

Systèmes de travail du sol

Le semis direct impose des contraintes élevées

Thomas Anken et Jakob Heusser, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 Tänikon

Peter Weisskopf, Urs Zihlmann, Hans-Rudolf Forrer, Christoph Högger et Caroline Scherrer, Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL), CH-8046 Zürich

Alex Mozafar, Institut de sciences végétales, Ecole polytechnique fédérale, CH-8092 Zürich

Wolfgang G. Sturny, Service de la protection des sols du canton de Berne, CH-3052 Zollikofen

Cinq procédés de travail du sol ont été comparés à Tänikon, à deux endroits différents. Sur sol moyennement lourd avec bonne perméabilité, les procédés sans labour se sont révélés les meilleurs quant aux rendements. Sur sol lourd et peu perméable, le labour a permis des rendements plus élevés. Moins le sol est travaillé, plus les exigences en matière de technique culturale sont élevées. La charrue pose les exigences les plus faibles en matière de

technique culturale et de régulation des adventices. Dans le cas du semis direct, sans préparation préalable du sol, les résidus de récolte, les adventices, le tassement du sol et les limaces ont entraîné des difficultés non négligeables dont il est cependant possible de venir à bout. La plupart des intérêts de la protection de l'environnement sont souvent mal compatibles avec ceux de la technique culturale. En effet, moins le sol est travaillé, moins les

risques d'érosion et de ruissellement sont élevés. En revanche, le développement des vers de terre, des champignons (mycorhizes), etc., se trouve facilité. Les procédés limitant le travail du sol causent les frais variables les plus faibles par hectare. Les coûts fixes importants des machines spéciales comme les semoirs destinés au semis direct imposent un taux d'utilisation élevé pour rester concurrentiel. Les essais ont démontré que les procédés sans labour peuvent être mis en œuvre avec succès, même dans les conditions climatiques et pédologiques exigeantes qui prévalent à Tänikon.



Fig. 1. Le semis direct permet la mise en place d'une culture en un seul passage sans préparation préalable du sol. Par rapport au labour, les rendements sont identiques pour autant que la technique soit bien maîtrisée. Cela demande davantage de compétences au chef d'exploitation.

Sommaire	Page
Problématique	2
Installation d'essai	2
Propriétés des systèmes et plantes adventices	3
Propriétés du sol	5
Rendements et densité de peuplement	7
Organismes utiles et nuisibles	9
Considérations économiques	11
Conclusions	13
Bibliographie	14

Problématique

La culture intensive, qui implique une utilisation fréquente de la charrue, peut avoir des incidences négatives sur l'environnement. L'érosion du sol, le ruissellement et le lessivage de nitrates en sont quelques exemples. La réduction du travail du sol permet de limiter, voir d'éliminer complètement les conséquences négatives des grandes cultures. Malheureusement, les avantages de la réduction ou de la suppression du travail du sol sont liés à des exigences accrues quant à l'agriculteur. Les méthodes sans labour ne se pratiquent pas telle une recette de cuisine! Les problèmes de bourrage lors de la préparation du lit de semences et du semis, ainsi que la régulation de la flore d'adventices, constituent les raisons principales expliquant le succès mitigé de ces méthodes dans la pratique. Le but de la comparaison des méthodes de travail du sol, commencée en 1987, consiste à vérifier la faisabilité et les effets à moyen terme de ces différentes méthodes sur les plans agronomique et des paramètres relatifs à la chimie, la physique et la biologie du sol.

Tableau 1. Propriétés des différents lieux d'essai

	Hausweid	Langwiese
Type de sol	Limon sableux	Limon argileux
Classification	Sol brun	Sol brun lessivé
Argile %	16 %	35 %
Silt %	31 %	35 %
Sable %	48 %	25 %
Humus %	5 %	5 %
Teneur en pierres	Haute	Faible
Perméabilité	Bonne	Mauvaise

La charrue bi-soc (Althaus), équipée de versoirs universels (fig. 2), labourait en moyenne à 25 cm de profondeur. La herse rotative à axe horizontal (RAU, fig. 3) possédait 53 dents pour 3 m et un rouleau Packer comme outil suiveur. La vitesse de travail correspondait à 4-5 km/h avec un nombre de tours de 250 t/min. Le décompacteur à dents obliques (Paraplow Howard, 3 socs, fig. 4) travaillait jusqu'à 35 cm. Le décompacteur à ailettes de 45 cm de large (Althaus) ameublissait le sol à une profondeur de 25 à 30 cm. Le semis combiné avec fraise a été réalisé jusqu'en 1993 par la combinaison d'outils Howard Sämavator. Ensuite, elle a été remplacée pour les céréales

et le colza par une combinaison d'outils comprenant une herse rotative à axe horizontal Rau et un semoir Amazone D8 Super. Le semis combiné avec fraise des betteraves sucrières et du maïs s'est fait au moyen d'une fraise à bandes Gaspardo No till 1040 jusqu'en 1990, puis avec une fraise à bandes Oekosem de la firme Althaus pour le maïs. Le semoir pour semis direct Amazone NT 250 (fig. 1) a permis de semer le colza et les céréales. Le maïs et les betteraves à sucre ont été mis en place grâce au semoir monograine Accord Optima équipé d'un soc à étraves.

Toutes les parcelles ont été partagées longitudinalement en deux moitiés jusqu'en 1995. Sur l'une des moitiés, la paille hachée restait au sol, sur l'autre, elle était évacuée. L'installation d'essai correspondait au design Split-Plot avec quatre répétitions.

La parcelle Hausweid se laisse travailler le plus souvent dans de bonnes conditions en raison de sa perméabilité. La parcelle Langwiese n'offre que rarement des conditions optimales en raison de sa teneur élevée en argile et les conditions sont souvent humides. Il s'agit manifestement d'un endroit limite quant aux grandes cultures, en raison de la structure du sol (granulométrie fine, compacité élevée, humidité persistante) et des précipitations annuelles de quelque 1180 mm.

Installation d'essai

Procédés, propriétés du sol et assolement

Cinq différents procédés de travail du sol ont été comparés à la FAT (tab. 1). Les machines suivantes ont servi à la préparation du sol et du lit de semences:

1. Charrue, 1 x herse rotative
2. Décompacteur à dents obliques, 1 x herse rotative
3. Décompacteur à ailettes, 1 x herse rotative
4. Semis combiné avec fraise
5. Semis direct



Fig. 2. La charrue se laisse employer selon une «recette» bien connue. Elle ameublisse la partie supérieure du sol de manière très intensive, enfouit les résidus de récolte et autres plantes, ce qui permet une mise en place sans problème de la culture suivante. Elle est cependant moins avantageuse quant à la protection de l'environnement.



Fig. 3. La herse rotative à axe horizontal se prête aussi bien sur sol préparé (gauche) ou non préparé (droite). Cette machine a préparé l'ensemble des lits de semences, à l'exception du semis direct.



Fig. 4. Les décompacteurs à ailettes (gauche) et à dents obliques (droite) ameublissent le sol sans le retourner. Cela ménage les vers de terre et la structure du sol. Ces appareils ne permettent un ameublissement convenable qu'en conditions sèches.

L'assolement sur quatre ans «Blé d'automne-maïs-blé d'automne-colza» a été modifié en remplaçant le colza par des betteraves sucrières en 1990 puis, en raison de l'automne particulièrement humide de 1993, le blé d'automne a été remplacé par du blé de printemps.

La fumure a été appliquée sur toutes les parcelles de manière uniforme selon les directives en la matière (Walther et al. 1987). Le premier amendement azoté a été fait de façon précoce afin de ne pas préteriter les procédés sans labour du fait de la minéralisation plus lente. La fumure azotée a été réalisée de manière uniforme en raison de la difficulté d'apprécier celle-ci pour les méthodes impliquant un travail réduit du sol.

Propriétés des systèmes et plantes adventices

Le labour permet un semis plus simple

La charrue ameublisse le sol et enfouit les résidus de récolte et les adventices. En ce qui concerne le semis, cette méthode est sans conteste la moins exigeante. En faisant «table rase», la préparation du lit de semences et le semis se réalisent sans aucun bourrage ni problème. Les parcelles labourées sèchent toujours le plus rapidement en surface. Ce processus est accéléré du fait que le sol n'est pas recouvert de résidus de récolte et que le labour agrandit la surface du sol. Cela est particulièrement avantageux sur le

sol lourd de la parcelle Langwiese. Les parcelles cultivées en semis direct ou en semis combiné avec fraise demandent davantage de temps de séchage avant le semis. En cas de mauvaises conditions atmosphériques, cela pose des problèmes. Sur la parcelle Langwiese, le semis a pu se réaliser dans de bonnes conditions après labour alors que cela n'a pas été le cas avec les autres méthodes, le sol étant souvent trop humide. Cela explique également pourquoi le peuplement s'est révélé meilleur avec labour. La couverture du sol avec de la paille ne ralentit pas seulement le séchage, mais également son réchauffement. Des travaux de l'université de l'IOWA (Hoffmann 1996) recommandent, en conséquence, de travailler les sols lourds de façon superficielle afin de favoriser le développement des cultures jeunes. En ce

Tableau 2. Couverture de végétation sur les deux parcelles à trois moments de prise de données différents

		Diverses				Graminées					Dicotylédones					Lég.	
		Couverture morte	Colza	Blé d'automne	Prêle des champs	Raygras	Paturins	Chiendent	Milliet	Diverses graminées	Rumex, laiteron, liseron	Renouée, morelle	Véronique	Capselle bour. past. mouron des oiseaux	Arroche étalée	Diverses	Trèfle violet, rampant
Hausweid																	
20.05.92 avant maïs	Charrue	0	0	0,3	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	1,3	0	0	0
	Déc. à ailettes	8,8	0	43,0	0	3,0	26,0	0	0	0	1,3	0	0	16,0	0	0,5	0
	Semis direct	18,8	0	24,0	0	13,0	26,5	0	0	3,8	2,5	0	0	3,5	0	4,0	1,3
12.08.94 après colza	Charrue	-	20,0	0	0	0,3	12,5	1,5	3,5	0	4,8	6,8	0	0,3	4,5	6,7	11,5
	Déc. à ailettes	-	16,8	0	0	0,3	22,5	0,8	4,8	0	4,3	5,7	0	0,1	6,0	4,0	7,8
	Semis direct	-	12,5	0	0	0	15,8	10,5	19,3	0	0,6	9,8	0	0,1	2,4	4,5	4,0
19.03.97 en blé	Charrue	1,3	0	70,0	0	1,0	1,0	0	0	0	0	0	0	1,8	0	1,0	0
	Déc. à ailettes	12,5	0	70,0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	2,3	0	1,0	0
	Semis direct	40,0	0	56,3	0	1,3	1,8	0,3	0	0	0,5	0	0	0,3	0	1,0	0,3
Langwiese																	
20.05.92 avant maïs	Charrue	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	1,3	0	13,0	0,8	0	0	0
	Déc. à ailettes	23,0	0	33,0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	26,0	0	0	2,3	0
	Semis direct	25,0	0	19,0	0	18,0	26,8	0	0	0,5	3,0	0	3,0	0	0	0	0
12.08.94 après colza	Charrue	-	11,3	0	2,5	1,4	2,7	0,3	16,3	0	0,1	19,5	0	0	0	8,6	0
	Déc. à ailettes	-	10,2	0	7,5	5,0	3,0	1,3	13,8	0	0	14,5	0	0	0	8,4	0,3
	Semis direct	-	2,1	0	10,0	30,3	1,8	8,5	36,3	0	0,3	2,2	0	0	0	2,2	0
02.04.1997 en blé	Charrue	0	0	72,0	0	0	1,3	0	0	0	0	0	1,8	1,0	0	0,8	0
	Déc. à ailettes	4,0	0	71,0	0	3,0	2,8	0	0	0	0	0	4,5	1,3	0	2,1	0
	Semis direct	29,0	0	25,0	0	15,5	11,3	1,5	0	0	0	0	1,8	0,5	0	1,0	0,3

qui concerne la technique de semis, l'utilisation d'un soc à disque (Amazonne) a permis une mise en place satisfaisante de la semence même en cas de forte présence de résidus de récolte.

Tableau 3. Valeur-K (cm/h) de l'infiltration d'eau mesurée le 01.06.94 avec l'infiltromètre. Les calculs ont été réalisés selon Musy et Soutter (1991). Les valeurs diffèrent de manière significative, à l'exception de celles du décompacteur à ailettes et du semis direct sur la parcelle Hausweid.

	Hausweid	Langwiese
Charrue	23,3 cm/h	56,6 cm/h
Décompacteur à ailettes	2,6 cm/h	0,97 cm/h
Semis direct	1,6 cm/h	0,2 cm/h

Les adventices sont maintenues sous contrôle

Même après dix ans, aucun problème d'adventices n'a été insoluble, cela quelle que soit la méthode adoptée. La plus forte pression s'est fait sentir dans les parcelles en semis direct, particulièrement à cause du paturin et du raygras (tab. 3). Lorsque la période entre la récolte de la culture et le semis de la culture suivante était suffisante, un traitement avec un herbicide non sélectif (Glyphosate) a été effectué. Sur les dix années d'essai, du Glyphosate a été utilisé à six reprises. Il n'y a eu aucun traitement avant le blé d'automne, ni après le maïs et les betteraves. Un herbicide spécifique a été utilisé la plupart du temps dans les semis direct en post-levée pour réguler les graminées, ce qui n'a pas toujours été nécessaire avec les autres procédés. Le travail du sol agit comme un moyen de lutte mécanique contre les adventices.

Le fait que les procédés avec travail minimal du sol entraînent un lessivage plus ou moins important des herbicides est controversé. D'un part la liaison de ceux-ci avec le matériel organique diminue le risque, d'autre part davantage de pores grossières verticales peuvent favoriser le lessivage (flux préférenciel). Düring et al. (1995) ont conclu que le risque de lessivage des herbicides, dans le cas du semis direct, dépend fortement des conditions météorologiques. De fortes précipitations juste après l'épandage des produits phytosanitaires peuvent avoir pour conséquences un lessivage élevé.

Propriétés du sol

Les passages de roues – problème principal du semis direct

Les différents procédés ameublissent différemment le sol selon l'ordre suivant: Charrue > décompacteur à ailettes > décompacteur à dents obliques > semis combiné avec fraise > semis direct. Le volume des pores, mesuré à Langwiese, reflète bien cette situation (fig. 5). Le labour entraîne le volume de pores le plus élevé jusqu'à 20 cm alors que le semis direct a le volume de pores grossières le plus faible. La charrue ameublit la couche superficielle du sol de manière très intensive, ce qui n'est pas le cas du semis direct avec le risque de tassement éventuel qui s'ensuit.

L'horizon compris entre 25 à 30 cm présente le volume de pores le plus important avec le décompacteur à ailettes. Contrairement aux deux autres procédés, cette profondeur était encore comprise dans la couche travaillée, ce qui explique le volume de pores plus élevé.

Les travaux de récolte du maïs d'ensilage ou des betteraves sucrières, par exemple, causent des tassements importants lorsque le sol est humide. Cela peut se répercuter sur la structure superficielle du sol, même avec le semis direct appliqué pendant des années. Dans la parcelle Langwiese, cela a provoqué de l'eau rémanente dans les lignes scarifiées lors du semis, avec des conséquences négatives pour la levée. Sur la parcelle Hausweid, ce problème a été beaucoup moins aigu. Caneill et Bodet (1991) ont déterminé que le semis direct permet d'obtenir des rendements équivalents aux autres procédés si le sol n'a pas subi de tassement.

La semelle de labour mise en évidence par infiltration

Les différents procédés culturaux ont un effet direct sur la porosité du sol. Cela se laisse vérifier par l'infiltration d'un colorant alimentaire. Il s'agit ici d'infiltrer 40 l par m² d'eau teintée en bleu (colorant alimentaire bleu Vitasyn 3 g/l) au moyen d'un arrosoir. Ensuite, le creusage de quatre profils du sol à

Volume des pores, Langwiese, limon argileux

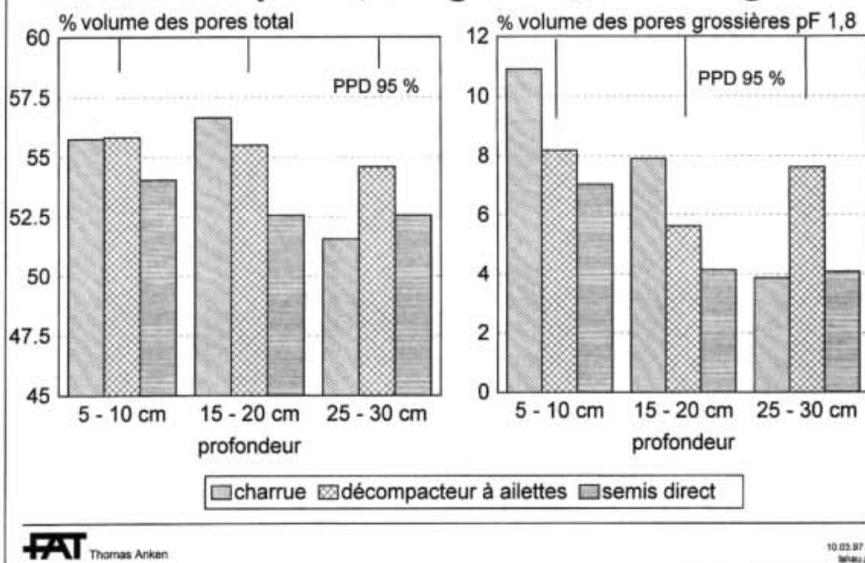


Fig. 5. Volume de pores grossières et volume de pores total de trois procédés de préparation du sol sur la parcelle Langwiese.

chaque fois, permet de voir par quelles pores verticales le colorant s'est infiltré (fig. 6). Les résultats sont enregistrés par des photographies qui, une fois scannées, peuvent également être utilisées pour une interprétation par ordinateur. Un programme développé à la FAT permet de calculer la proportion de la surface teintée en bleu par rapport à la surface totale des photos (fig. 7).

La charrue et le décompacteur à ailettes présentent la surface teintée la plus importante quel que soit l'endroit, ceci jusqu'à une profondeur de 25 cm. Le travail du sol crée une structure analogue à une éponge, ce qui permet l'absorption de l'eau. Avec le semis direct, l'eau s'infiltré principalement par les galeries des vers de terre, les passages des racines et les fissures du sol. C'est pourquoi cette méthode présente le



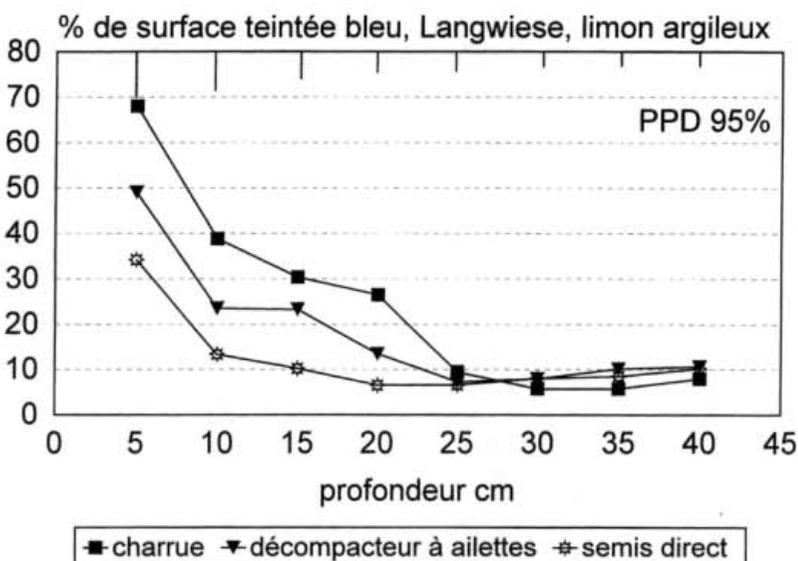
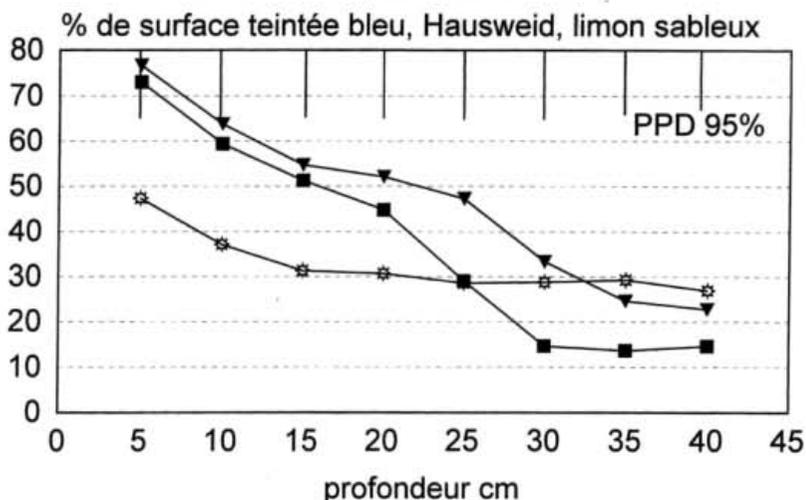
Fig. 6. L'arrosage du sol avec 40 l/m² d'eau additionnée d'un colorant alimentaire permet de décrire par quelles pores l'infiltration a lieu, ceci en creusant des profils de sol.

taux de coloration le plus faible dans la partie supérieure du sol. Cela montre que le semis direct contient des agrégats relativement compacts en surface qui possède une perméabilité réduite. L'eau s'infiltré cependant de manière très régulière en profondeur car les pores grossières ne sont pas interrompues. Avec la charrue et le décompacteur à ailettes, l'eau s'infiltré par contre moins bien dans le sous-sol en raison de la semelle de labour, ce qui est très clairement mis en évidence par une réduction subite du taux de coloration entre 20 et 30 cm. Ce phénomène est davantage marqué avec la charrue qu'avec le décompacteur à ailettes. Cela est vraisemblablement dû au fait que le tracteur roule dans le sillon. La coloration a été plus importante au lieu-dit Hausweid qu'à Langwiese, ceci de manière significative, ce qui confirme les capacités d'infiltration différentes des deux endroits.

Contrairement à ce que prétendent de nombreuses publications internationales, il n'a pas été constaté de meilleure infiltration avec le semis direct. Lors de travaux de récolte en conditions humides, de l'eau stagne dans les traces dans le cas du semis direct. Cela a eu pour conséquence qu'en 1997, la levée du blé d'automne a été quasiment inexistante dans les passages de roues avec le semis direct à Langwiese, alors qu'à Hausweid, les passages de roues étaient clairement visibles en raison de ralentissement de croissance et de jaunissement. Le semis combiné avec fraise, qui ne travaille pourtant le sol que sur 8 cm, permet d'atténuer nettement ce problème.

Les mesures réalisées avec un infiltromètre (16 répétitions par procédé) ont confirmé ce point (tab. 2). La charrue permet d'obtenir de loin l'infiltration la plus rapide. Cela provient du fait que le sol superficiel est ameubli très intensivement et que l'infiltromètre est enfoui dans le sol jusqu'à une profondeur d'environ 13 cm. Dès cette profondeur, l'eau peut quitter le tube de l'infiltromètre et se disperser latéralement, ce qui se produit beaucoup plus facilement dans un sol bien ameubli. La semelle de labour n'exerce donc aucune influence sur cette mesure. Les valeurs sont très diverses pour chaque méthode. Particulièrement avec le semis direct, la capacité d'infiltration dépend fortement de la présence de galeries de vers de terre dans le tube

Infiltration d'eau teintée en bleu



FAT Thomas Anken

10.03.97 An laha_bl.prs

Fig. 7. Taux d'infiltration: Pourcentage de surface teintée en bleu en fonction de la profondeur du profil pour trois différents procédés à deux endroits.

de l'infiltromètre d'un diamètre de 12 cm. Weisskopf et al. (1995) ont également relevé un taux d'infiltration réduit dans les parcelles exploitées avec un travail du sol réduit.

Accroissement des taux de phosphore et d'humus dans l'horizon supérieur

Le renoncement aux travaux du sol qui mélangent ou retournent la terre permet d'enrichir l'horizon supérieur (0 à 5 cm) en phosphore, potassium et

humus (fig. 8). Il s'agit d'éléments du sol peu mobiles qui restent en surface lorsque le sol n'est pas travaillé. Ce fait a été confirmé par de nombreux auteurs tel Maillard et al. (1994). Cela n'a eu aucun effet négatif lors des essais. Aucun manque en phosphore et en potassium n'ont été constaté, même avec le semis direct. Ce taux élevé en surface pourrait augmenter théoriquement le risque de ruissellement des éléments nutritifs liés à la terre superficielle fine. Cela est compensé par le fait que ces méthodes résistent très bien à l'érosion.

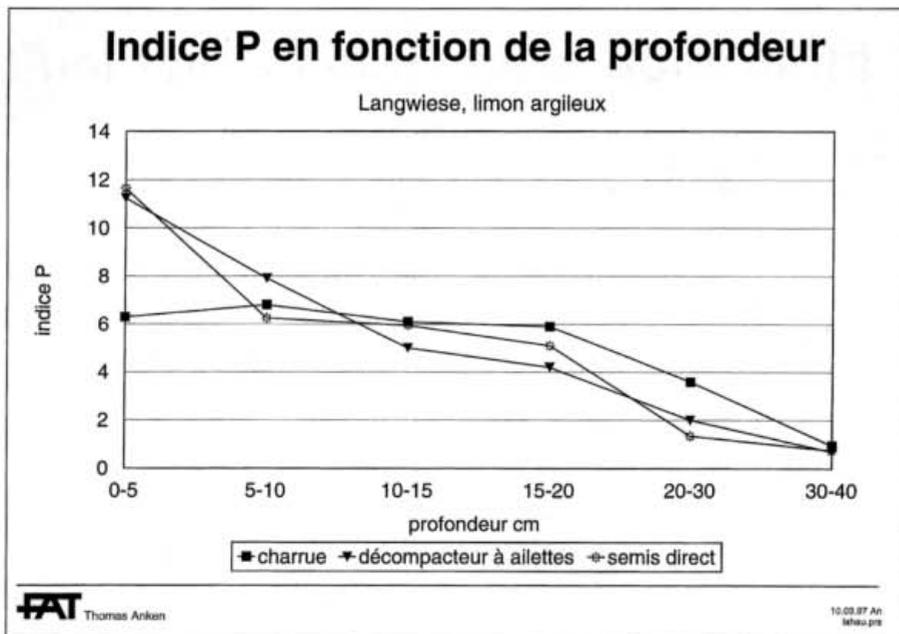


Fig. 8. Répartition du phosphore (indice P_{2O_5}) pour trois méthodes de travail du sol en fonction de la profondeur à Langwiese.

Rendements et densité de peuplement

Bons rendements avec le travail superficiel sur sol moyennement lourd

Le travail superficiel du sol a engendré d'excellents résultats, particulièrement sur la parcelle Hausweid (fig. 9). En moyenne de 1988 à 1996, le travail superficiel du sol a permis d'obtenir un rendement de 100%, contre 108% avec le semis direct et 107% avec les décompacteurs (charrue = 100). Le piétin-verse a causé d'importantes diminutions de rendement sur parcelle labourée en 1995. En 1994 également, le rendement du colza des parcelles labourées a été très faible sans que cela ne s'explique. Le colza de printemps a souffert du sec en début d'été,

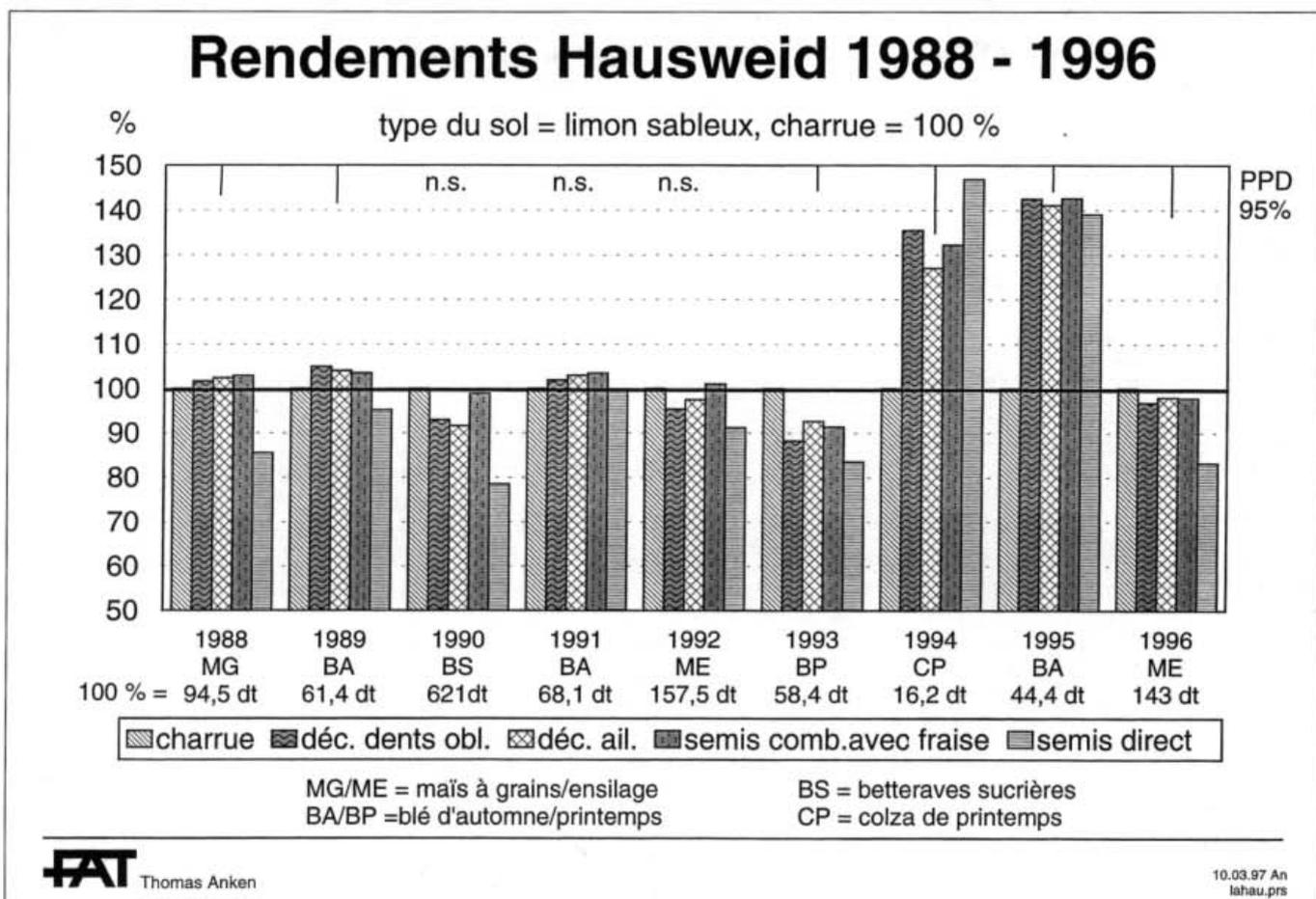


Fig. 9. Rendements moyens en pour-cent de 1988 à 1996 des différents procédés de travail du sol sur la parcelle Hausweid (labour = 100 %).

particulièrement dans les parcelles labourées. Cela pourrait indiquer que la semelle de labour a une influence négative quant à l'approvisionnement en eau du colza de printemps. Pour la parcelle Hausweid, la réduction du travail du sol n'a provoqué aucune diminution de rendement. Cela est confirmé par les rendements moyens les meilleurs avec le travail superficiel du sol. Le partage des parcelles en deux moitiés, l'une conservant la paille en surface alors que l'autre en était débarrassée, a montré des différences significatives en faveur du maintien de la paille pendant deux ans (1989 et 1990). Sinon, aucune influence du maintien de la paille sur le rendement n'a été constatée. Le hachage fin, ainsi que la répartition régulière de la paille ont permis d'éviter en bonne partie les effets négatifs de son maintien au champ. Des rendements positifs avec les méthodes sans labour se retrouvent dans de nombreux travaux internatio-

naux (par ex: Maillard et Vez 1993, Tebrügge et Böhrnsen 1995). Il est intéressant de constater qu'en France, une forte tendance en direction du travail superficiel du sol se fait jour, ce qui est à mettre en relation avec les bons résultats du semis combiné avec fraise (Lajoux 1997).

Sur sol peu perméable, le labour donne les meilleurs résultats

Sur le sol lourd et peu perméable de Langwiese, le labour a donné les meilleurs résultats à quelques exceptions près (fig. 10). Par rapport au labour, le semis direct a donné un rendement moyen pour la période de 1988 à 1996 de 84%, le travail superficiel du sol 87%, les décompacteurs environ 93%. Parallèlement aux meilleurs rendements, le labour a également entraîné les peuplements les plus denses. Dans de telles conditions pédologiques, le labour offre clairement les

meilleurs résultats car la surface du sol sèche plus rapidement, ce qui permet souvent de semer dans des conditions plus avantageuses. Les décompacteurs ont également permis d'enregistrer de meilleurs résultats que le semis direct ou avec travail superficiel du sol. Le travail des sols lourds augmente la surface relative et améliore ainsi l'évaporation, ce qui est avantageux pour le semis et la levée. Le sol humide, souvent difficile à travailler, avait pour conséquence un lit de semences grossier, constituant manifestement le facteur limitant de cet endroit. Les différences de rendements des parcelles avec et sans paille à cet endroit ont montré une tendance légère mais persistante en faveur de la variante sans paille. Cela se vérifie statistiquement pour les années 1990, 1992 et 1993. En moyenne de ces années, la variante sans paille s'est révélée de 2,8% meilleure que la variante avec paille. Cette différence est difficilement explicable. La couverture

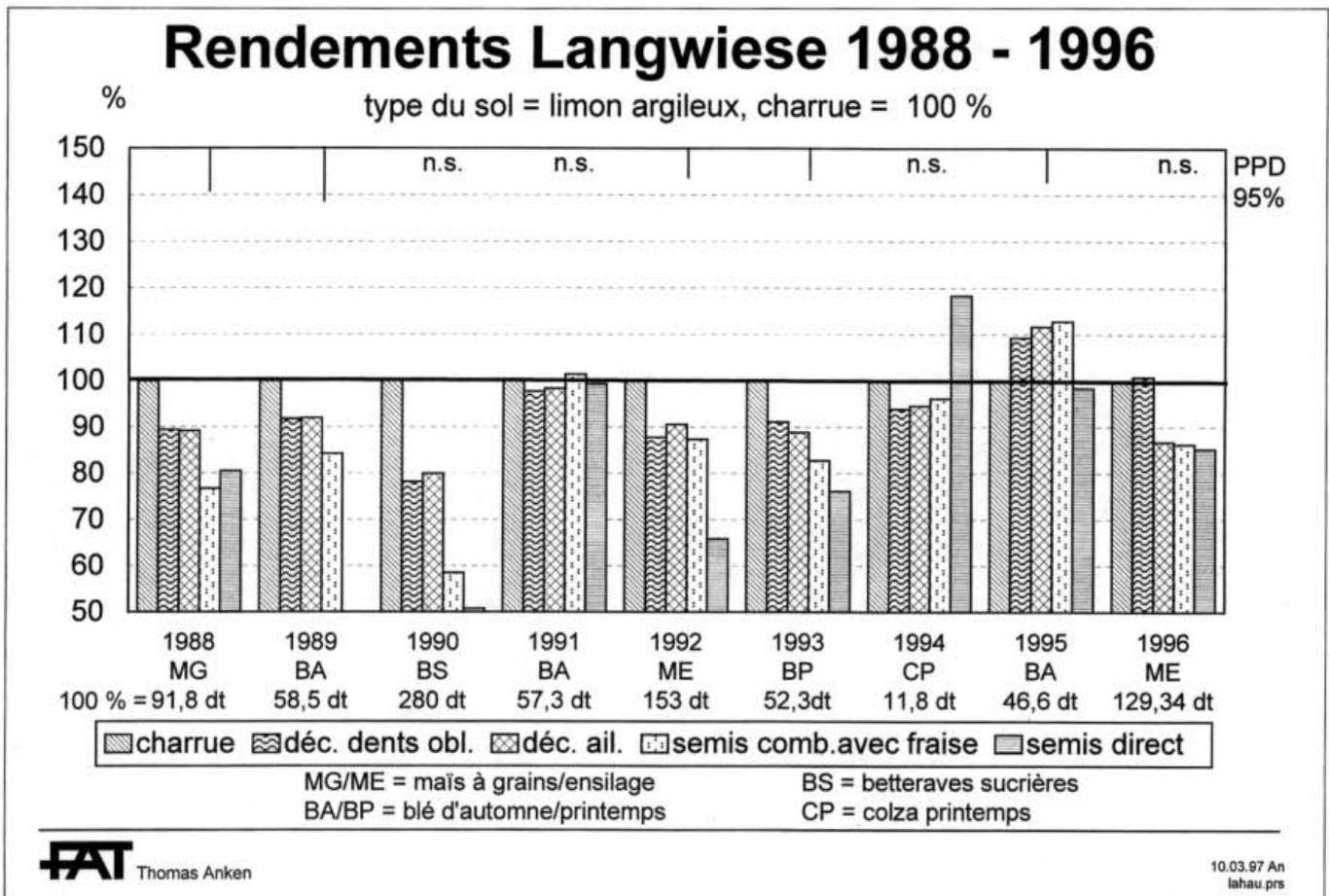


Fig. 10. Rendements moyens en pour-cent de 1988 à 1996 des différents procédés de travail du sol sur la parcelle Langwiese (labour = 100 %).

avec de la paille a un effet inhibiteur sur le développement des adventices mais empêche également le sol de sécher et de se réchauffer. La littérature cite également souvent le fait que la paille libère des substances telles que des phénols et des acides, ce qui influence négativement le développement des pousses. Ces affirmations sont cependant controversées.

Les variantes sans labour ont une densité plus faible

Le procédé avec charrue entraîne la plupart du temps la densité de peuplement la meilleure (fig. 11). Par rapport à la charrue, le décompacteur à ailettes a donné une densité de 97% sur la parcelle Langwiese et le semis direct 79%. Sur la parcelle Hausweid, le décompacteur à ailettes a donné une densité de 98% et le semis direct 86%. L'explication en revient au fait que le sol sèche plus vite en surface et se réchauffe mieux. Par ailleurs, la précision du semis est supérieure car aucun résidu de récolte ne le perturbe. Cela a été particulièrement aigu sur la parcelle Langwiese. Les lits de semences ont souvent été assez grossiers, ce qui explique une densité de peuplement parfois plus faible. Dans le maïs, les limaces ont activement participé à la très faible densité de peuplement en 1996 avec le semis sous litière.

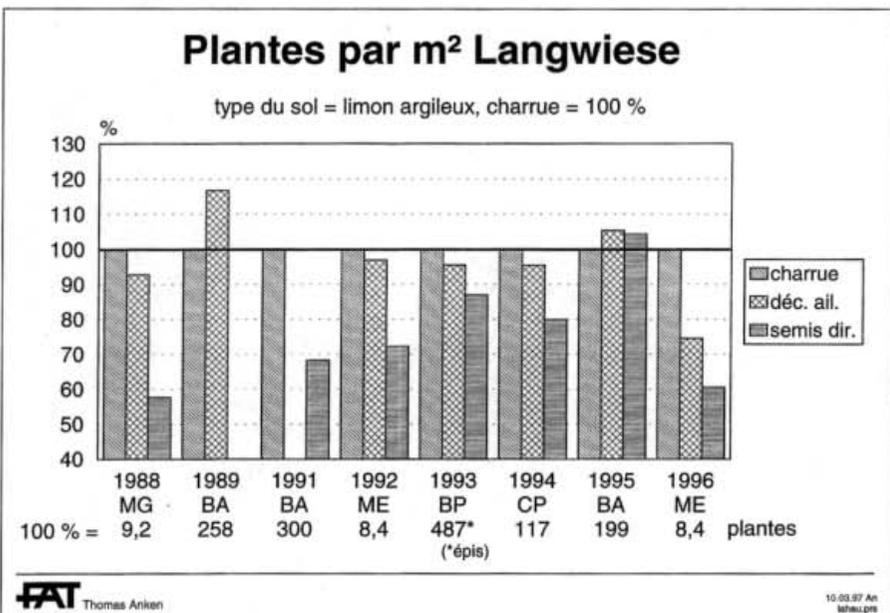
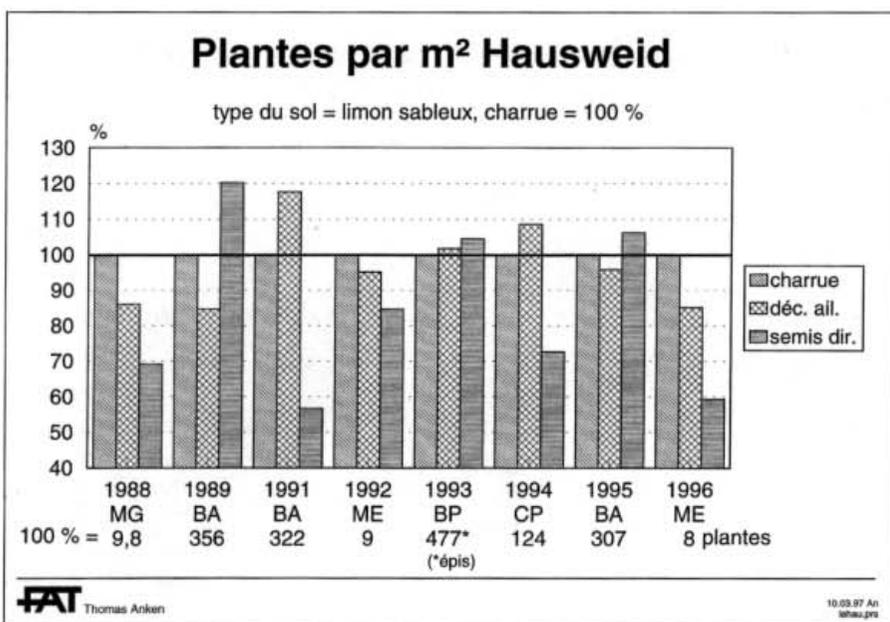


Fig. 11. Nombre de plantes par m² de 1988 à 1996 des différents procédés de travail du sol sur les deux parcelles.

Organismes utiles et nuisibles

Le travail du sol dérange les vers de terre

La biomasse et le nombre de vers de terre sont largement supérieurs dans les parcelles en semis direct et les plus faibles dans les parcelles labourées (fig. 12). Le décompacteur à ailettes prend une place intermédiaire. Le tra-

vail du sol gêne les vers de terre car il détruit leurs galeries qui, sinon, peuvent subsister des années durant. De plus, ces travaux tuent ou blessent bon nombre de vers de terre. De nombreuses publications le confirment (Francis et Knight 1993, Böhnsen et Tebrügge 1995).

Les mycorhizes favorisés par le semis direct

Les mycorhizes sont des champignons qui travaillent en symbiose avec leur plante hôte. Le champignon reçoit des hydrates de carbone et délivre, en échange, des nutriments minéraux. Les premiers essais relatifs à la colonisation des plantes de maïs par les mycorhizes ont été conduit par Mozafar et al. (1997). En 1996, les champignons ont infecté le maïs le plus intensivement avec le semis direct, suivi du décom-

Test de fonctionnement longue durée sur 1000 heures

Moteur Lombardini monocylindre raccordé à une pompe à eau

Pour le test de fonctionnement continu, on a utilisé un moteur diesel à cylindre unique et à refroidissement à air de fabrication Lombardini, type 4 LD 820, alésage 102 mm, course 100 mm, cylindrée 817 cm³. La charge était constituée par une pompe centrifuge. Le bloc complet est disponible dans le commerce sous le nom de «Veloce» et sert à l'irrigation dans l'agriculture.

En réglant le régime du moteur et la pression de la pompe, on a pu fixer cinq charges de fonctionnement à l'aide de la courbe caractéristique de la pompe (fig. 15 et 16).

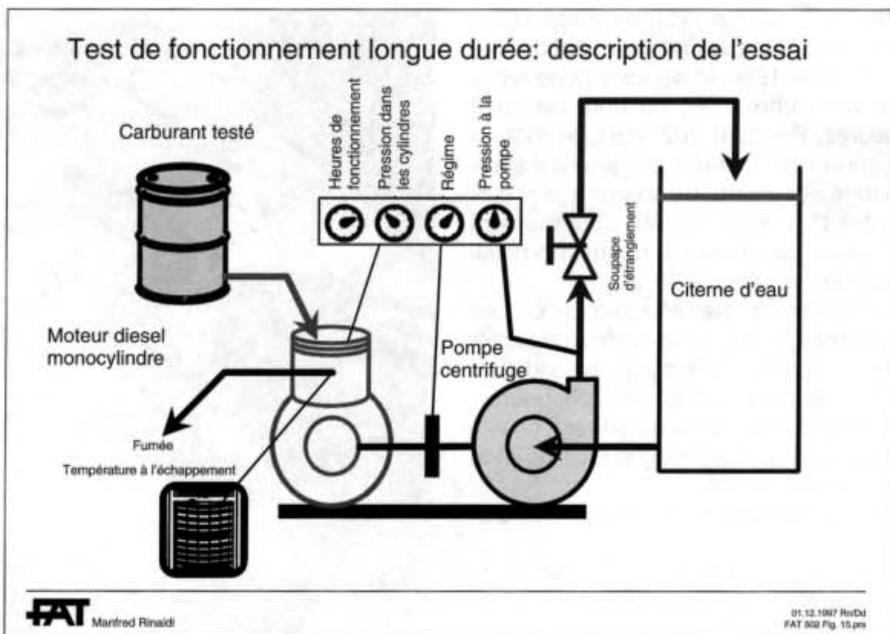


Fig. 15. Description de l'essai pour le test de fonctionnement longue durée de 1000 heures.

Les points de charge sélectionnés correspondent aux charges habituelles des tracteurs agricoles [14].

Après l'installation du banc d'essai, le moteur a été rodé pendant 50 heures avec du gazole disponible dans le com-

Test de fonctionnement longue durée
Programme de mesures en banc d'essais de carburant, "VELOCE"

	Régime t/min	Pression bar	Puissance kW	Température des gaz d'échappement °C	Position de la soupape	
1)	07.30-17.30	2590	5	10	290	ouverte
2)	07.30-17.30	2600	10	5	175	fermée
3)	11.30-13.30	1250	2,5	1	80	fermée
4)	07.30-17.30	2200	7	3	135	fermée
5)	07.30-17.30	2200	3	6	185	ouverte

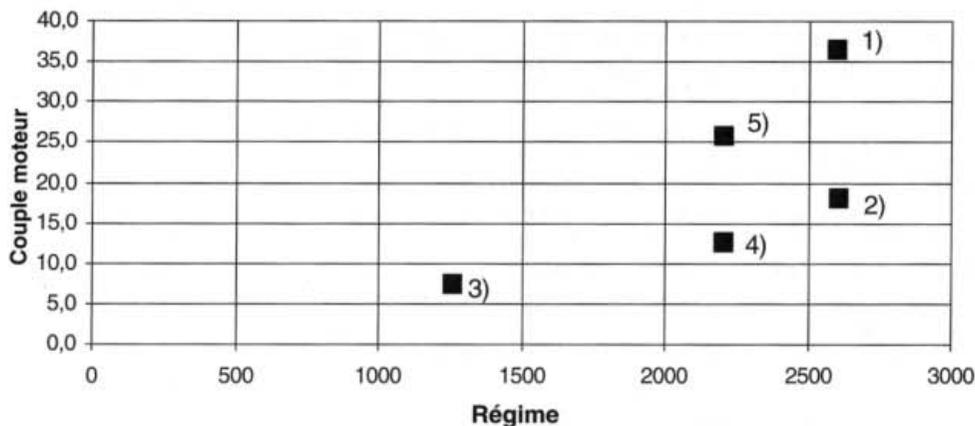


Fig. 16. Calendrier et points de charge pour le test de fonctionnement longue durée de 1000 heures.

merce. Puis une vidange a été effectuée. Les tests de carburant ont débuté le 14 mai 1996 et se sont achevés le 20 décembre 1996 au bout de 1018 heures. Pendant 102 jours, le moteur a tourné 10 heures par jour en alternance aux points de charge 1,2 et 4,5. Entre 11 h 30 et 13 h 30, c'est toujours le point de charge 3 (point mort) qui était enclenché.

L'entretien a été effectué selon les indications du constructeur figurant dans le mode d'emploi. La vidange était réalisée toutes les 300 heures. Pendant toute la durée du test, on n'a constaté aucune panne ni modification du moteur diesel.

Les paramètres suivants ont été relevés:

- régime du moteur = régime de la pompe (pour régler les points d'exploitation)
- pression de la pompe (pour régler les points d'exploitation)
- pression dans les cylindres
- heures de fonctionnement
- température des gaz d'échappement (comme indicateur de puissance; la variation de la température des gaz d'échappement rend perceptible toute modification de puissance).

La mesure de la **pression dans le cylindre** [7] constitue une particularité. Elle a pour objectif de déceler les éventuelles pannes de moteur dès le stade initial. Pour mesurer la pression, on place habituellement un capteur de pression étalonné dans un orifice supplémentaire de la tête du cylindre. Ce type de mesure, très fastidieux, fournit des pressions absolues, présente cependant l'inconvénient de modifier la chambre d'explosion.

Etant donné que pour le contrôle seul, il n'est pas nécessaire de mesurer la pression absolue et que d'autre part, il n'est pas souhaitable de modifier la chambre d'explosion, la FAT a opté pour une autre méthode.

Un capteur SlimLine (SLS) de l'entreprise Kistler Instrumente AG, Winterthur a été placé sous une des quatre vis de la tête de cylindre (fig. 17). Ce capteur en cristal de quartz est extrêmement plat et a environ la dimension d'une rondelle normale. Cette technique permet d'obtenir un signal de pression parfait sur tout le cycle et de le visualiser sur un oscilloscope.

Pendant toute la durée de fonctionnement, soit 1018 heures, on n'a pu cons-

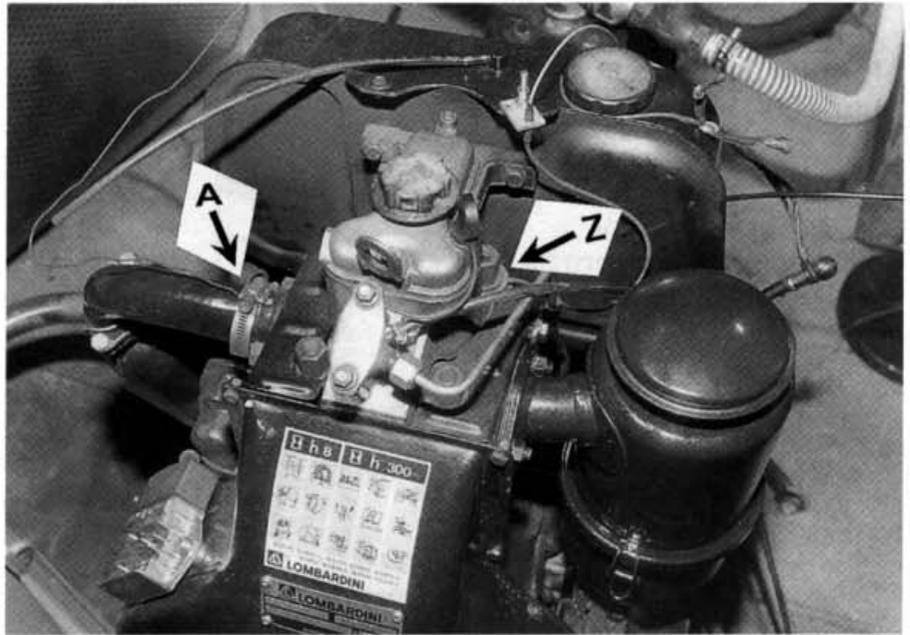


Fig. 17. Disposition des points de mesure pour la température des gaz d'échappement A et la pression dans les cylindres Z.

tater aucune modification de pression. On peut en conclure que les pistons, les segments de pistons et les parois des cylindres étaient en parfait état mécanique. Le démontage de la tête du cylindre à la fin de l'essai a confirmé cette supposition.

Application pratique

Tracteur Lindner 1600 A testé sur le domaine d'essais de la FAT

L'objectif de ce test est de montrer que le carburant pour moteur diesel tel qu'il est décrit peut être utilisé dans les conditions de la pratique. Il s'agit de contrôler le niveau d'huile, le taux d'huile de colza dans le lubrifiant, les heures de fonctionnement et la consommation totale de carburant. L'application pratique a débuté le 24 octobre 1995. Le tracteur est utilisé pour tous les travaux et pendant toute l'année. A l'heure où nous imprimons ce rapport, le tracteur a fonctionné pendant 406 heures avec un mélange à base d'huile de colza.

Modification de l'huile de lubrification du moteur

L'huile de lubrification du moteur revêt une importance particulière. Normalement, lorsque l'on effectue la vidange d'un moteur diesel, on remplit d'huile multigrade fraîche jusqu'à ce qu'on ait atteint la graduation maximale de la jauge. Pendant le fonctionnement, le niveau d'huile baisse lentement. Lorsque la graduation minimale de la jauge est atteinte, il faut rajouter de l'huile. Cette consommation d'huile s'explique: le film d'huile nécessaire à la lubrification des segments de piston se consume dans la chambre de combustion du cylindre. En outre, le carburant qui arrive dans l'huile de lubrification s'évapore.

Lorsqu'on utilise un mélange à base d'huile de colza, on constate que le niveau d'huile évolue de façon inverse: **il augmente**. Ce phénomène inhabituel pour un moteur diesel tient à ce que l'huile de colza qui se mélange à l'huile de lubrification ne s'évapore pas, car son point d'ébullition est très élevé. Cela signifie que le niveau supérieur de l'huile doit être contrôlé. Lors de la vidange, il ne faut verser de l'huile fraîche que jusqu'à la graduation minimale de la jauge. Lorsque le niveau d'huile

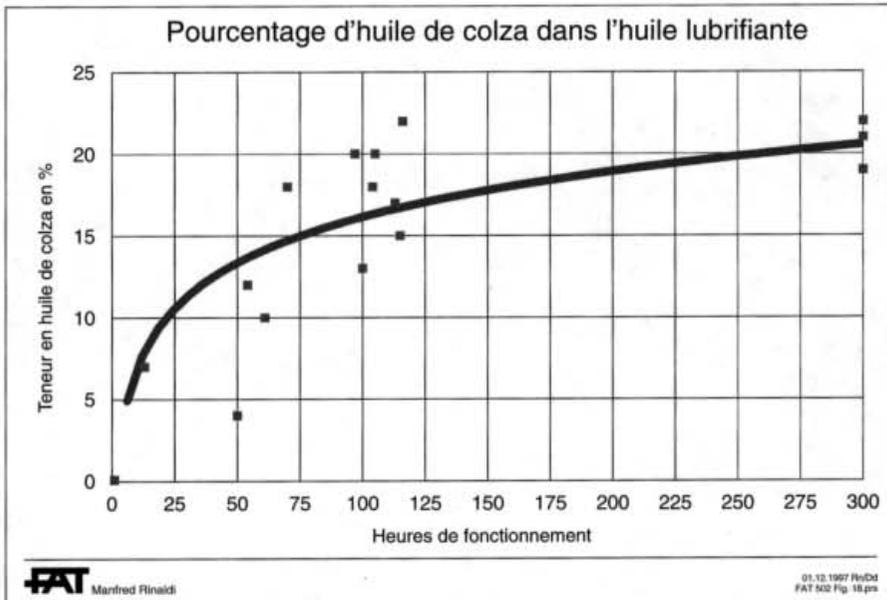


Fig. 18. Pourcentage d'huile de colza dans l'huile de lubrification en fonction des heures de fonctionnement.

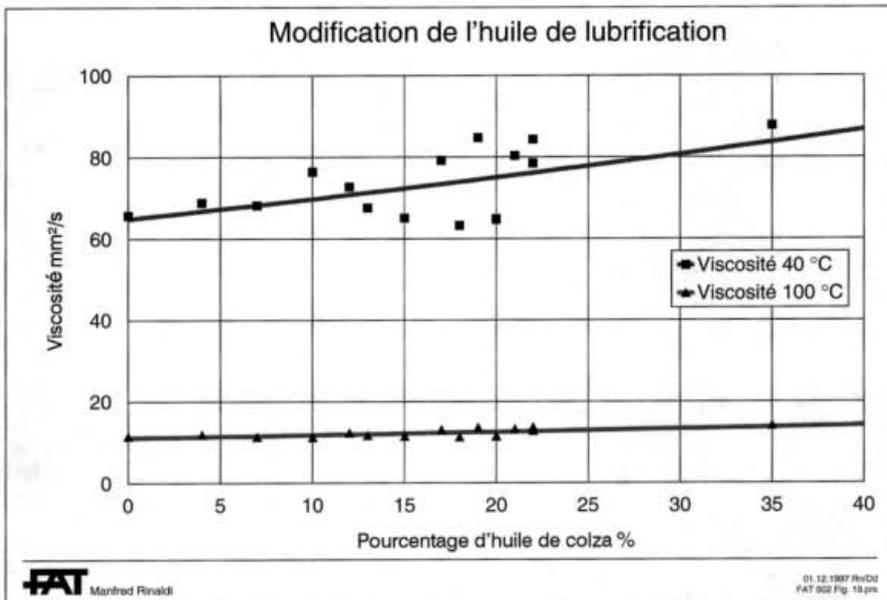


Fig. 19. Modification de la viscosité à 40 °C et 100 °C (correspond à la température de fonctionnement).

atteint la graduation maximale, il est recommandé d'effectuer une vidange, car à ce point, le pourcentage d'huile de colza présente dans l'huile de lubrification représente au minimum la quantité comprise entre les graduations minimale et maximale, soit un pourcentage de 20 à 25% (fig. 18). Ce phénomène n'est cependant pas d'une grande importance, sachant qu'un tel pourcentage d'huile de colza ne modifie que légèrement la viscosité de l'huile de lubrification, d'ailleurs en l'augmentant (fig. 19).

C'est le contraire avec l'EMC [24], où un pourcentage aussi élevé induirait une nette baisse de la viscosité et risquerait de détruire la pellicule lubrifiante.

Résultats

Un **mélange d'huile de colza produit à petite échelle** peut en principe être utilisé comme carburant dans les moteurs diesel modernes, dans la mesure où les résultats d'analyses correspondent à la norme sur le gazole.

Il faut prêter attention à **l'augmentation du niveau de l'huile de lubrification** sachant que, contrairement à l'habitude, il faut surveiller le niveau d'huile maximum et non le niveau minimum. En raison du fort pourcentage d'huile de colza dans l'huile de lubrification, la viscosité augmente légèrement. On n'a cependant constaté aucune modification du pouvoir lubrifiant.

La technique présentée ici pour fabriquer du carburant semble être une **alternative à la transestérification** de l'huile de colza.

D'autres essais porteront sur l'optimisation de techniques de fabrication de carburant à petite échelle. Les résultats actuels doivent être corroborés par des tests pratiques de plus longue durée. Il s'agira notamment d'étudier la qualité du carburant, les paramètres des gaz d'échappement, les impacts sur l'environnement et la rentabilité.

Bibliographie

- [1] **AGRAR FORSCHUNG**, 1996. Rapsnebenprodukte. Bundesamt für Landwirtschaft, CH-3003 Bern, Heft 5.
- [2] **Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems (AFQRJOS) FOR JET A-1-ISSUE 16**, 17th June 1996. Shell International Trading and Shipping Co, Shell Mex House, London WCSR 0ZA.
- [3] **Baganz K.**, 1993. Lohnt eine dezentrale Rapsölgewinnung? *Z. Landtechnik* 8/9-93, 409-411.
- [4] **Deutsche Patentschrift DE 41 16 905 C1** der Firma Tessol GmbH, Stuttgart, 13.8.92.
- [5] **FAT Test des tracteurs 1622/91 LINDNER 1600 A.**
- [6] **König W.**, 1994. TESSOL – der Dieselerersatz für den Traktor.
- [7] **Kuratle R.**, 1995. Motorenmesstechnik. Vogel-Verlag Würzburg.
- [8] **Maillard A., Vullioud P.**, 1996. Le colza: une culture à plusieurs facettes! *Z. Revue suisse Agric.* 28 (3), 149-152.
- [9] **Maurer K.**, Anforderungen an pflanzliche Öle als Treibstoff. Universität Hohenheim, D-70599 Stuttgart, *Z. landinfo* 5/95.
- [10] **Maurer K., Reiser W.**, Tessol-Rapsölgemisch als Motorkraftstoff. Universität Hohenheim, D-70599 Stuttgart.
- [11] **Mineralölsteuergesetz** vom 21. Juni 1996 (MinöStg).
- [12] **McDonnell K.P., Ward, S.M.; Timoney D.J.**, Hot Water Degummed Rapeseed Oil as a Fuel for Diesel Engines. *Z. Journal of agricultural Engineering Research*, Silsoe (1995) 60, 7-14.
- [13] **Pudel F.**, Entwicklungsprojekte der ÖHMI Forschung und Ingenieurtechnik GmbH Magdeburg. **VDI Berichte** 1126, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1994, 253-264.
- [14] **Rinaldi M., Näf E.**, 1992. Degré de charge des moteurs de tracteurs agricoles, Rapport FAT 426, Tänikon.
- [15] **Ruch D.**, Diplomarbeit Technikum Winterthur, 1. Dezember 1995.
- [16] **SAT CHEMIE GMBH**, vertreten durch DETEGO AG, Basel.
- [17] **Thalhammer G.**, Ölpresse und Filteranlagen für kleine Ölmühlen. NEN Neuburg GmbH, Augsburg Str. 16, D-86633 Neuburg/Do.
- [18] **Verordnung** über die Steuerbegünstigung und den Verzugszins bei der Mineralölsteuer vom 28. November 1996.
- [19] **Weidmann K.**, Anwendung von Rapsöl in Fahrzeug-Dieselmotoren. *Z. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift* 97 (1995) 5, 288-292.
- [20] **Wenzel G., Lammers P.S.**, Kraftstoffeigenschaften von Pflanzenölen und deren Ester. *Z. LANDTECHNIK* 3/96, 134-135.
- [21] **Widmann B. A.**, 1994. Gewinnung und Reinigung von Pflanzenölen in dezentralen Anlagen – Einflussfaktoren auf die Produktqualität und den Produktionsprozess. «*Gelbes Heft*» Nr. 51, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft.
- [22] **Widmann B. A., Apfelbeck R., Gessner B.H., Pontius P.**, 1992. Verwendung von Rapsöl zu Motortreibstoff und als Heizölersatz in technisch und umweltbezogener Hinsicht. «*Gelbes Heft*» Nr. 40, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft.
- [23] **Widmann B. A.**, 1994. Verfahrenstechnische Massnahmen zur Minderung des Phosphorgehaltes von Rapsöl bei der Gewinnung in dezentralen Anlagen. Dissertation, Selbstverlag Institut für Landtechnik, Weihenstephan, Freising.
- [24] **Wolfensberger U., Stadler E., Schiess I.**, 1993. Ester méthylique de colza comme carburant pour moteurs diesel, Rapport FAT 427, Tänikon

Traduction: ABConseil SA, Orbe