


# Résultats de 34 ans de culture sans labour à Changins

## I. Evolution des rendements

P. VULLIOUD<sup>1</sup> et Edith MERCIER, Agroscope RAC Changins, Case postale 254, CH-1260 Nyon 1

 E-mail: [pierre.vulliod@rac.admin.ch](mailto:pierre.vulliod@rac.admin.ch)  
Tél. (+41) 22 36 34 444.

### Résumé

Un essai visant à étudier les conséquences à long terme de différentes méthodes de culture sans labour, sur un sol limoneux et sur un sol argileux, se poursuit depuis trente-quatre ans à Changins (VD, 430 m). Le labour (travail classique à env. 25 cm) y est comparé au travail au chisel (travail profond à 25-30 cm), au cultivateur (profondeur moyenne 10-15 cm) et au travail minimum (herse rotative à 7-10 cm), parfois remplacé par le semis direct. En plus, l'influence du sous-solage, d'une fertilisation azotée renforcée et de la conservation des pailles au champ y a également été évaluée de manière occasionnelle.

Jusqu'à maintenant, les procédés de travail sans labour ont généré des rendements légèrement supérieurs (quelque 5% en moyenne générale) à ceux du labour. Le sous-solage et la conservation des pailles au champ n'ont pas influencé le rendement des cultures tandis qu'une fertilisation azotée renforcée l'a généralement augmenté, sans toutefois que l'on ait constaté d'interaction avec les procédés de travail du sol.

En sol argileux, c'est le travail du sol au cultivateur qui a, en moyenne, permis d'atteindre les meilleurs rendements. Cependant, le rendement après le labour était en général plus stable, quoique souvent inférieur à ceux des procédés de travail sans labour.

En sol limoneux, le chisel et le cultivateur viennent en tête dans la moyenne des rendements, mais c'est le travail minimum qui a présenté le rendement le plus stable, avec une moyenne légèrement supérieure à celle du labour.

En termes de coûts de production, les procédés labour et chisel sont très proches pour ce qui concerne les travaux du sol; le travail minimum permet une économie moyenne de 60% et le cultivateur de 30%. Pour le désherbage, les coûts des procédés sans labour dépassent ceux du labour d'environ 20% pour le travail minimum et de 5 à 8% pour le chisel et le cultivateur.

## Introduction

A l'origine, les méthodes de culture sans labour ont été développées dans le but de simplifier le travail et de réduire les coûts de production agricole. Par la suite, des travaux de recherche ont montré que ces méthodes pouvaient également avoir une incidence positive sur la conservation des sols, en limitant par exemple l'érosion en laissant les résidus de récolte en surface (TEBRÜGGE et DÜRING, 1999). D'autres études font part d'une amélioration de la structure du sol, de la stabilité des agrégats (BOONE *et al.*, 1976; CHANG et

LINDWALL, 1989; ARSHAD *et al.*, 1999; TEBRÜGGE et DÜRING, 1999) et du maintien de la fertilité à long terme (HORNE, 1992; FRANZLUEBBERS *et al.*, 1996).

Avec l'augmentation des coûts d'exploitation en agriculture, la pression sur les performances économiques et avec les préoccupations environnementales que l'on rencontre aujourd'hui, les méthodes de culture sans labour peuvent se révéler très attrayantes pour les agriculteurs.

Il existe plusieurs méthodes permettant de remplacer le labour traditionnel par des techniques impliquant un travail du sol moins intensif. Deux essais ont été mis en place en 1969 à Changins afin d'étudier les effets à long terme de la

culture sans labour sur les rendements, les caractéristiques chimiques, physiques, biologiques du sol de même que sur sa faune et sa flore pour deux différentes textures de sol. Ainsi, une rétrospective de trente-quatre ans d'expérimentation continue permet de jeter un regard critique sur trois méthodes de travail réduit du sol (chisel, cultivateur, travail minimum ou semis direct) comparées au labour, sur sol argileux ou limoneux. Ce document résume et complète des résultats publiés antérieurement (VEZ, 1977; 1982; MAILLARD et VEZ, 1993). La présente publication se concentre sur l'évolution des rendements des cultures. Les autres paramètres seront l'objet de publications séparées.

<sup>1</sup>Avec la collaboration technique de L. Deladoey et P. Jaquier.



Fig. 1a. La charrue demeure l'outil de référence.



Fig. 1b. La qualité du labour a été améliorée et peut encore l'être.



Fig. 2a. Le chisel permet de décompacter le sol jusqu'à la semelle de labour.



Fig. 2b. Le chisel incorpore la matière organique dans tout le profil travaillé. On lui préfère actuellement le décompacteur qui, lui, ne mélange pas les couches de terre.



Fig. 3a. Le cultivateur à dents rigides, munies de socs à ailettes relativement plates, réalise un ameublissement efficace et homogène de la terre à profondeur moyenne.



Fig. 3b. Le cultivateur exerce un bon effet destructeur sur les mauvaises herbes installées et laisse suffisamment de résidus organiques près de la surface pour assurer déjà une certaine protection de la structure du sol.



Fig. 4a. La herse rotative est une des machines permettant de réaliser le «travail minimum» du sol. Le semoir y est généralement directement accouplé; le semis est ainsi simultané.



Fig. 4b. Le travail minimum se limite à la création du lit de semence; il laisse une grande partie des résidus végétaux près de la surface du sol qui est ainsi bien protégée.



Fig. 5a. Semoir pour le semis direct.



Fig. 5b. Le semis direct est le procédé qui remue le moins la terre et laisse tous les résidus végétaux en surface. Il est considéré comme le plus performant dans le concept de travail de conservation du sol (*conservation tillage*). Il requiert cependant beaucoup d'attention et de technicité en matière d'installation de la culture et de désherbage.

## Matériel et méthodes

### Description de l'essai

Les essais ont été mis en place en 1969 – et se poursuivent actuellement – à Changins (VD, 430 m) sur une parcelle comprenant deux types de sol: une partie argileuse (A: 51% d'argile, 22% de silt, 27% de sable, 5% de matière organique) et une partie limoneuse (L: 27% d'argile, 44% de silt, 19% de sable, 2,5% de matière organique). L'essai sur sol argileux comprend trois répétitions tandis que celui sur sol limoneux en compte quatre. La rotation pratiquée est la suivante: colza d'automne, blé d'automne, maïs grain, blé d'automne; en 1993 et en 2001, les conditions climatiques désastreuses de l'automne n'ont pas permis de semer du blé d'automne après le maïs; il a fallu y substituer un blé de printemps. Les essais ont été aménagés selon un dispositif expérimental de type «strip-plot» (GOMEZ et GOMEZ, 1984) comprenant, pour les deux différents sols étudiés, quatre procédés principaux de 320 m<sup>2</sup> et deux sous-procédés de 160 m<sup>2</sup> présentés dans le tableau 1, avec les machines correspondantes dans les figures 1 à 6. Le travail secondaire du sol pour la préparation du lit de semences a été adapté aux conditions de l'année et a évolué au cours du temps en fonction des matériels disponibles.



Fig. 6. Le semis en bandes fraîsées est une manière d'implanter le maïs par un travail du sol minimum sur moins de la moitié de la surface. C'est une technique intermédiaire entre le travail minimum du sol (sur toute la surface) et le semis direct. Comme ce dernier, il exige du doigté pour le désherbage.

Tableau 1. Détail des procédés expérimentaux du dispositif en strip-plot.

Procédés principaux	Sous-procédés
1. <b>Labour</b> 25-30 cm de profondeur de travail du sol.	1969-1973: <b>O. Référence</b> , non sous-solé.
2. <b>Chisel</b> 25-30 cm de profondeur de travail du sol.	<b>P. Sous-solage</b> avant maïs et colza environ 60 cm de profondeur, avec boulet de drainage-taupe.
3. <b>Cultivateur</b> à dents rigides 10-15 cm de profondeur de travail du sol; de 1969 à 1981, le travail a été réalisé avec différentes machines travaillant à une profondeur comparable.	1974-1991: <b>O. Référence</b> , fumure azotée selon les normes. <b>P. Fumure azotée renforcée</b> (+30 kg N/ha).
4. <b>Travail minimum</b> 5-10 cm de profondeur de travail du sol; occasionnellement semis direct pour le blé et le colza, semis sur bandes fraîsées pour le maïs.	Depuis 1992 <b>O. Référence</b> , paille de blé* récoltée. <b>P. Paille de blé* hachée</b> , laissée sur le champ et incorporée au sol selon procédé principal.

\*Les résidus de récolte du colza et du maïs grain sont systématiquement hachés et laissés sur le champ.

# Résultats

## Procédés principaux

En moyenne générale, les procédés sans labour ont engendré des rendements légèrement supérieurs à ceux du labour (fig. 7 et 8). Cette supériorité est mo-

deste puisqu'elle ne dépasse guère 5%. Par rapport au labour, qui fait référence, on a enregistré une hausse de rendement significative avec un des procédés sans labour (dans au moins un des sous-procédés) pour seulement cinq des trente-quatre années de l'essai sur le sol argileux et six années sur le sol

limoneux (fig. 7 et 8). A l'inverse, des résultats significativement inférieurs à ceux du labour sont notés trois années sur trente-quatre en sol argileux et cinq années en sol limoneux. Les tableaux 2a et 2b fournissent un autre éclairage sur les résultats de rendement: ils y sont exprimés en termes

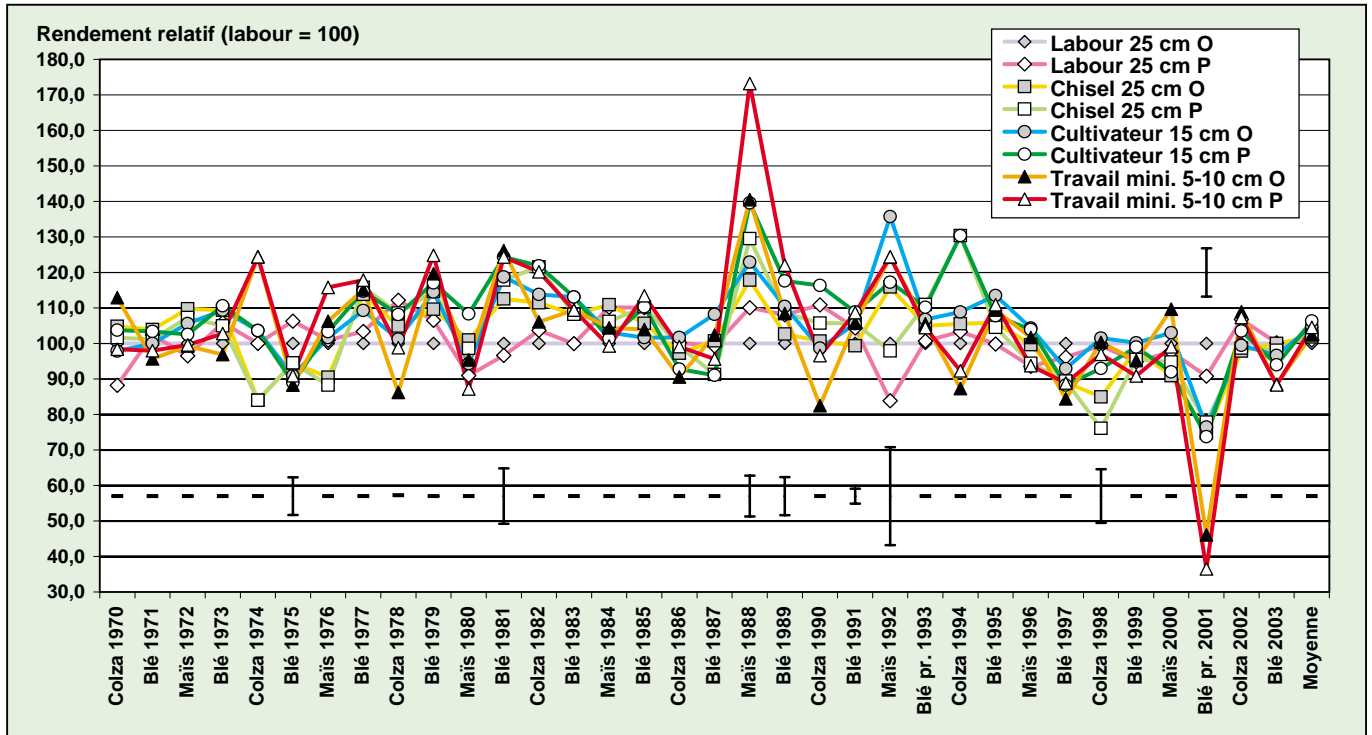


Fig. 7. Influence du travail du sol sur le rendement des cultures en sol argileux. Les rendements sont exprimés en valeurs relatives, 100 correspondant au labour. Les différences statistiquement significatives sont signalées par un trait vertical.

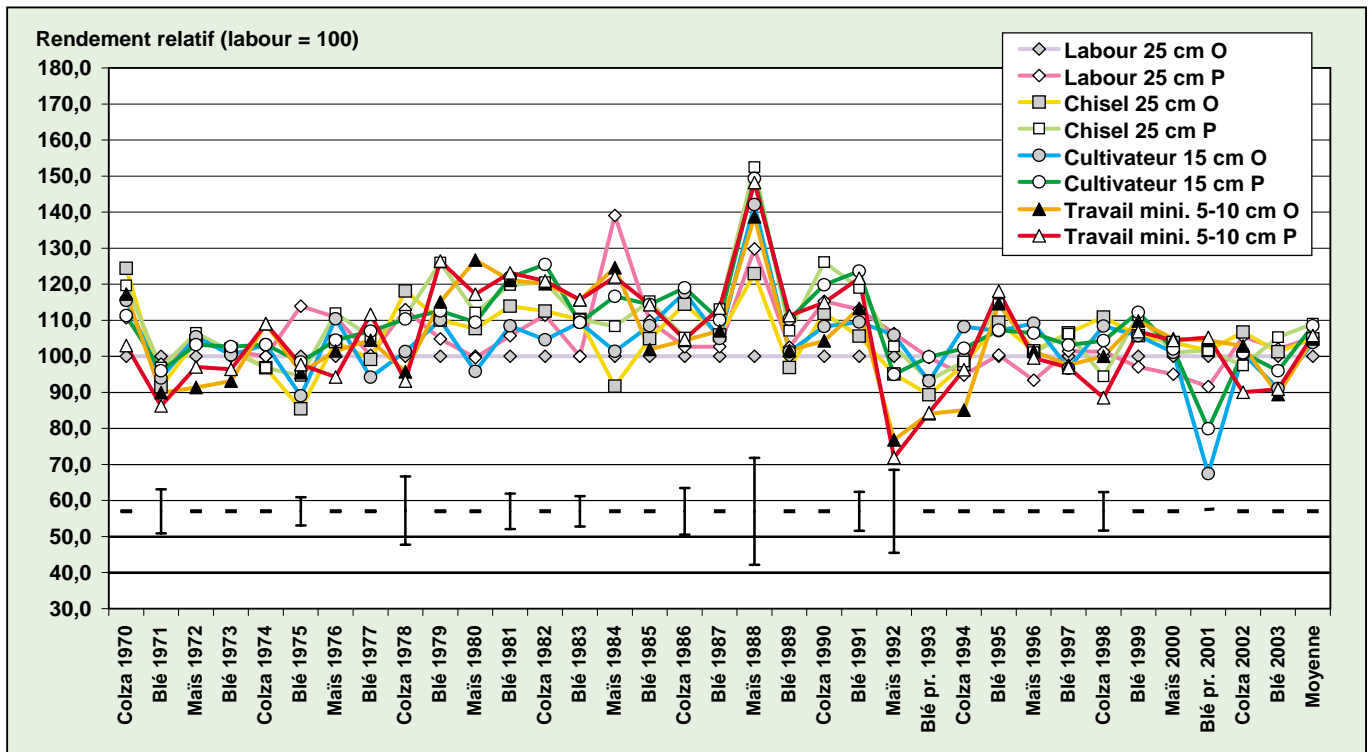


Fig. 8. Influence du travail du sol sur le rendement des cultures en sol limoneux. Les rendements sont exprimés en valeurs relatives, 100 correspondant au labour. Les différences statistiquement significatives sont signalées par un trait vertical.

**Tableau 2a. Fréquence des différences de rendement entre procédés non labourés et labour classique (pour le sous-procédé de référence), selon les cultures et le type de sol.**

Cultures Procédés	Inférieures d'au moins 10%		Inférieures de 5 à 10%		Négligeables ±5%		Supérieures de 5 à 10%		Supérieures de plus de 10%	
	Argile	Limon	Argile	Limon	Argile	Limon	Argile	Limon	Argile	Limon
Sol										
<b>Colza après blé (54 cas)</b>										
Chisel	2	0	0	0	5	2	1	1	1	6
Cultivateur	0	0	0	0	7	4	1	3	1	2
Travail minimum	3	1	1	0	1	5	2	1	2	2
Total	5	1	1	0	13	11	4	5	4	10
Groupement 1			11%	2%	24%	20%	15%	28%		
Groupement 2			13%		44%		43%			
<b>Blé après colza (54 cas)</b>										
Chisel	0	1	1	1	5	1	3	4	0	2
Cultivateur	0	1	1	2	3	1	2	4	3	1
Travail minimum	2	2	0	0	3	1	3	2	1	4
Total	2	4	2	3	11	3	8	10	4	7
Groupement 1			7%	13%	20%	6%	22%	32%		
Groupement 2			20%		26%		54%			
<b>Blé après maïs (48 cas)</b>										
Chisel	2	1	0	1	2	3	2	0	2	3
Cultivateur	1	1	1	0	1	5	3	1	2	1
Travail minimum	2	1	0	2	2	3	2	2	2	0
Total	5	3	1	3	5	11	7	3	6	4
Groupement 1			13%	12%	10%	23%	27%	15%		
Groupement 2			25%		33%		42%			
<b>Maïs après blé (48 cas)</b>										
Chisel	0	0	2	1	2	5	1	1	3	1
Cultivateur	0	0	1	0	4	3	1	3	2	2
Travail minimum	0	1	0	1	4	3	2	0	2	3
Total	0	1	3	2	10	11	4	4	7	6
Groupement 1			6%	6%	21%	23%	23%	21%		
Groupement 2			12%		44%		44%			
<b>Toutes cultures (204 cas)</b>										
Chisel	4	2	3	3	14	11	7	6	6	12
Cultivateur	1	2	3	2	15	13	7	11	8	6
Travail minimum	7	5	1	3	10	12	9	5	7	9
Total	12	9	7	8	39	36	23	22	21	27
<b>Total en %</b>	6%	4%	3%	4%	19%	18%	12%	11%	10%	13%
Par type de sol			9%	8%	19%	18%	22%	24%		
Non-labour en général			17%		37%		46%			
										<b>Différence*</b>
<b>Chisel</b>			10%	7%	21%	16%	19%	27%	9%	20%
			17%		37%		46%		29%	
<b>Cultivateur</b>			6%	6%	22%	19%	22%	25%	16%	19%
			12%		41%		47%		35%	
<b>Travail minimum</b>			12%	12%	15%	17%	23%	21%	11%	9%
			24%		32%		44%		20%	

\*Cas supérieurs à 105% moins cas inférieurs à 95%.

**Tableau 2b. Classement des procédés selon les cultures et le type de sol (pour le sous-procédé de référence).**

Cultures Procédés	Score d'après tableau 2a*		Classement**	
	Sol	Argile	Limon	Argile
<b>Colza après blé</b>				
Labour	0	0	2 A	4
Chisel	-1	13	3 A	1
Cultivateur	3	7	1	2
Travail minimum	-1	3	3 A	3
Total	1	23	-	-
<b>Blé après colza</b>				
Labour	0	0	4 B	4
Chisel	2	5	2 A	2 A
Cultivateur	7	2	1	3
Travail minimum	1	6	3 A / B	1 A
Total	10	13	-	-
<b>Blé après maïs</b>				
Labour	0	0	4	3 A
Chisel	2	3	2	1
Cultivateur	4	1	1	2 A
Travail minimum	2	-2	2	4
Total	8	2	-	-
<b>Maïs après blé</b>				
Labour	0	0	4	4
Chisel	5	2	2 A / B	3 A
Cultivateur	4	7	3 B	1
Travail minimum	6	3	1 A	2 A
Total	15	12	-	-
<b>Toutes cultures</b>				
Labour	0	0	4	4
Chisel	8	23	2	1
Cultivateur	18	17	1	2
Travail minimum	8	10	2	3
Total par type de sol	34	50	-	-

\* [2 × cas > 110%] + [1 × cas 105 à 110%] - [1 × cas 90 à 95%] - [2 × cas < 90%]

\*\* Lorsque la différence de score n'est que d'une unité, les valeurs de classement sont reliées par une même lettre.

de fréquence des différences par rapport au labour et de classement des procédés. Etant donné l'absence d'interactions entre procédés et sous-procédés (voir le chapitre des résultats relatif aux sous-procédés), l'analyse des résultats peut être faite sur la base du sous-procédé dit «de référence» (selon tabl. 1). Les classements énoncés ci-dessous vont toujours dans le sens décroissant des rendements obtenus.

Pour le **comportement des cultures** en fonction des procédés de travail du sol, le tableau 2a, ainsi que le tableau 2b qui en découle, permettent de tirer quelques tendances:

- Colza après blé en sol argileux: cultivateur > labour ≥ chisel = travail minimum.
- Colza après blé en sol limoneux: chisel > cultivateur > travail minimum > labour.
- Blé après colza en sol argileux: cul-

tivateur > chisel ≥ travail minimum ≥ labour.

- Blé après colza en sol limoneux: travail minimum ≥ chisel > cultivateur > labour.
- Blé après maïs en sol argileux: cultivateur > chisel = travail minimum > labour.
- Blé après maïs en sol limoneux: chisel > cultivateur ≥ labour > travail minimum.
- Maïs après blé en sol argileux: travail minimum ≥ chisel ≥ cultivateur > labour.
- Maïs après blé en sol limoneux: cultivateur > travail minimum ≥ chisel > labour.

Le groupement des résultats par **type de sol**, tous procédés de non-labour confondus, révèle une différence apparemment importante entre argile et limon; cette différence est essentiellement liée à la réaction positive du

limon à l'action du chisel. Cela conduit à l'analyse de l'effet des procédés de travail du sol selon le type de terre:

- En sol argileux: cultivateur > travail minimum = chisel > labour
- En sol limoneux: chisel > cultivateur > travail minimum > labour.

Quant à la performance moyenne des **procédés de travail du sol** en comparaison, toutes cultures et tous types de sol confondus, l'ordre décroissant est le suivant: cultivateur > chisel > travail minimum > labour.

Pour ce qui est de l'**adaptation des espèces cultivées à la culture sans labour**, les scores figurant dans le tableau 2b donnent le classement global suivant:

- En sol argileux: maïs après blé > blé après colza > blé après maïs > colza après blé
- En sol limoneux: colza après blé > blé après colza > maïs après blé > blé après maïs.

Dans ce classement, c'est le colza qui surprend le plus: il paraît être plus performant cultivé sans labour sur le sol limoneux que sur le sol argileux.

## Stabilité des rendements

Pour aller un peu plus loin dans l'examen des rendements, une analyse de leur stabilité (aptitude à la variabilité du travail du sol/type de sol et aptitude à la variabilité face aux conditions climatiques d'une année) a été effectuée en se basant sur un modèle multiplicatif avec le logiciel INTERA (DECOUX et DENIS, 1991). En production agricole, la stabilité des rendements est un facteur très important puisqu'elle permet une certaine stabilité des revenus (quoique le prix des produits puisse varier d'une année à l'autre). Ainsi, on préfère en général un rendement assez stable dans la plupart des conditions à des rendements très fluctuants, même si leur moyenne sur plusieurs années est supérieure. Les figures 9, 10 et 11 illustrent les moyennes de rendement obtenues et l'aptitude à la variabilité de la culture selon les travaux du sol effectués et le type de sol. Plus la valeur absolue de variabilité est grande, plus la culture est sensible au travail du sol/type de sol. Etant donné la grande quantité d'informations concentrées dans ce type de mise en valeur des résultats, nous nous limitons à commenter les observations nous paraissant les plus importantes.

D'abord, on constate que les valeurs de variabilité des deux types de sol sont toujours de signes opposés, ce qui signifie qu'ils répondent généralement différemment aux conditions clima-

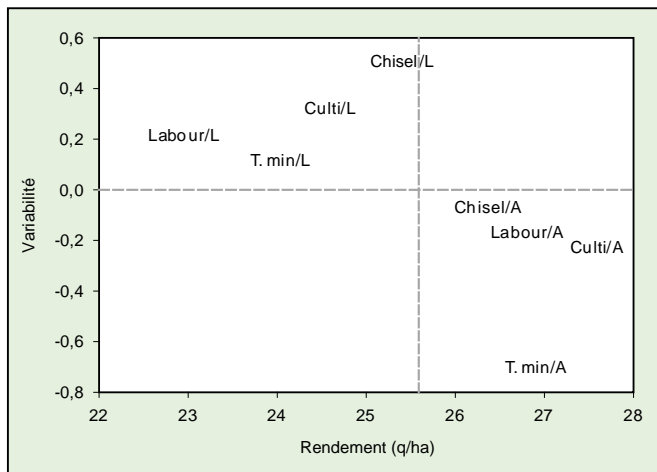


Fig. 9. Rendement et stabilité du rendement du colza.

tiques qui prévalent d'une année à l'autre. **Pour le colza** (fig. 9), il y a un effet significatif du travail du sol/type de sol, de l'année et du terme multiplicatif (aptitude à la variabilité du travail du sol/type de sol  $\times$  aptitude à la variabilité de l'année  $\times$  volume global d'interaction). De plus, les rendements dans les procédés labour et cultivateur montrent une variabilité assez semblable dans les deux types de sol. La moyenne des rendements en labour est légèrement plus stable, mais plus faible aussi, que celle du procédé cultivateur. Ainsi, avec un facteur de risque assez semblable à celui du labour, le potentiel de rendement est plus intéressant avec le cultivateur pour la culture du colza.

**Dans le maïs** (fig. 10), il n'y a un effet significatif que pour le travail du sol/ type de sol et le terme multiplicatif. Le travail minimum affiche les rendements les plus stables et aussi la moyenne de rendement la plus élevée (près de cinq quintaux de plus que le labour) dans les deux sols.

**Dans le blé** (fig. 11), on peut constater l'influence du précédent cultural sur le rendement: la moyenne de rendement après colza est nettement supérieure à celle du blé suivant le maïs. De plus, il y a un effet significatif du travail du sol, de l'année et aussi du terme multiplicatif. Pour le blé après colza, le labour et le chisel sont les procédés avec les rendements les plus stables en sol argileux; la moyenne des rendements obtenus avec le chisel est toutefois légèrement plus élevée. En sol limoneux, c'est le travail minimum qui produit les résultats les plus stables ainsi que la moyenne des rendements la plus importante. Pour le blé suivant le maïs, c'est le labour qui présente les rendements les plus stables en sol argileux, tandis qu'en sol limoneux, c'est le cultivateur qui vient en tête, suivi de près par le labour.

**Sur l'ensemble de la rotation**, c'est le travail minimum qui, en sol limoneux, présente la stabilité de rendement la plus élevée, en plus d'une moyenne de rendement souvent supérieure à celle du labour. Cependant, en sol argileux, c'est plutôt le labour qui est en général plus stable mais avec un rendement souvent inférieur aux procédés de travail du sol sans labour.

En examinant de manière synthétique les figures 7 et 8, on peut distinguer trois périodes au cours desquelles les différences de rendement des procédés non labourés évoluent par rapport au labour. Les groupements de résultats figurant dans le tableau 3 mettent en évidence une première phase, de 1970 à 1978, où les différences moyennes sont minimes; dans la seconde phase, de 1979 à 1991, le non-labour est supérieur au labour de 9% en moyenne; dans la troisième phase, de 1992 à 2003, les différences sont de nouveau minimes, avec un résultat moyen pas meilleur que celui de la première phase.

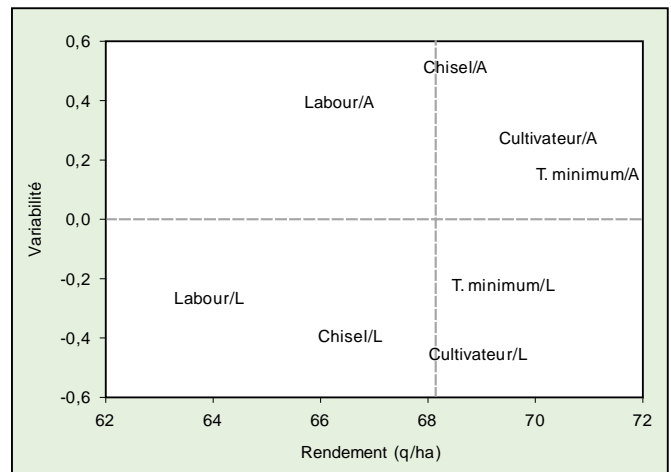


Fig. 10. Rendement et stabilité du rendement du maïs.

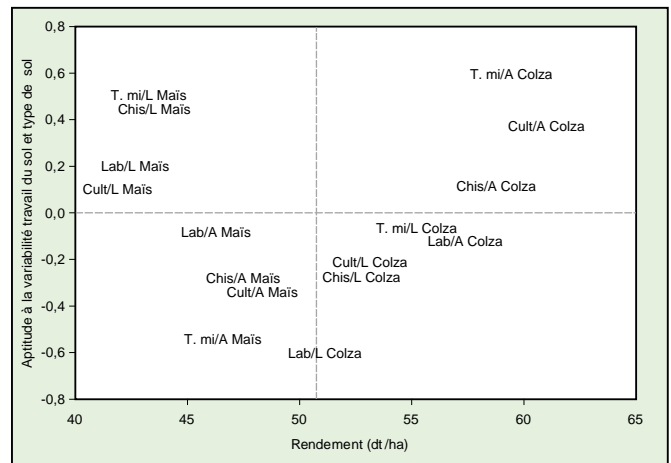


Fig. 11. Rendement et stabilité du rendement du blé suivant le colza ou le maïs.

Dans cette comparaison, ni le sous-solage, ni la fumure azotée complémentaire, ni l'incorporation des pailles ne jouent un rôle puisque les résultats pris en compte ne concernent que le sous-procédé de référence.

Tableau 3. Rendements relatifs moyens des procédés (pour le sous-procédé de référence) par groupes d'années.

	1970-1978	1979-1991	1992-2003	Moyennes pondérées
<b>Sol argileux</b>				
Labour	100,0	100,0	100,0	100,0
Chisel	101,7	106,0	97,3	101,8
Cultivateur	102,2	108,2	103,3	104,9
Travail minimum	102,8	107,3	96,8	102,4
<b>Sol limoneux</b>				
Labour	100,0	100,0	100,0	100,0
Chisel	102,9	108,3	102,5	104,8
Cultivateur	101,5	109,4	99,5	103,8
Travail minimum	99,8	115,0	97,6	104,8
<b>Moyenne des deux sols</b>				
Labour	100,0	100,0	100,0	100,0
Chisel	102,3	107,2	99,9	103,3
Cultivateur	101,8	108,8	101,4	104,3
Travail minimum	101,3	111,1	97,2	103,6
<b>Moyenne non-labour</b>	101,8	109,0	99,5	103,7

## Sous-procédés

Trois types de sous-procédés se sont succédé au cours de cet essai. Les résultats sont présentés dans la figure 12 et le tableau 4.

Le sous-solage tout d'abord (1969-1973) n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement en sol argileux et n'a été significatif qu'une année en sol limoneux (maïs en 1972); cette différence est vraisemblablement davantage liée à l'effet décompactant de la machine qu'à son effet drainant proprement dit. Aucune interaction entre le sous-solage et les procédés de travail du sol n'a été détectée.

Une fertilisation azotée renforcée a été

par la suite substituée au sous-solage (1974-1991); il s'en est suivi une augmentation de rendement généralement significative de 4,1% en moyenne avec le sol argileux et de 6,4% avec le sol limoneux, sans interaction significative toutefois avec les procédés de travail du sol, sauf en 1988 où la fertilisation azotée renforcée en sol argileux s'est révélée plus efficace sur les procédés non labourés.

L'incorporation des pailles est le dernier changement de sous-traitements intervenu (depuis 1992); il a provoqué une légère baisse de rendement – généralement non significative – d'environ 3% en moyenne pour les deux types de

sol. La gestion de la paille peut être problématique dans les procédés non labourés, spécialement lorsque le laps de temps entre la récolte de la céréale et le semis de la culture suivante est court, comme c'est le cas pour le colza d'automne suivant un blé. Des problèmes de bourrages ont d'ailleurs été rencontrés au semis dans les procédés de travail de sol réduit. L'utilisation d'un semoir à disques est indispensable pour limiter ce genre de problèmes.

## Relations avec les conditions climatiques de l'année

On prétend parfois que les avantages de la culture sans labour se manifestent particulièrement lors d'années très sèches ou très pluvieuses. Une analyse statistique fine, mettant en relation les différences de rendement des procédés non labourés et les différences de précipitations mensuelles par rapport à la moyenne de 30 ans, ne confirme pas cette hypothèse.

## Nombre de passages pour le travail du sol et le désherbage

Le nombre de passages des machines a été fidèlement recensé dans les rapports d'essais; il en a été de même pour les applications d'herbicides.

Le tableau 5 indique le nombre moyen de passages effectués pour chacun des procédés. Ainsi, le travail minimum est celui qui a nécessité le moins de passages (interculture + travail principal + préparation du lit de semence + semis), suivi, dans l'ordre croissant, par le cultivateur, le labour et le chisel pour les deux différentes textures de sol. Pour le désherbage, le nombre d'interventions annuelles croît dans l'ordre labour < chisel < cultivateur < travail minimum. Quant à la somme des interventions, l'ordre est le même que pour le travail du sol, soit: travail minimum < cultivateur < labour < chisel. Globalement, on recense trois interventions de moins pour le travail du sol minimum par rapport au chisel et 0,7 intervention de plus pour le désherbage dans les parcelles avec travail minimum que dans les parcelles labourées.

Dans le tableau 6, les résultats sont regroupés en trois périodes de durée à peu près équivalente. On constate que, au fil du temps, le nombre d'interventions pour le travail du sol a diminué

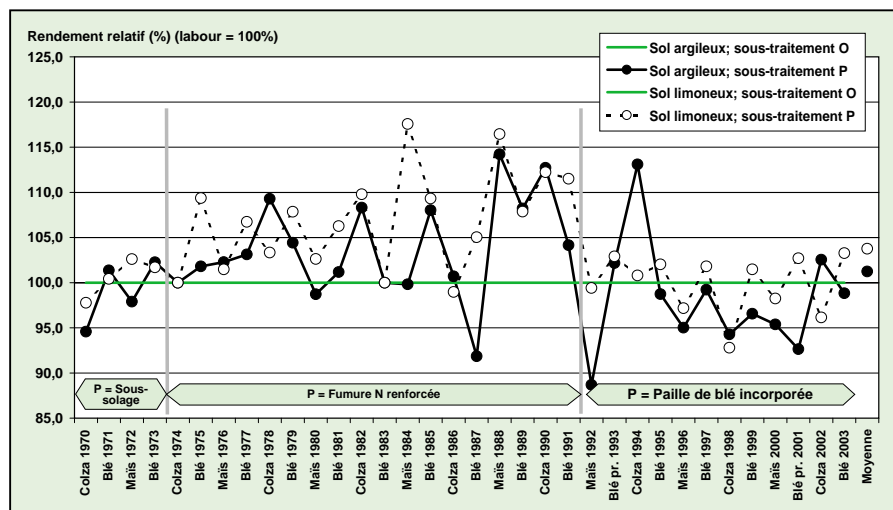


Fig. 12. Influence des sous-procédés sur le rendement des cultures.

Tableau 4. Rendements relatifs moyens des procédés et sous-procédés par groupes d'années selon la durée de mise en œuvre de ceux-ci.

Procédés	Sous-procédés	1970-1973		1974-1991		1992-2003	
		Drainage-taube		Fumure N renforcée		Paille de blé incorporée	
		Non (O)	Oui (P)	Non (O)	Oui (P)	Non (O)	Oui (P)
<b>Sol argileux</b>							
Labour		100,0	98,2	100,0	104,1	100,0	97,2
Chisel		107,0	103,7	103,6	106,0	97,3	97,4
Cultivateur		103,2	105,1	106,3	110,1	103,3	101,1
Travail minimum		101,2	99,7	106,4	112,3	96,8	94,5
Moyenne non-labour		103,8	102,8	105,4	109,5	99,1	97,6
<b>Sol limoneux</b>							
Labour		100,0	103,5	100,0	109,7	100,0	99,0
Chisel		105,6	106,1	106,2	114,2	102,5	102,3
Cultivateur		103,8	103,3	106,7	114,7	99,5	100,8
Travail minimum		97,9	95,7	111,2	114,4	97,6	96,1
Moyenne non-labour		102,4	101,7	108,0	114,4	99,9	99,7
<b>Moyenne des deux sols</b>							
Labour		100,0	100,9	100,0	106,9	100,0	98,1
Chisel		106,3	104,9	104,9	110,1	99,9	99,8
Cultivateur		103,5	104,2	106,5	112,4	101,4	100,9
Travail minimum		99,5	97,7	108,8	113,4	97,2	95,3
Moyenne non-labour		103,1	102,3	106,7	112,0	99,5	98,7



**Tableau 5. Nombre moyen d'interventions culturales par année pour le travail du sol et le désherbage.**

	Interculture	Travail principal*	Lit de semence**	Semis	Total travail du sol***	Sarclage	Herbicides sélectifs	Herbicides non sélectifs	Total désherbage	Total des interventions
<b>Sol argileux</b>										
Labour	0,6	1,0	2,5	1	<b>5,1</b>	0,06	1,5	0,2	<b>1,8</b>	<b>6,9</b>
Chisel	0,6	1,4	2,3	1	<b>5,3</b>	0,06	1,5	0,3	<b>1,9</b>	<b>7,2</b>
Cultivateur	0,6	1,1	2,1	1	<b>4,7</b>	0,06	1,5	0,4	<b>2,0</b>	<b>6,7</b>
Travail minimum	0,2	0,0	1,1	1	<b>2,3</b>	0,06	1,6	0,6	<b>2,3</b>	<b>4,5</b>
<b>Sol limoneux</b>										
Labour	0,6	1,0	2,4	1	<b>5,0</b>	0,09	1,6	0,2	<b>1,9</b>	<b>6,9</b>
Chisel	0,6	1,4	2,1	1	<b>5,1</b>	0,09	1,6	0,3	<b>2,0</b>	<b>7,1</b>
Cultivateur	0,6	1,1	2,0	1	<b>4,7</b>	0,09	1,6	0,4	<b>2,0</b>	<b>6,7</b>
Travail minimum	0,1	0,0	1,0	1	<b>2,2</b>	0,09	1,6	0,6	<b>2,3</b>	<b>4,4</b>

\*Selon procédés expérimentaux. \*\*Le travail en bandes fraisées a été considéré comme 1/3 de passage pour la préparation du lit de semence. \*\*\*Semis inclus.

d'une période à l'autre, tant pour le labour que pour le chisel et le cultivateur. Cette diminution est essentiellement liée à l'évolution des performances du matériel de préparation du lit de semence. Dans le travail du sol minimum, la tendance est apparemment inverse. En fait, elle est liée à la fréquence de mise en œuvre du semis direct: compte tenu des machines disponibles et de leur aptitude à être engagées dans des parcelles expérimentales, le semis direct a été plus fréquemment pratiqué dans les deux premières périodes de l'expérimentation que dans la troisième. A la rubrique désherbage, on constate une tendance générale à l'augmentation du nombre des interventions; la prolifération des mauvaises herbes thermophiles (millets, amarantes) dans le maïs n'est pas étrangère à ce phénomène.

## Coût des opérations de travail du sol et de désherbage

Les différents types de machines qui se sont succédé au cours des années ont été pris en compte en les assimilant à des machines actuelles dont l'action sur le sol est comparable. Le calcul des coûts de machines et de main-d'œuvre a été établi sur la base des matériels agricoles actuellement disponibles. Une évaluation du coût des procédés de travail du sol ne saurait être envisagée sans prendre le désherbage en considération. Le coût pris en compte pour les herbicides se base sur les prix et les doses d'utilisation des produits usités en 2004. L'estimation du coût moyen des opérations par année est présentée dans le tableau 7.

Au niveau du **travail du sol**, le procédé «travail minimum» est le plus économique avec une différence d'environ 500 francs par hectare (ou 60%) par rapport au labour classique. Le coût du

**Tableau 6. Nombre moyen d'interventions culturales par année pour le travail du sol et le désherbage.**

Type de sol	Sol argileux				Sol limoneux			
	1970-1980	1981-1991	1992-2003	1970-2003	1970-1980	1981-1991	1992-2003	1970-2003
<b>Labour</b>								
Travail du sol*	6,0	5,1	4,3	5,1	6,3	4,7	4,2	5,0
Désherbage	1,3	1,5	1,9	1,6	1,2	1,6	2,1	1,6
Total	7,3	6,6	6,2	6,7	7,5	6,4	6,3	6,7
<b>Chisel</b>								
Travail du sol*	6,0	5,7	4,3	5,3	6,2	5,2	4,2	5,1
Désherbage	1,7	1,8	2,2	1,9	1,6	1,9	2,3	2,0
Total	7,7	7,5	6,4	7,2	7,8	7,1	6,5	7,1
<b>Cultivateur</b>								
Travail du sol*	5,5	4,6	4,1	4,7	5,7	4,4	4,0	4,7
Désherbage	1,9	1,8	2,2	2,0	1,7	1,9	2,3	2,0
Total	7,5	6,5	6,3	6,7	7,5	6,3	6,3	6,7
<b>Travail minimum</b>								
Travail du sol*	1,9	2,0	2,9	2,3	1,7	1,9	2,8	2,2
Désherbage	2,2	2,3	2,3	2,3	2,0	2,4	2,4	2,3
Total	4,1	4,3	5,2	4,5	3,7	4,3	5,2	4,4

\*Semis inclus.

**Tableau 7. Coût du travail du sol et du désherbage: moyennes 1969-2003. Machines et main-d'œuvre selon tarif FAT 2004. Herbicides aux prix moyens 2004.**

	Labour	Chisel		Cultivateur		Travail minimum	
	Fr./ha	Fr./ha	Δ*	Fr./ha	Δ*	Fr./ha	Δ*
<b>Sol argileux</b>							
Travail du sol	833	831	-2	582	-251	341	-492
Désherbage	396	417	21	428	32	482	86
Total	1229	1248	19	1010	-219	823	-406
<b>Sol limoneux</b>							
Travail du sol	822	816	-6	586	-236	320	-502
Désherbage	402	423	+21	428	+26	477	+75
Total	1224	1239	+15	1014	-210	797	-427
<b>Sol argileux</b>							
Valeurs relatives							
Travail du sol	100	100		70		41	
Désherbage	100	105		108		122	
Total	100	102		82		67	
<b>Sol limoneux</b>							
Valeurs relatives							
Travail du sol	100	99		71		39	
Désherbage	100	105		106		119	
Total	100	101		83		65	

\*Δ = différence par rapport au procédé «labour».

procédé «chisel» est comparable à celui du labour, tandis que celui du procédé «cultivateur» est en moyenne de 240 fr. (ou 30%) inférieur à celui du labour, se positionnant ainsi à mi-chemin entre «labour» et «travail minimum».

Le coût du **désherbage** est un peu plus élevé en non-labour: 20 fr./ha pour le chisel, environ 30 fr./ha pour le cultivateur et quelque 80 fr./ha pour le travail minimum. Le surcoût lié au désherbage n'entame cependant que partiellement les avantages dégagés par le travail du sol.

Le coût de la lutte contre les limaces n'a pas été pris en compte, ce facteur n'ayant pas été différencié selon les procédés de travail du sol. L'expérience pratique montrant que la culture sans labour nécessite généralement une intervention contre les limaces, il faudrait imputer à cette technique un coût supplémentaire de 40 fr./ha, correspondant à une application tous les deux ans, sur colza et sur maïs.

## Discussion

### Labour ou non-labour?

De nombreux travaux de recherches ont été réalisés sur la culture sans labour, menant à différentes conclusions concernant le rendement des cultures. CHRISTIAN et BACON (1990), entre autres, ont démontré que le labour, le travail au cultivateur et le semis direct donnaient tous des rendements similaires. En France, un essai de longue durée installé à Boigneville en 1970, comparant le semis direct et le labour dans une rotation blé-maïs, aboutit à des constatations similaires (LABREUCHE, 2002a; TIERS, 2002). HARGROVE (1985) est arrivé à de meilleurs rendements en maïs par le semis direct comparativement au travail du sol classique. Il a expliqué ses résultats sur la base d'une meilleure infiltration et utilisation de l'eau dans le semis direct. L'action favorable exercée par le chisel, ou dans une moindre mesure par le cultivateur, plus particulièrement en sol limoneux, est confirmée par les observations de LABREUCHE (2002b) sur le décompactage. D'autres travaux aboutissent à des résultats moins favorables, notamment ceux qui ont été effectués en Suisse à Tänikon (ANKEN *et al.*, 1997), où les rendements obtenus avec un travail minimum du sol ou un semis direct dans un sol lourd et peu perméable étaient significativement plus faibles qu'avec le labour. Par contre, sur un sol moyennement lourd et mieux drainé, les rendements de la culture sans labour étaient très proches de ceux du labour

classique. Des résultats semblables ont été observés par DICK et VAN DOREN (1985), qui ont obtenu de meilleurs rendements en semis direct qu'avec le labour dans un sol en pente bien drainé, le contraire dans un sol mal drainé et des résultats variables dans un sol avec des conditions de drainage moyennes. Pour ARSHAD *et al.* (1999), les rendements en blé avaient tendance à être meilleurs avec un semis direct qu'avec un travail classique (dans ce cas, chisel à 12-15 cm + deux passages de herse à disques) dans les années à faibles précipitations. Ils expliquent cet avantage par une meilleure rétention de l'eau dans le sol, les racines disposant ainsi de réserves plus abondantes pour le développement des plantes; en revanche, dans les années humides, le sol travaillé a été avantagé.

Une pluviométrie défavorable à un stade de développement critique peut avoir d'importantes conséquences sur le rendement. Par exemple, la piètre performance des procédés de non-labour notée à Changins en 2001 a vraisemblablement été causée par une pluviosité particulièrement abondante (plus de 300 mm) juste après la mise en place de la culture. Ainsi, la macroporosité fraîchement créée par le labour de printemps a été un avantage, permettant un ressuyage plus rapide de la parcelle, particulièrement dans le sol argileux. Il est cependant difficile d'établir une relation systématique entre les rendements et les précipitations, ou les déficits hydriques, d'autant plus que la répartition dans le temps et l'importance relative de ces facteurs climatiques varient fortement d'une année à l'autre. De plus, d'autres facteurs climatiques peuvent influencer le développement des cultures.

Selon COSPER (1983), la plupart des mauvais rendements attribués au travail de conservation des sols ont été associés à des sols présentant des limitations physiques comme les problèmes de drainage, le niveau d'humidité du sol, la quantité et la fréquence des pluies.

De l'abondante littérature rassemblée par HUGON (2004), on tire la conclusion que, dans des conditions pédoclimatiques plus ou moins comparables à celles de notre essai, les rendements engendrés par la culture sans labour sont généralement équivalents, parfois légèrement supérieurs au labour dans la mesure où il n'y a pas de tassements du sol intempestifs et surtout dans la mesure où le drainage naturel est suffisamment efficace.

L'évolution du rendement des procédés non labourés de l'essai de Changins au cours des années (tabl. 3) soulève des

interrogations. Dans la première phase, on peut admettre que des machines moins performantes que celles d'aujourd'hui et l'absence d'herbicides non sélectifs efficaces (le glyphosate et le glufosinate n'étaient pas encore disponibles) ne permettaient pas de réaliser la culture sans labour de manière optimale. Dans la seconde phase, où les rendements du non-labour surpassent ceux du labour de 6 à 15%, on voit que les possibilités de désherbage se sont sensiblement améliorées et que la mise en place des cultures sans labour a été mieux maîtrisée. Mais que faut-il penser de la troisième phase où les procédés de non-labour donnent à nouveau des rendements quasiment équivalents à ceux du labour? Selon toute vraisemblance, mais c'est difficile à prouver car plusieurs paramètres sont en cause, ce phénomène est la conséquence d'une amélioration du labour (!). Les principaux acquis sont le labour et la préparation du lit de semences au moyen de tracteurs à quatre roues motrices équipés de pneus larges (600/65 R38 à l'arrière, 480/65 R28 à l'avant) à basse pression (0,8 bar), un labour moins profond (maximum 25 cm contre 30 cm auparavant), avec une charrue à trois socs au lieu de deux, et une préparation du lit de semences en un seul passage (parfois deux en sol argileux) au moyen de herse rotatives efficaces – à axes verticaux ou à axe horizontal selon les conditions de sol – remplaçant jusqu'à six passages successifs de diverses machines lorsqu'on ne disposait que de matériels non animés par la prise de force. Cette amélioration du labour rejoint partiellement les observations de KOUWENHOVEN *et al.* (2002) et ESCOFFIER (2002) qui ont obtenu des résultats très favorables en réalisant des labours à une profondeur de 15 à 20 cm seulement au moyen de charrues de construction spécialement adaptée. Il y aurait donc encore une marge de progrès possible dans ce domaine.

Quant à l'adaptation des espèces cultivées à la culture sans labour, l'élément-clé réside dans la réussite de la mise en place de la culture. En terre argileuse, le colza est moins performant que le maïs ou le blé, probablement à cause de ses exigences en matière de lit de semence, plus difficile à maîtriser dans ce type de sol. En revanche, en terre limoneuse, l'avantage du colza est net pour autant que la structure du sol ait été régénérée (chisel ou cultivateur). Un blé après colza est plus facile à installer qu'un blé après maïs, quel que soit le type de sol; le rendement est au moins équivalent à celui que l'on obtient avec le labour classique avec, cependant, un

certain avantage pour le blé après colza. Le maïs se comporte de manière positive dans les procédés non labourés quels qu'ils soient, en terre argileuse, tandis qu'il réagit de manière favorable à la préparation au cultivateur en terre limoneuse.

## Le sous-solage

Les références en matière de sous-solage ou de drainage-taupe en conditions pédo-climatiques comparables ne sont pas nombreuses. Cette mesure culturale profonde ne se justifie que lorsque le drainage naturel est insuffisant. Si un sous-solage doit être effectué, les travaux du sol subséquents doivent ménager la structure temporairement déstabilisée; un travail du sol peu profond est alors particulièrement indiqué (VEZ, 1977).

## Fumure azotée

On n'a pas noté d'interaction entre les procédés de travail du sol et la fumure azotée, qu'elle ait été normale ou renforcée. Ainsi, les résultats montrent que, dans les conditions qui prévalent sur cette parcelle, il n'est pas nécessaire d'augmenter les apports d'azote avec la diminution du travail du sol. Toutefois, il peut être nécessaire de répartir différemment les apports d'azote en assurant notamment une disponibilité suffisante dès la mise en terre de maïs en semis direct par exemple (STURNY *et al.*, 2001) pour pallier le retard de minéralisation de l'azote du sol.

## Gestion de la paille de blé

Le rendement des différents procédés de travail du sol n'a pas présenté d'interaction non plus avec le mode de gestion des pailles de blé, que celles-ci aient été récoltées ou incorporées, à l'exception de l'année 1998 en sol limoneux où les pailles incorporées ont eu un effet défavorable dans les procédés sans labour. En application pratique, l'incorporation des pailles de blé serait accompagnée d'une majoration de la fumure azotée sur la culture suivante de 20 kg N/ha (selon RYSER *et al.*, 2001), quel que soit le procédé de travail du sol.

## Remerciements

Plusieurs collaborateurs d'Agroscope RAC Changins, en plus de ceux qui sont mentionnés dans l'article, ont contribué de près ou de loin à la bonne marche de cette expérimentation. Nous les remercions tous de leur précieuse collaboration. Notre gratitude va également à A. Vez, qui a mis cet essai en

## Conclusions

Après trente-quatre ans de comparaison continue entre trois techniques de culture sans labour et le labour classique sur le même site, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- ❑ Sur une rotation blé d'automne - maïs grain - blé d'automne - colza d'automne, les trois méthodes de culture sans labour conduisent, en moyenne générale, à des rendements comparables.
- ❑ Cependant, en terre argileuse, le procédé travaillé au cultivateur montre un léger avantage sur les deux autres.
- ❑ Tandis qu'en sol limoneux, c'est le chisel et le cultivateur qui viennent en tête, avec un avantage plus net qu'en sol argileux, démontrant l'intérêt d'une régénération de la structure dans ce type de sol.
- ❑ Le travail minimum ou le semis direct donnent en moyenne des rendements équivalents à ceux du labour, mais qui présentent une stabilité supérieure. Toutefois, la limite de capacité d'absorption de grandes quantités de pluie des deux premiers procédés peut être atteinte avant celle du labour.
- ❑ En terre argileuse, le maïs et le blé se comportent bien sans labour. La maîtrise de l'installation du colza est, en revanche, plus difficile dans ces conditions.
- ❑ En terre limoneuse, les meilleurs résultats sont obtenus avec le colza, suivi du maïs, du blé après colza et finalement du blé après maïs.
- ❑ La qualité du labour et de la préparation du lit de semence qui suit a été améliorée au fil des années, notamment par une diminution de la profondeur de labour et par la réduction du nombre de passages de machines avec des tracteurs mieux équipés.
- ❑ Le sous-solage n'est justifié que si le drainage naturel est insuffisant. Il doit être suivi de travaux du sol peu profonds.
- ❑ La culture sans labour ne nécessite aucun renforcement de la fumure azotée.
- ❑ L'incorporation des pailles de blé est compatible avec la culture sans labour dans la mesure où cette paille est bien répartie et où le matériel de semis est bien adapté.
- ❑ En termes de coûts, la culture sans labour, le travail minimum ou le semis direct en particulier permettent des économies substantielles au chapitre du travail du sol.
- ❑ Sur le plan de la protection des cultures, le non-labour entraîne en moyenne 0,5 traitement herbicide par an de plus que le labour. Il convient de prendre en compte également une application de granulés contre les limaces sur le colza et le maïs.

place et l'a piloté jusqu'en 1980, ainsi qu'à A. Maillard qui en a assumé la responsabilité de 1981 à 1993. Merci également à M. Bertossa pour la traduction du résumé en italien.

## Bibliographie

- ANKEN T., HEUSSER J., WEISSKOPF P., ZIHLMANN U., FORRER H.-R., HÖGGER C., SCHERRER Caroline, MOZAFAR A., STURNY W. G., 1997. Systèmes de travail du sol - Le semis direct impose des contraintes élevées. *Rapports FAT* **501**, 1-12.
- ARSHAD M. A., FRANZLUEBBERS A. J., AZOOZ R. H., 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in Northwestern Canada. *Soil and Tillage Research* **53**, 41-47.
- Anonyme, 2004. Coûts-machines 2004. *Rapports FAT* **603**, 1-44.
- BOONE F. R., STAGER S., MIEDEMA R., ELEVELD R., 1976. Some influences of zero-tillage on the structure and stability of a fine textured river levee soil. *Neth. J. Agric. Sci.* **24**, 105-119.
- CHANG C., LINDWALL C. W., 1989. Effect of long-term minimum tillage practices on some physical properties of a chernozemic clay loam. *Canadian Journal of Soil Science* **69**, 443-449.
- CHRISTIAN D. G., BACON E. T. G., 1990. A long-term comparison of ploughing, tine cultivation and direct drilling on the growth and yield of winter cereals and oilseed rape on clayey and silty soils. *Soil and Tillage Research* **13**, 311-331.
- COSPER H. R., 1983. Soil suitability for conservation tillage. *Journal of Soil and Water Conservation* **38**, 152-155.
- DECOUX G., DENIS J. B., 1991. Intera, logiciel pour l'interprétation statistique de l'interaction entre deux facteurs. Laboratoire de biométrie, INRA, route de Saint-Cyr, 78026 Versailles Cedex.
- DICK W. A., VAN DOREN D. M. Jr., 1985. Continuous tillage and rotation combination effect on corn, soybean and oat yields. *Agronomy Journal* **77**, 459-465.
- ESCOFFIER Isabelle, 2002. Limiter la dilution de la matière organique du sol. *La France agricole* **2928**, 29.
- FRANZLUEBBERS A. J., HONS F. M., 1996. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no tillage. *Soil and Tillage Research* **39**, 229-239.
- GOMEZ K. A., GOMEZ A. A., 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons, New York, 680 p.
- HORNE D. J., ROSS C. W., HUGHES K. A., 1992. Ten years of a maize/oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. 1. A comparison of some soil properties. *Soil and Tillage Research* **22**, 131-143.
- HUGON F., 2004. Approche globale du non-labour. Mémoire de fin d'études, ISARA Lyon.
- KOUWENHOVEN J. K., PERDOK U. D., BOER J., OOMEN G. J. M., 2002. Soil management by

- shallow mouldboard ploughing in The Netherlands. *Soil & Tillage Research* **65** (2), 125-140.
- LABREUCHE J., 2002a. Améliorer les techniques d'implantation. Rapport d'activité ITCF 2001-2002, 26-27.
- LABREUCHE J., 2002b. Décompactage: restructurer le sol quand les cultures l'exigent. *Perspectives agricoles* **282**, 23-39.
- MAILLARD A., VEZ A., 1993. Résultats d'un essai de cultures sans labour depuis 20 ans à Changins: I. Rendement des cultures, maladies et ravageurs. *Revue suisse Agric.* **9** (2), 59-70.
- RYSER J.-P., WALTHER U., FLISCH R., 2001. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse Agric.* **33** (3), 1-80.
- STURNY W. G., HOFER P., CHERVET A., PROVIDOLI Isabelle, 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Erfahrungen und Beobachtungen. *Agrarforschung* **8** (1), I-VI.
- TEBBRÜGGE F., DÜRING R.-A., 1999. Reducing tillage intensity – a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* **53**, 15-28.
- TIERS Nathalie, 2002. TCS et fonctionnement du sol et des cultures: l'ITCF donne sa version du non-labour. *Cultivar* **543**, 24-25.
- VEZ A., 1977. Dix ans d'expérience de cultures sans labour. *Revue suisse Agric.* **9** (2), 59-70.
- VEZ A., 1982. Influence of different soil tillage implements on yields and on some chemical and physical soil properties in a long-term experiment. In: Proceeding 9th ISTRO Conference, 1982, Osijek, Yugoslavia.

## Summary

### Results of a 34-year ploughless tillage experiment at Changins (1970-2003)

A tillage experiment was set up in 1969 at the Swiss federal agronomic research Station of Changins to investigate the long-term effects of different ploughless tillage treatments. A crop rotation of winter wheat, winter oil seed rape, winter wheat and maize was grown on a loamy soil and on a clay humic soil. Three ploughless techniques were compared to conventional mouldboard ploughing: deep cultivation with a chisel plough (25-30 cm depth), shallow cultivation with a cultivator (10-15 cm) and minimum tillage with a rotary harrow (5-7 cm depth); instead of the minimum tillage, direct drilling (wheat and rape) and strip tillage (maize) were occasionally performed. Up to now ploughless treatments generated slightly higher yields (about 5%) than conventional ploughing. Neither subsoiling nor straw incorporation did influence crop yields significantly. Reinforced nitrogen fertilization improved crop yields but did not generate any interactions with the main soil tillage treatments.

Higher yields have been performed by the cultivator on the clay soil whilst the better yield stability has been achieved by the conventional ploughing at a lower yield level. Chisel plough and cultivator are ahead in matter of yield on the loamy soil. Minimum tillage achieved the better yield stability but at a lower yield level, just above that of the ploughed treatment.

In terms of production costs, mouldboard plough and chisel plough based systems reached quite the same level for all tillage operations. On average, savings reached 60% with minimum tillage and 30% with cultivator. On the contrary, costs for weed control were higher for all ploughless treatments: about 20% for minimum tillage and 5 to 8% for chisel plough and cultivator.

**Key words:** winter oilseed rape, winter wheat, maize, conservation tillage, yield, subsoiling, N-fertilisation, straw management, weed control, costs calculations.

## Zusammenfassung

### 34 Jahre pflugloser Anbau in Changins: Ergebnisse 1970-2003

Um die Langzeitwirkung des pfluglosen Anbaus zu untersuchen werden seit nun 34 Jahren verschiedene Anbauverfahren ohne Pflug auf einem Tonboden und auf einem Schluffboden in Changins (VD, 430 m.ü.M.) mit dem traditionellen Pflug verglichen. Das Pflügen (ca. 25 cm tief) ist das Referenzverfahren; der Tiefgrubber lockert den Boden 25-30 cm tief und der Schälgrubber 10 bis 15 cm tief; die minimale Bodenbearbeitung (Rotoregge 7-10 cm tief) wurde gelegentlich durch die Direktsaat ersetzt. Zusätzlich wurde der Einfluss der Maulwurfsdrainage, einer verstärkten Stickstoffdüngung und der Weizenstroheinarbeitung untersucht.

Im Schnitt der 34 Jahre erwiesen sich die Erträge der pfluglosen Verfahren um etwa 5% dem Pflug überlegen. Weder die Maulwurfsdrainage noch die Stroheinarbeitung haben eine Wechselwirkung mit den Haupt-Bearbeitungsverfahren gezeigt. Die zusätzliche Stickstoffdüngung hat wohl den Ertrag leicht erhöht, aber ohne signifikante Wechselwirkung mit den Bearbeitungsverfahren.

Auf dem Tonboden lieferte das Verfahren mit dem Schälgrubber den besten Ertragsdurchschnitt. Das gepflügte Verfahren zeigte doch die bessere Ertragsstabilität aber mit einem tieferen Ertragsniveau.

Auf dem Schluffboden erreichten Tiefgrubber und Schälgrubber die besseren Ertragsdurchschnitte. Die bessere Ertragsstabilität zeigte jedoch die minimale Bodenbearbeitung, zwar mit einem knapp über dem Pflugverfahren liegenden Ertragsniveau.

In Bezug auf Verfahrenskosten liegen Pflug und Tiefgrubber nah beieinander. Die minimale Bodenbearbeitung erlaubt im Durchschnitt eine Einsparung von 60%, der Schälgrubber 30% gegenüber dem Pflug. Für die Unkrautbekämpfung liegen die Kosten im Schnitt etwas höher bei den ungepflügten Verfahren: um 20% bei der minimalen Bodenbearbeitung und 5 bis 8% beim Schälgrubber und beim Tiefgrubber.

## Riassunto

### Risultati di 34 anni di lavorazione del suolo senza aratura a Changins I. Evoluzione delle rese

A Changins (VD, 430 m) è in atto da 34 anni una prova a lungo termine in campo con lo scopo di verificare gli effetti di differenti metodi di lavorazione del suolo senza aratura, sia su suolo argilloso che limaccioso.

L'aratura (lavorazione classica a ca. 25 cm) viene paragonata alla lavorazione col coltivatore pesante (Chisel), lavorazione profonda a 25-30 cm), alla lavorazione col coltivatore semplice (alla profondità media di 10-15 cm) e alla lavorazione minima (erpice rotativa a 7-10 cm), talvolta rimpiazzato dalla semina diretta. Inoltre è stato occasionalmente valutato l'effetto della ripuntatura, di una concimazione azotata maggiorata e della conservazione della paglia sul campo.

Finora i procedimenti di lavorazione senza aratura hanno generato delle rese leggermente superiori (ca. 5% in media generale) rispetto a quelli con l'aratro. Né la ripuntatura, né la conservazione della paglia hanno influenzato le rese delle colture, ma è accertato che la concimazione azotata maggiorata ha incrementato le rese senza pertanto poter constatare un'interazione con i procedimenti di lavorazione del suolo.

Su suolo argilloso le rese maggiori sono state in media raggiunte con la lavorazione al coltivatore. L'aratura ha fornito in generale rese più stabili anche se sovente inferiori alle varianti senza aratura.

Nel suolo limaccioso, il coltivatore e il «Chisel» sono in testa per quanto concerne la media delle rese, ma è stata la lavorazione minima a presentare una stabilità maggiore della resa con una media di produzione leggermente superiore a quella dell'aratura.

In termini di costi di produzione per la lavorazione del suolo, i procedimenti di aratura e «Chisel» sono molto simili; la lavorazione minima permette un risparmio medio del 60% e quella col coltivatore del 30%. Per quanto riguarda il diserbo, i costi dei procedimenti senza aratura sono maggiori del 20% per la lavorazione minima, e da 5 a 8% per il «Chisel» e il coltivatore.