

## Evolution de la structure du sol avec le semis direct et le labour

P. WEISSKOPF et U. ZIHLMANN, Agroscope FAL Reckenholz, case postale, CH-8046 Zurich

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

M. MÜLLER, Haute école suisse d'agronomie HESA, CH-3052 Zollikofen

@ E-mail: [peter.weisskopf@fal.admin.ch](mailto:peter.weisskopf@fal.admin.ch)  
Tél. (+41) 44 37 77 327.

### Résumé

Les systèmes de culture avec labour et en semis direct sont pratiqués depuis 1994 sur la parcelle de suivi à long terme Oberacker à l'Inforama Rütli. Cet essai se déroule dans une rotation de grandes cultures uniquement, sur un sol brun (limon sableux faiblement humifère), profond et humide en profondeur. Les paramètres de physique du sol relevés entre 2000 et 2004 indiquent une évolution de la structure des différents horizons du sol. Des diagrammes de proportions de traces de passage et de pression permettent de comparer les contraintes exercées sur le sol par deux procédés de travail du sol et d'en déduire des possibilités d'amélioration.

La structure du sol peut être évaluée d'après des mesures de densité apparente, de porosité grossière et de perméabilité à l'air sur des échantillons. Le semis direct entraîne une évolution favorable dans les horizons inférieurs du sol, mais en partie aussi des effets défavorables dans l'horizon supérieur.

À côté des paramètres traditionnels des contraintes et de la stabilité mécanique du sol, deux nouveaux paramètres sont proposés ici: le volume résiduel total des pores et le volume résiduel des pores grossiers. Ces paramètres doivent permettre une meilleure interprétation fonctionnelle des résultats de mises sous pression. Les paramètres de stabilité montrent des propriétés globalement favorables dans les horizons inférieurs de la parcelle d'essai. Dans l'horizon supérieur, ils indiquent un effet de stabilisation de la structure grâce au système du semis direct.

### Introduction

Depuis l'an 2000, Agroscope FAL Reckenholz poursuit des recherches sur la parcelle de suivi à long terme aménagée en 1994 à l'Inforama Rütli (en-

cadre 1 et fig.1). L'objectif de cette étude est de comparer la physique d'un sol cultivé avec labour (L) ou en semis direct (SD). On cherche ainsi à savoir si ces deux systèmes influencent la formation et la stabilité de la structure du

sol, sous l'effet des contraintes auxquelles il est soumis, et quelles sont les répercussions sur la constitution et la régénération de la structure.

### Matériel et méthodes

Au moins six semaines après la dernière intervention culturale, des échantillons de sol sont prélevés chaque printemps depuis 2000 dans la parcelle 5 à des profondeurs de 10 à 15 cm et de 35 à 40 cm. Huit carottages de sol non perturbé sont effectués dans chaque système de culture pour les deux profondeurs. Ces carottes ont un diamètre de 100 mm pour une hauteur de 30 mm, soit un volume de 235 cm<sup>3</sup>.

Les paramètres suivants ont ainsi été examinés:

- constitution de la structure: densité apparente, volume total des pores, volume des pores grossiers et perméabilité à l'air;
- stabilité de la structure: contrainte de préconsolidation, perte de porosité (encadré 2);
- réaction de la structure à la pression: volume résiduel total des pores et volume résiduel des pores grossiers (encadré 2).



Fig. 1. Parcelle de suivi à long terme Oberacker, à l'Inforama Rütli, à Zollikofen. Prise de vue aérienne du 29 juin 2004. (Photo: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz).

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

Les systèmes extensifs des travaux de conservation du sol doivent davantage être appliqués en grandes cultures, afin d'assurer la fertilité du sol (Confédération suisse, 1983) et d'améliorer la rentabilité. Pour mettre en évidence les avantages et inconvénients du semis direct par rapport au labour, ces deux systèmes de culture sont comparés depuis août 1994 à l'Inforama Rütli, à Zollikofen (fig.1). Ce suivi est réalisé dans une rotation de cultures en bandes sur un sol brun profond et humide en profondeur. Ce sol contient 15% d'argile et 3% d'humus (Chervet *et al.*, 2001). Le semis direct et le labour y sont pratiqués séparément sur six demi-parcelles contiguës de 14 ares.

Outre les données agronomiques, des paramètres de physique, de biologie et de chimie du sol y sont relevés. Une partie des recherches est réalisée par la Haute école suisse d'agronomie (HESA) à Zollikofen et par Agroscope FAL Reckenholz.

## Résultats

### Contraintes infligées au sol par le labour

Le labour n'entraîne pas seulement un ameublissement mécanique du sol, mais il a aussi pour effet d'augmenter les contraintes mécaniques exercées par le passage des véhicules. Les diagrammes des proportions de traces de passage et de pression confirment que le labour augmente ces contraintes.

En 1999, on constate que ce système de culture a exercé également de fortes pressions dans les horizons inférieurs du sol (fig. 2): ces pressions ne proviennent pas d'abord du poids du tracteur ni d'un mauvais choix des pneus, mais du fait qu'en 1999, le labour dit en sillon était encore pratiqué à l'aide d'une charrue bisoc. Avec cette technique, un côté du tracteur repasse dans le sillon créé lors du passage précédent, exerçant une pression directe sur les horizons inférieurs. A l'inverse, dans la culture d'orge d'automne de 2004, ces contraintes au sol présentaient un tout autre aspect, avec le labour hors sillon exécuté à l'aide d'une charrue trisoc. Ce procédé engendre moins d'aller et

## 2. Caractérisation de la stabilité et de la réaction d'une structure mise sous pression

La **contrainte de préconsolidation** correspond théoriquement à la pression sous l'effet de laquelle des échantillons drainés issus d'un sol très humide et soumis à une succion de 60 hectopascals passent de la déformation élastique à la déformation plastique.

La **perte de porosité** est le tassement, converti en perte de volume poral, consécutif à une charge de 50 ou 100 kilopascals d'échantillons drainés jusqu'à une succion de 60 hectopascals. Ce paramètre est déterminé lors d'un essai œdométrique de 30 minutes.

Le **volume résiduel total des pores** est le volume total des pores subsistant dans l'échantillon soumis à une contrainte de 50 ou 100 kilopascals.

Le **volume résiduel des pores grossiers** correspond au volume des pores grossiers subsistant dans l'échantillon soumis à une contrainte de 50 ou 100 kilopascals, en admettant que la perte de porosité due à cette pression au début du tassement soit uniquement constituée de pores grossiers.

retour et permet d'atténuer les pressions sur les horizons inférieurs. Celles-ci s'exercent alors principalement sur l'horizon supérieur et de manière réduite, grâce aux roues jumelées de l'essieu arrière du véhicule.

Avant ce remplacement du labour en sillon par le labour hors sillon, le système L était à l'origine de pressions nettement plus fortes que le système SD dans les horizons intermédiaires. Ce changement les a considérablement réduites. Toutefois, la proportion de traces de passage y est encore élevée à cause du jumelage des roues du véhicule.

### Evolution de la constitution de la structure

Dans les deux systèmes de culture, le volume des pores grossiers le plus élevé se situait dans l'horizon supérieur durant la première année d'expérimentation (2000), puis s'est déplacé dans les horizons inférieurs durant les autres années (fig. 3).

Ces volumes ont évolué de manière différente durant le suivi de 2000 à 2004: dans l'horizon supérieur, ils ont diminué entre 2000 et 2001 en passant de quelque 15 à 10%. Dans les horizons inférieurs par contre, ils ont constamment augmenté, sauf en 2003 (année extrêmement sèche), quel que soit le système adopté.

Dans l'horizon supérieur, le volume des pores grossiers n'a pas différé entre les systèmes SD et L, durant trois années d'expérimentation sur cinq. En 2000 et 2004, par contre, ces valeurs étaient plus élevées avec le système L. Dans les horizons inférieurs également, elles n'ont pas varié en fonction du système durant trois des cinq années en question. Mais en 2002 et en 2004, ces volumes étaient plus élevés dans les horizons inférieurs soumis au système SD.

Les horizons supérieurs dont les structures furent vraisemblablement altérées entre 2000 et 2001 par des interventions culturales n'ont pas pu se rétablir entièrement durant la période d'essai, et cela aussi bien pour le système SD, qui permet une

## 3. Valeurs indicatives et seuils d'investigation de la protection physique des sols

En 2004, la Société suisse de pédologie (SSP) a proposé des valeurs indicatives et des seuils d'investigation pour les paramètres structurels suivants: densité apparente effective, volume des pores grossiers sous une succion de 60 hectopascals, conductivité hydraulique à l'état saturé et résistance à la pénétration (Häusler et Buchter, 2004). Au même titre que les valeurs indicatives, les seuils d'investigation et les valeurs d'assainissement fixés dans l'Ordonnance sur les atteintes portées au sol OSol (Confédération suisse, 1998) pour les propriétés chimiques du sol, les propriétés physiques du sol nécessitent aussi l'élaboration d'aides à l'exécution de la protection du sol. Les valeurs indicatives obtenues lors de la comparaison des systèmes réalisées à Oberacker sont les suivantes:

- densité apparente effective: mesure supérieure à la valeur indicative de 1,7 g/cm<sup>3</sup>;
- volume des pores grossiers soumis à une succion de 60 hectopascals: mesure inférieure à la valeur indicative de 7% et au seuil d'investigation de 5%.

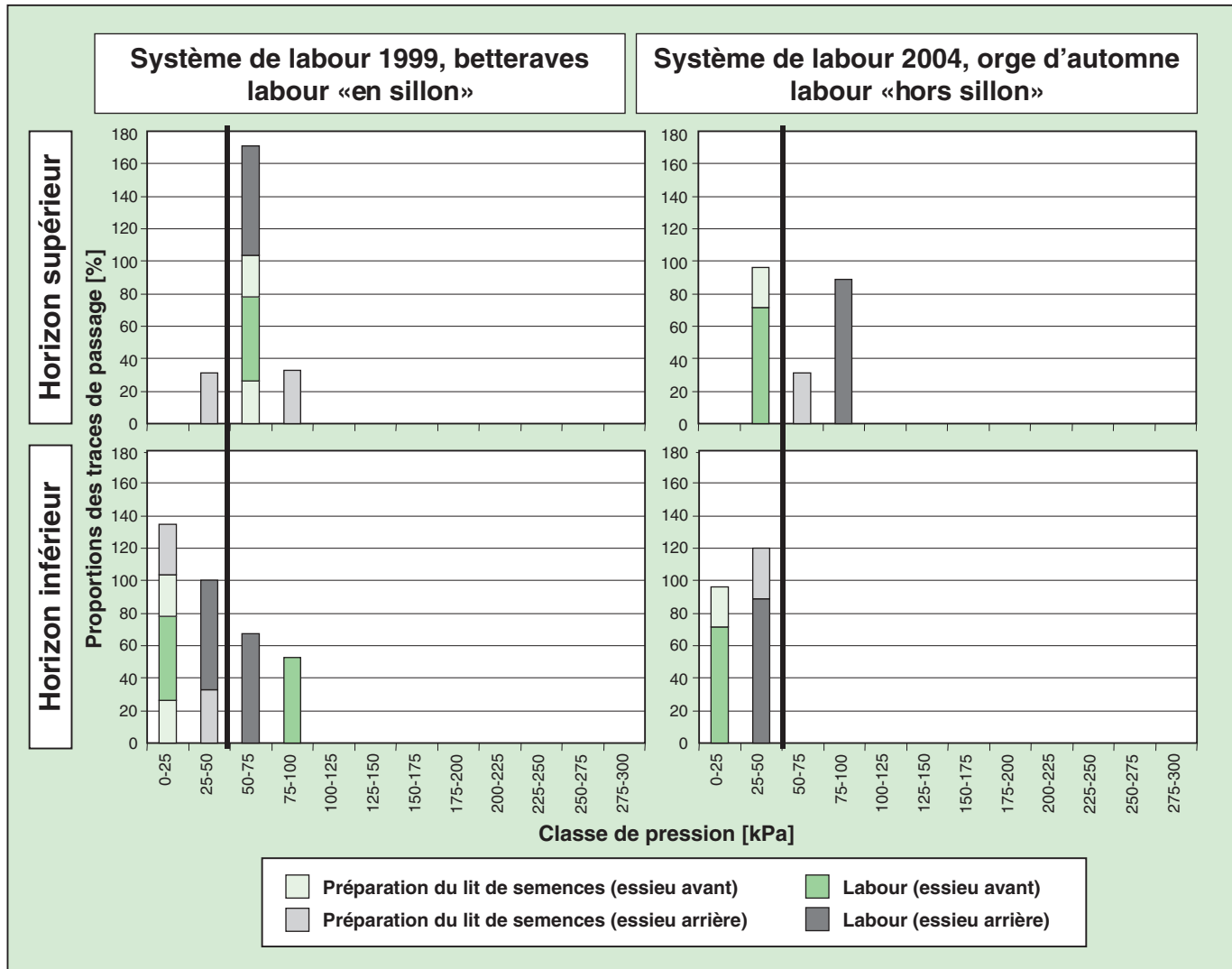


Fig. 2. Diagramme des proportions de traces de passage et de pression permettant de comparer les effets exercés au sol par le système L. A gauche, les contraintes au sol dans une culture de betteraves en 1999 et à droite dans une culture d'orge d'automne en 2004. Echantillons prélevés dans l'horizon supérieur, à 10 cm de profondeur (*en haut*), et dans les horizons inférieurs, à 35 cm de profondeur (*en bas*). Systèmes adoptés: labour en sillon en 1999 et hors sillon en 2004.

régénération principalement naturelle, que pour le système L, qui offre un ameublissement mécanique du sol. Dans les cultures labourées, ce n'est qu'en 2004 (après l'été sec de 2003) que le volume des pores grossiers a recommencé à augmenter. On ne sait pas encore, à l'heure actuelle, si la situation de 2000 provient de la récolte de betteraves opérée en 1999, qui a engendré un ameublissement mécanique dans le système SD également. Il est intéressant de constater que le volume des pores grossiers des horizons inférieurs a généralement augmenté au cours de l'expérimentation. Dans les parcelles en système SD notamment, l'état s'est considérablement amélioré depuis le début des essais en 2000. Dans la figure 3, la parcelle mise en évidence dans la marge inférieure est celle où le taux de 7% de pores grossiers, soit la valeur indicative proposée à titre préventif par Häusler et Buchter (2004), n'a pas été atteint (encadré 3).

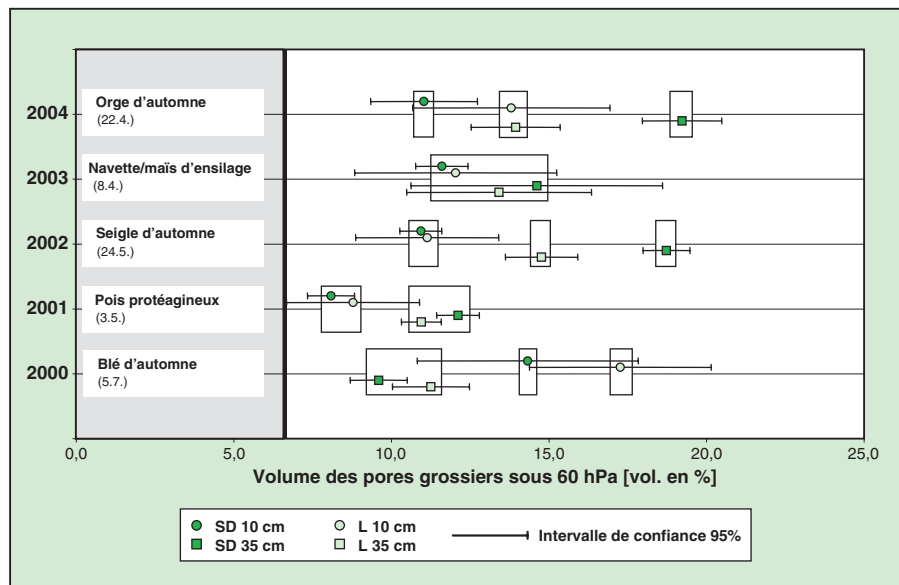


Fig. 3. Volumes des pores grossiers sous une succion de 60 hPa dans l'horizon supérieur (cercles) et dans les horizons inférieurs (rectangles) pour les systèmes L (en vert clair) et SD (en vert) de 2000 à 2004. Entre parenthèses: dates du prélèvement.

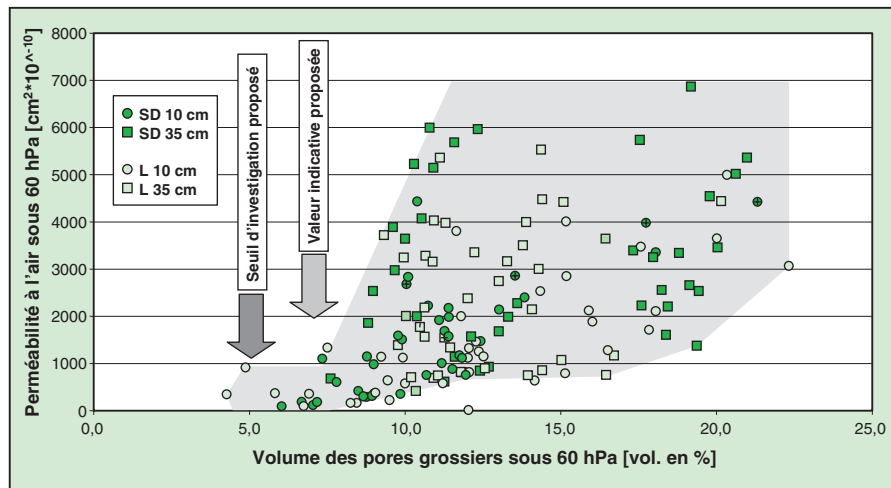


Fig. 4. Relation entre les paramètres structurels «volume des pores grossiers sous 60 hPa» et «perméabilité à l'air sous 60 hPa» dans des échantillons prélevés dans l'horizon supérieur (cercles) et dans les horizons inférieurs (rectangles) pour les systèmes L (vert clair) et SD (en vert) de 2000 à 2004.

Si l'on considère toutes les mesures, le volume des pores grossiers et la perméabilité à l'air ne sont pas très étroitement corrélés, car ces paramètres dépendent aussi du type de structure (fig. 4). Néanmoins, l'ensemble des valeurs obtenues indique clairement à quel moment le sol perd sa perméabilité à l'air, soit à quel volume de pores grossiers le flux des gaz ne s'opère plus dans le sol. Les points correspondent aux valeurs indicatives et aux seuils d'investigation proposés par Häusler et Buchter (2004) pour le volume des pores grossiers soumis à une force d'aspiration de 60 hectopascals.

### Evolution de la stabilité de la structure du sol

Les valeurs de «contrainte de préconsolidation» et de «densité apparente» sont bien plus élevées dans les horizons inférieurs que dans l'horizon supérieur. Les compactages intervenus dans l'horizon supérieur entre 2000 et 2001 et dans les horizons inférieurs entre 2002 et 2003 ont été accompagnés par une augmentation de la stabilité mécanique des sols qui s'est traduite par une hausse des valeurs de préconsolidation. En conséquence, ces dernières ont beaucoup varié dans les horizons inférieurs tout au long du suivi. Elles oscillaient entre 50 et 110 kilopascals. Dans l'horizon supérieur en revanche, la variation n'était que de 20 à 50 kilopascals, à l'exception des parcelles cultivées en SD en 2001. Dans les horizons inférieurs, le type de travail du sol n'a eu aucun effet sur son élasticité. Dans l'horizon supérieur, les deux systèmes n'ont différencié significativement qu'en 2000 et surtout en 2001. Dans chaque cas, les valeurs de préconsolidation

étaient supérieures dans les cultures en semis direct. Soulignons toutefois qu'en 2002 et 2004, la densité apparente et les valeurs de préconsolidation tendaient à être plus élevées avec le système SD.

### La stabilité de la structure examinée sous un angle nouveau

La contrainte de préconsolidation est un paramètre couramment utilisé pour décrire la stabilité mécanique du sol. Elle fut cependant souvent difficile, voire impossible à déterminer sur les courbes de mise sous pression des échantillons structurés de sol prélevés à

Oberacker. Cela provient entre autres de l'évolution atypique de ces courbes lors du passage graduel de la déformation élastique à la déformation plastique. Nous avons donc tenté d'écartier cette difficulté en introduisant les trois paramètres suivants: perte de porosité, volume résiduel total des pores et volume résiduel des pores grossiers. Généralement applicables même sur des courbes difficiles à interpréter, ces paramètres permettent d'établir un lien entre les processus de mécanique du sol et les valeurs relatives à la constitution de la structure (encadré 2).

Avant de déterminer ce paramètre de réaction de la structure sous l'effet de la pression, la courbe précise de mise sous pression doit tout d'abord être modélisée à partir d'éléments linéaires en se fondant sur des essais œdométriques. Cette courbe simplifiée permet de déterminer le tassement d'un échantillon de sol, à n'importe quelle pression. Il est alors possible d'en déduire la perte de porosité correspondante.

### Pertes de porosité après une mise sous pression

Les valeurs mesurées variant peu à l'intérieur des groupes, les pertes de porosité indiquent des différences systématiques notables entre le comportement de l'horizon supérieur et des horizons inférieurs sous l'effet de la pression. Ces pertes sont nettement plus grandes dans l'horizon supérieur (fig. 5).

Contrairement à la préconsolidation, la plage des valeurs de la perte de poro-

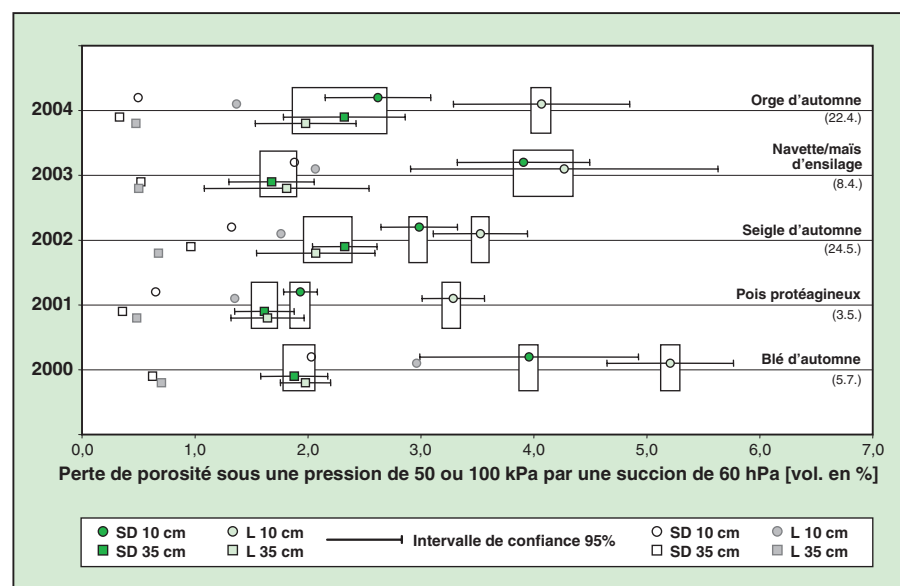


Fig. 5. Pertes de porosité dans l'horizon supérieur (cercles) et dans les horizons inférieurs (rectangles) pour les systèmes L (en vert clair) et SD (en vert) de 2000 à 2004. Entre parenthèses: dates du prélèvement. Les symboles vides (SD) et en gris (L) correspondent à une pression standard de 50 kPa et les pleins à une pression de 100 kPa.



sité présente de nettes différences entre les horizons. Sous une pression standard de 100 kilopascals, le volume de cette perte n'oscille que faiblement (1,6 à 2,3%) dans les horizons inférieurs, nettement plus stables. Mais, dans l'horizon supérieur, ces variations atteignent 1,9 à 5,2% sur toute la période d'essai. Cette différence provient entre autres du fait que, sous une pression de 100 kilopascals, les agrégats de l'horizon supérieur dépassent déjà la contrainte de préconsolidation et se trouvent donc dans la zone de plasticité où les contraintes produisent des déformations. Dans les horizons inférieurs, par contre, les agrégats se situent encore dans la zone d'élasticité et sont donc peu sensibles à la déformation.

Dans les deux systèmes de culture, les pertes de porosité n'ont pas varié de manière significative dans les horizons inférieurs tout au long de la période d'essai. Cela signifie donc que le mode de culture n'a pas modifié le volume poral dans ces horizons. Dans l'horizon supérieur, en revanche, les deux systèmes ont eu des effets très différents durant quatre des cinq années d'essai: le labour a entraîné les pertes les plus fortes à cause de l'ameublissement mécanique du sol, qui a fait perdre à la structure une part de sa stabilité.

### Valeur indicative de la réaction du volume des pores grossiers

La perte de porosité correspond à la différence entre le volume total des pores et le volume résiduel total des pores (encadré 2). Il serait intéressant toutefois de pouvoir estimer l'importance fonctionnelle de cette perte. Sachant que, sous l'effet de la pression, ce sont habituellement les plus grosses cavités remplies d'air qui se déforment en premier, on peut admettre, dans un cas extrême, que la perte totale du volume poral consécutive à des pressions standard concerne uniquement les pores grossiers. C'est ainsi qu'est calculé le volume résiduel des pores grossiers, qui permet donc d'estimer l'effet maximal que la pression peut exercer sur le volume des pores grossiers.

Sous une pression de 100 kilopascals, la configuration présentée à la figure 3 changerait alors de deux manières lors de la détermination du volume des pores grossiers: d'une part, les différences entre l'horizon supérieur et les horizons inférieurs augmenteraient et le volume des pores grossiers dans l'horizon supérieur tomberait au-dessous de 10%, et parfois même au-dessous de la

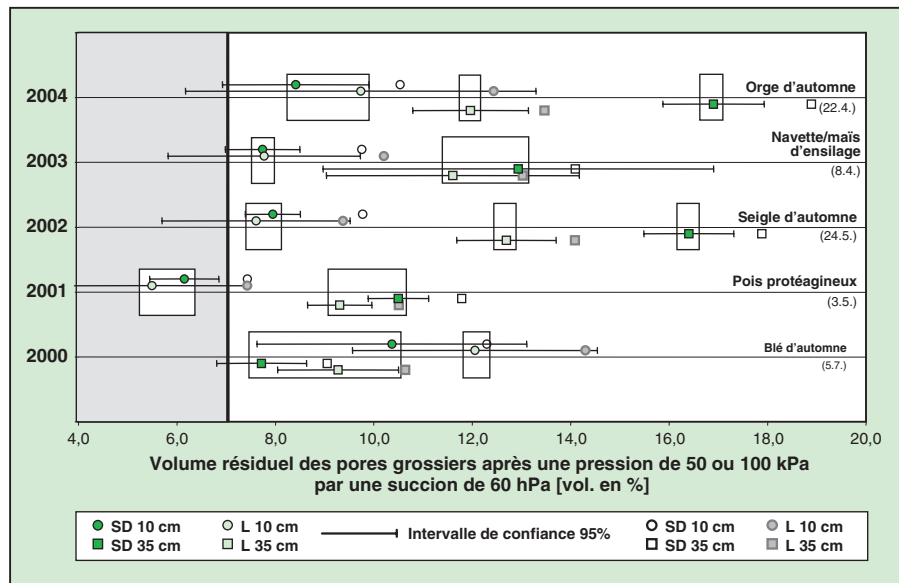


Fig. 6. Volumes résiduels des pores grossiers après une pression standard exercée sur l'horizon supérieur (symboles circulaires) et les horizons inférieurs (rectangles) pour les systèmes L (en vert clair) et SD (en vert) de 2000 à 2004. Entre parenthèses: dates du prélèvement. Les symboles vides (SD) et en gris (L) correspondent à une pression standard de 50 kPa et les pleins à une pression de 100 kPa.

#### Explication à propos des figures 3, 5 et 6

Les symboles représentent les moyennes résultant de huit répétitions; les bornes d'erreur correspondent à un intervalle de confiance de 95% des moyennes. Les rectangles entourant les symboles indiquent l'interprétation statistique des résultats regroupés selon Tukey (1949).

La surface mise en évidence dans les figures 3 et 6 indique le domaine des valeurs défavorables du volume des pores grossiers, où la valeur indicative proposée par Häusler et Buchter (2004) n'est pas atteinte.

valeur indicative de 7% proposée par Häusler et Buchter (2004). En 2000, après la récolte de betteraves de 1999, le volume résiduel des pores grossiers des horizons inférieurs aurait presque atteint le niveau des valeurs défavorables, même avec le système SD. D'autre part, dans l'horizon supérieur, les différences de volumes des pores grossiers consécutives au système L n'auraient pas existé, car les pertes de porosité dues à la pression dans une structure meuble sont plus grandes avec le système L qui ameublisse davantage le sol que le système SD.

### Les horizons inférieurs ont une meilleure structure que les horizons supérieurs

Le système SD ne nécessitant pas d'intervention ciblée dans le sol, ce mode de culture n'inflige pas de contrainte au sol. Le système L par contre implique un travail du sol qui constitue une grande part des contraintes subies par les horizons inférieurs. Le labour en sillon est particulièrement dommageable, car les roues d'un côté du tracteur passent sur le fond des sillons et pèsent directement sur les horizons inférieurs. La nouvelle méthode de la-

bour hors sillon permet de travailler en ménageant bien mieux le sol car toutes les roues du tracteur passent à la surface du sol; sans compter qu'elles peuvent être jumelées, ce qui atténue considérablement les contraintes dans les horizons inférieurs.

Dans les horizons supérieurs cultivés en semis direct, la structure présente souvent des caractéristiques comparables à celles obtenues avec le système L. Elles sont même parfois un peu moins favorables. Dans les horizons inférieurs, ces caractéristiques sont généralement meilleures que dans l'horizon supérieur, quel que soit le système. Ce constat vaut autant pour la constitution de la structure (par exemple la perméabilité à l'air) que pour sa stabilité (par exemple la perte de porosité). Remarquons ici que les paramètres structurels sont parfois meilleurs dans les horizons inférieurs soumis au système SD, probablement à cause de la meilleure résistance à la pression dans l'horizon supérieur, un peu plus stable, mais aussi à cause de l'absence de contraintes dans les horizons inférieurs, comme celles que le labour en sillon occasionne. Il sera intéressant de voir comment les caractéristiques des horizons inférieurs soumis au système L évolueront par rapport au système SD après l'adoption du labour hors sillon en 2003. Il est réjouissant de constater qu'avec les deux

systèmes de culture, la structure des horizons inférieurs s'est améliorée presque constamment tout au long de cette expérimentation.

Le paramètre de préconsolidation, traditionnellement utilisé en mécanique du sol, n'a pas toujours permis de déterminer clairement la stabilité de la structure des sols dans la parcelle d'Oberacker. Sur ce site, les paramètres habituels de stabilité, tout comme les nouveaux paramètres proposés ici pour étudier la réaction de la structure à la pression, montrent que les horizons inférieurs ont une meilleure stabilité, quel que soit le système adopté. Pour l'horizon supérieur, les paramètres de stabilité confirment que le système SD exerce une influence généralement beaucoup plus favorable que le labour, notamment parce que le semis direct rend inutiles les interventions régulières d'ameublissement.

### Bibliographie

- Chervet A., Maurer C., Sturny W. G. & Müller M., 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 8 (1), 12-17.
- 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 No 814.01.
- Confédération suisse, 1998. Ordonnance du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). Recueil systématique du droit fédéral, RS No 814.12.
- Häusler S. & Buchter B., 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.
- Tukey J. W., 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics* 5 (6), 99-114.

### Zusammenfassung

#### Entwicklung des Bodengefüges bei Direktsaat und Pflug

Auf der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker am Inforama Rütli werden die beiden Anbausysteme «Pflug» und «Direktsaat» seit 1994 auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde im Verlauf einer rein ackerbaulichen Fruchtfolge miteinander verglichen. Von 2000 bis 2004 durchgeführte bodenphysikalische Begleituntersuchungen liefern Angaben zur Gefügeentwicklung im Ober- und Unterboden. Mit Hilfe von Fahrspur-Flächenanteil/Druckbeanspruchungs-Diagrammen werden Bodenbeanspruchungen der beiden Pflugverfahren miteinander verglichen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt. Bestimmungen von Lagerungsdichte, Grobporenvolumen und Luftpermeabilität an Bodenproben ermöglichen Rückschlüsse auf den Gefügebau. Sie zeigen bei der Direktsaat günstige Entwicklungen besonders im Unterboden und teilweise ungünstige Effekte im Oberboden.

Neben der Bestimmung traditioneller bodenmechanischer Stabilitätsparameter wie der Vorbelastung werden mit dem Rest-Gesamtporenvolumen und dem Rest-Grobporenvolumen neue Parameter vorgeschlagen, um die Ergebnisse von Drucksetzungsmessungen funktionell besser interpretieren zu können. Die Stabilitätsparameter verdeutlichen die generell günstigen Eigenschaften der Unterböden im Oberacker-Vergleich und weisen im Oberboden auf die die Stabilität fördernde Wirkung des Direktsaatsystems hin.

### Summary

#### Evolution of soil structure under no-tillage and ploughing

Since 1994 plough tillage is compared to no-tillage on six crop rotation plots in the long-term field trial Oberacker at the Inforama Ruetti in Zollikofen. The deep cambisol of the trial plots consists of 15% clay and 3% organic matter. From 2000 to 2004 soil physical parameters have been investigated in order to assess the effects of the two tillage systems on soil structure. Diagrams showing at the same time the share of wheeled area and the amount of soil stress under the wheel tracks are used to compare possible impacts of the two ploughing systems «in furrow» and «onland» on soil structure and to make suggestions for improvements.

Determination of bulk density, macropore volume and air permeability allow for conclusions regarding the size and arrangement of voids in the soil and show favourable effects of no-tillage on structural properties of the subsoil and partly negative effects of this system on topsoil.

Apart from the determination of conventional soil mechanical stability parameters like precompression stress, the new parameters «remaining total pore volume» and «remaining macropore volume» are suggested to improve the interpretation of compression test results, particularly regarding functional aspects. These parameters characterizing soil structural stability emphasize the generally favourable properties of the subsoils in the «Oberacker» trial and indicate improvements in topsoil stability caused by no-tillage.

**Key words:** soil structure, soil compaction, precompression stress, no-tillage, plough tillage «in-furrow» and «onland».



*Nos collections*

CHF 18.-

**Plantes aromatiques  
et médicinales**

**COMMANDE:** Agroscope RAC Changins, Service Info, CH-1260 Nyon 1,  
tél. ++41 (22) 363 41 51, fax ++41 (22) 363 41 55.  
E-mail: colette.porchat@rac.admin.ch