. However, there were considerable differences in the depth profile of the organic matter content of the two treatments. With no-till considerably higher contents were usually found in the top 10 cm layer compared to the plough treatment. This was compensated by mostly higher contents in lower layers (20 to 40 cm) of the plough tilled soil.

Due to the more stable soil structure and the better water infiltration the no-till system can be considered as an effective erosion prevention measure. As considerable quantities of organic matter are lost through run-off of the top soil layer a change to the no-till system in regions with high erosion risk (17% of the tilled area in Switzerland) could lead to an increase of the organic matter content in the top soil layer.

Furthermore, the no-till system could also contribute to a reduction of CO₂ emissions thanks to savings in fuel and mineral N-fertilizers.

Key words: system comparison, no-till, plough till, organic matter content, carbon dioxide emissions.

Zusammenfassung

Humusgehalte nach elf Jahren Direktsaat und Pflug

Auf einem mittelschweren, schwach humosen Boden am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) wurden 2005 die Humusgehalte nach elf Jahren Direktsaat und Pflügenbau gemessen. Dazu wurden bis in 40 cm Tiefe schichtweise Proben genommen und neben den Humusgehalten auch die Lagerungsdichten bestimmt. Aufgrund der unterschiedlichen Lagerungsdichten wurden die Humusgehalte nicht auf ein bestimmtes Bodenvolumen, sondern auf die Masse mineralisches Material bezogen.

Nach elf Versuchsjahren unterscheiden sich die gesamten Humusmengen unter Direktsaat und Pflug nicht signifikant. Dagegen zeigt der Tiefenverlauf der Humusgehalte grosse Unterschiede zwischen den beiden Anbausystemen. Unter Direktsaat wurden in den obersten 10 cm meist deutlich höhere Gehalte gemessen; dies wird durch die fast durchwegs höheren Werte in den tieferen Schichten (20-40 cm) der Pflugparzellen kompensiert.

Aufgrund der stabileren Bodenstruktur und der besseren Wassereinsickerung ist das Direktsaatsystem eine wirkungsvolle Schutzmassnahme gegen Bodenerosion. Da mit der Abschwemmung der obersten Bodenschicht grosse Mengen an organischem Material verloren gehen, dürfte eine Umstellung auf Direktsaat in stark erosionsgefährdeten Ackerbaugebieten der Schweiz (ca. 17% der Ackerfläche) zu einer deutlichen Zunahme der Humusgehalte im Oberboden führen.

Zusätzlich kann das Direktsaatsystem durch die Einsparung von Treibstoff und durch eine Reduktion der energieintensiven N-Mineraldünger nachhaltig zur CO₂-Reduktion in der Atmosphäre beitragen.

Remerciements

Les laborieux échantillonnages et une partie des analyses de laboratoire de cette étude ont été réalisés dans le cadre de deux travaux de semestre à la HESA Zollikofen et d'un travail de diplôme à l'EPF Zurich. Nous remercions Frédéric Perrochet, Petra Rauber et Wiebke Schaft pour leur remarquable engagement.

Prasuhn V., Liniger H., Hurni H. & Friedli S., 2007. Bodenerosions-Gefährdungskarte der Schweiz. *Agrarforschung* **14** (3), 120-127.

Reicosky D. C. & Saxton K. R., 2007. Reduced Environmental Emissions and Carbon Sequestration. In: No-tillage Seeding in Conservation Agriculture. Baker C. J. & Saxton K. E. (Eds.), 2nd edn. FAO and CAB International, Rome, 257-267.

Schaller B., Nemecek Th., Streit B., Zihlmann U., Chervet A. & Sturny W. G., 2007. Bilan écologique comparatif du semis direct et du labour. *Revue suisse Agric.* **39** (2), 73-79.