

Fertilité du sol et productivité des cultures: effets des apports organiques et du labour

Alexandra Maltas, Raphaël Charles et Sokrat Sinaj,
 Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon
 Renseignements: Alexandra Maltas, e-mail: alexandra.maltas@acw.admin.ch, tél. + 41 22 363 47 43



Travail superficiel du sol avec un cultivateur. (Photo: P. Vullioud)

Introduction

L'agriculture intensive des exploitations sans bétail occasionne une diminution de la matière organique des sols si aucune mesure palliative n'est prise. En revanche, pour les exploitations avec bétail, le problème réside davantage dans la meilleure valorisation possible de l'importante quantité d'engrais de ferme générée. En Suisse, ces deux types d'exploitations occupent en général des régions distinctes, voire éloignées les unes des autres. Le transfert des engrais de ferme excédentaires vers les exploitations sans bétail est donc difficile, même si l'application web HODUFLU développée par l'OFAG en simplifie et en harmonise la gestion administrative (OFAG 2010).

La réduction du travail du sol et l'apport d'engrais de ferme sont des techniques connues pour leurs impacts positifs sur le stockage de la matière organique dans les sols agricoles (Lal 2009). Cependant, se pose la question de leur capacité à entretenir la fertilité des sols et à alimenter les cultures dans les conditions suisses. Dans un essai de longue durée, Vullioud *et al.* (2006) ont étudié

l'impact de différents apports azotés organiques et minéraux sur l'état de fertilité des sols, les performances des cultures et les bilans des éléments fertilisants. Toutefois, l'impact du travail du sol et la valeur fertilisante des engrais organiques selon les modalités des apports restaient des questions ouvertes.

L'objectif du présent travail est de quantifier l'effet sur douze années des modalités de travail du sol et d'apports d'engrais de ferme sur (i) la fertilité du sol, (ii) la production de matière sèche des cultures et (iii) la réponse des cultures à la fertilisation azotée.

Matériel et méthodes

Descriptif de l'essai

L'essai a débuté en 1997 à Changins (VD, 430 m). Les principales caractéristiques physico-chimiques du sol sont présentées dans le tableau 1.

Les rotations font alterner cultures de printemps et cultures d'automne. D'une durée de 5 à 6 ans, elles sont de 60 à 70 % céréalières avec du colza en tête de rotation. Les pailles de céréales sont systématiquement récoltées alors que celles de maïs (en 2000 et 2005) et de

Tableau 1 | Caractéristiques principales physico-chimiques du sol en 1992 et des engrais de ferme (concentrations totales moyennes de 1997 à 2008). Les valeurs entre parenthèse représentent les écarts-types

	Sol		Fumier (kg t ⁻¹ de matière fraîche)	Lisier dilué (kg m ⁻³ de matière fraîche)
Type de sol	Brun lessivé	N	4,59 (3,74)	1,43 (0,74)
Argile (%)	23	N-NH ₄	0,25 (0,22)	0,83 (0,34)
Sable (%)	36	P	1,33 (1,38)	0,23 (0,16)
pH-H ₂ O	7,9	K	5,83 (5,75)	1,70 (0,61)
MO (%)	2,05	Ca	4,56 (7,38)	0,63 (0,50)
P-AAE (mg kg ⁻¹)	132	Mg	0,89 (0,81)	0,22 (0,16)
K-AAE (mg kg ⁻¹)	198			
Profondeur utile (cm)	70–100			

Analyses effectuées selon les méthodes de référence des Stations de recherche Agroscope (Stations de recherche ART & ACW, 2011)

colza (en 1997, 2003 et 2008) sont restituées au sol. Après la récolte de la culture précédente, un déchaumage superficiel (10 à 15 cm) est effectué au cultivateur sur l'ensemble des traitements. Avant le semis, un deuxième travail du sol est effectué au cultivateur ou à la charrue selon les procédés (tabl. 2). Enfin, le sol est repris à la herse rotative pour le semis.

Le dispositif expérimental est un split-plot comportant cinq procédés et deux sous-procédés avec quatre répétitions (tabl. 2). Les 40 parcelles unitaires mesurent chacune 63 m². Les effets directs des engrais de ferme (Ryser *et al.* 1987) sont déduits pour déterminer la quantité de l'azote (N) minéral qu'il reste à apporter selon les différents traitements (tabl. 3). Les apports phospho-potassiques totaux (minéraux et organiques) ne sont pas limitants. La fumure minérale est basée sur les normes en vigueur, en tenant compte de la valeur fertilisante des restitutions de pailles, du fumier et du lisier (Ryser *et al.* 1987). Les apports moyens en N, P et K des différents traitements sont présentés dans le tableau 3.

Mesures et analyses statistiques

Les teneurs totales en N, P, K, Ca et Mg du fumier et du lisier sont déterminées tous les ans avant leur épandage (tabl. 1). En 2009, le sol est analysé sur les vingt premiers centimètres (tabl. 4). La quantité totale de matière sèche aérienne (MS) des cultures (grains et pailles) est mesurée chaque année à la récolte. La teneur en N de la MS est analysée chaque année de 1998 à 2008. >

Résumé Un essai conduit à Changins de 1997 à 2009 a étudié les effets combinés de la nature des engrais (NPK, fumier + NPK et lisier + NPK), du fractionnement des apports de fumier (tous les ans ou tous les trois ans) et du travail du sol (labour ou pseudo-labour) associés à deux doses d'azote (100 ou 60 % de la dose optimale) sur la fertilité du sol et la production de matière sèche des cultures. Les composantes de la fertilité du sol, analysées après douze ans d'essai, ne diffèrent pas entre les sous-procédés de fertilisation azotée, et seules les teneurs en matière organique et en azote total du sol varient significativement entre les procédés. En conditions de fumure azotée non limitante, les cultures, dans les procédés avec engrais de ferme, produisent significativement plus de matière sèche que les cultures du procédé avec engrais minéraux seuls. Une sous-fertilisation azotée couvrant 60 % des besoins provoque une baisse de production de 7 à 13 % selon les procédés. En absence d'apports d'engrais de ferme, la réduction du travail du sol permet de maintenir le stock de matière organique du sol, mais devrait être accompagnée d'un renforcement de la fumure azotée. Le fractionnement du fumier en de faibles doses annuelles n'améliore pas l'efficacité du fumier.

Tableau 2 | Description des procédés et des sous-procédés

Procédé				Sous-procédé	
Abréviation	Travail du sol	Nature des engrais apportés	Dose et fractionnement des engrais de ferme	Abréviation	Fertilisation azotée
EminPL	Pseudo-labour: cultivateur à 10–15 cm	Engrais minéraux NPK	Pas d'apport	N100	Besoins* en azote couverts en totalité par les apports organiques et/ou minéraux
Fu3PL	Pseudo-labour: cultivateur à 10–15 cm	Fumier [†] de bovins en stabulation libre et engrais minéraux NPK	36 t ha ⁻¹ tous les 3 ans (en 1997, 2000, 2003 et 2006)		
Fu1PL	Pseudo-labour: cultivateur à 10–15 cm	Fumier [†] de bovins en stabulation libre et engrais minéraux NPK	12 t ha ⁻¹ tous les ans		
Fu1La	Labour classique à 20–25 cm	Fumier [†] de bovins en stabulation libre et engrais minéraux NPK	12 t ha ⁻¹ tous les ans		
Li1PL	Pseudo-labour: cultivateur à 10–15 cm	Lisier [‡] de bovins dilué et engrais minéraux NPK	22 m ³ ha ⁻¹ tous les ans	N60	Besoins* en azote couverts à 60 % par les apports organiques et/ou minéraux

[†]Épandu sur sol nu avant la mise en place de la culture.

[‡]Épandu sur sol couvert par la culture. Le lisier est dilué avec les eaux de lavage (équivalent à une dilution 1:1).

*Déterminés selon la méthode des normes corrigées (Ryser *et al.* 1987).

Tableau 3 | Quantités moyennes (kg ha⁻¹ an⁻¹) d'éléments fertilisants apportés par les engrais chimiques et/ou organiques dans les procédés et les sous-procédés de 1997 à 2008

Procédé	Sous-procédé	N		P		K	
		Chimique [†]	Organique	Chimique [†]	Organique	Chimique [†]	Organique
EminPL	N100	132	0	26	0	70	0
	N60	78	0	26	0	70	0
Fu3PLN	N100	108	51	14	13	27	67
	N60	63	51	14	13	27	67
Fu1PLN	N100	103	59	10	17	22	70
	N60	62	59	10	17	22	70
Fu1LaN	N100	103	56	9	18	22	73
	N60	62	56	9	18	22	73
Li1PLN	N100	112	31	26	5	58	37
	N60	70	31	26	5	58	37

[†]Nitrate d'ammoniaque épandu sur culture en deux ou trois apports.

[‡]Superphosphate et sel de potasse épandus en un apport avant semis sur culture d'été et juste avant le premier apport azoté sur les autres cultures.

Tableau 4 | Effet des procédés et des sous-procédés sur la fertilité du sol en 2009

Analyse [†]	Sous-procédé N60	Sous-procédé N100					
		Moyenne	EminPL	Fu3PL	Fu1PL	Fu1La	Li1PL
Propriétés organiques							
MO (%)	2,11 A	2,11 A	2,03 ab	2,28 a	2,13 ab	1,98 b	2,15 ab
N total (%)	0,158 A	0,160 A	0,158 ab	0,170 a	0,160 ab	0,148 b	0,163 ab
Rapport C/N	7,7 A	7,7 A	7,5 a	7,8 a	7,7 a	7,8 a	7,7a
Propriétés chimiques							
pH-H ₂ O	7,9 A	7,9 A	8,0 a	8,0 a	7,8 a	7,9 a	7,9 a
CaCO ₃ total [‡] (%)	4,7 A	4,7 A	6,0 a	3,5 a	4,3 a	6,3 a	3,5 a
CEC (cmol+ kg ⁻¹)	11,2 A	11,3 A	11,1 a	11,4 a	11,3 a	11,0 a	11,7 a
Taux de saturation (%)	94,0 A	94,5 A	96,0 a	94,3 a	91,7 a	95,7 a	94,8 a
Phosphore du sol (mg kg⁻¹)							
P total [†]	955 A	943 A	957 a	979 a	911 a	909 a	960 a
P organique [†]	286 A	287 A	264 a	285 a	321 a	269 a	299 a
P-AAE	126 A	123 A	120 a	140 a	119 a	105 a	132 a
P-H ₂ O	3,0 A	2,8 A	2,9 a	3,2 a	3,1a	2,1 a	2,7 a
Cations du sol (mg kg⁻¹)							
K-AAE	168 A	168 A	160 a	177 a	174 a	155 a	173 a
K-H ₂ O	30 A	29 A	28 a	29 a	31 a	26 a	29 a
Mg-AAE	192 A	196 A	213 a	176 a	185 a	224 a	179 a
Mg-CaCl ₂	59 A	58 A	64 a	55 a	66 a	51 a	55 a
Ca-AAE	19493 A	19723 A	24659 a	16864 a	15707 a	23986 a	17398 a
Métaux traces (mg kg⁻¹)							
Cu+Fe+Mn+Zn-AAE [‡]	754 A	763 A	773 a	763 a	785 a	779 a	713 a

[†] Les analyses P total et organique sont réalisées selon la méthode de Saunders et Williams (1955); toutes les autres analyses sont effectuées selon les méthodes de référence des stations de recherche Agroscope (Stations de recherche ART & ACW, 2011).

Les lettres majuscules différentes au sein d'une même ligne indiquent des moyennes significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher, les lettres minuscules différentes au sein d'une même ligne indiquent des moyennes significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher.

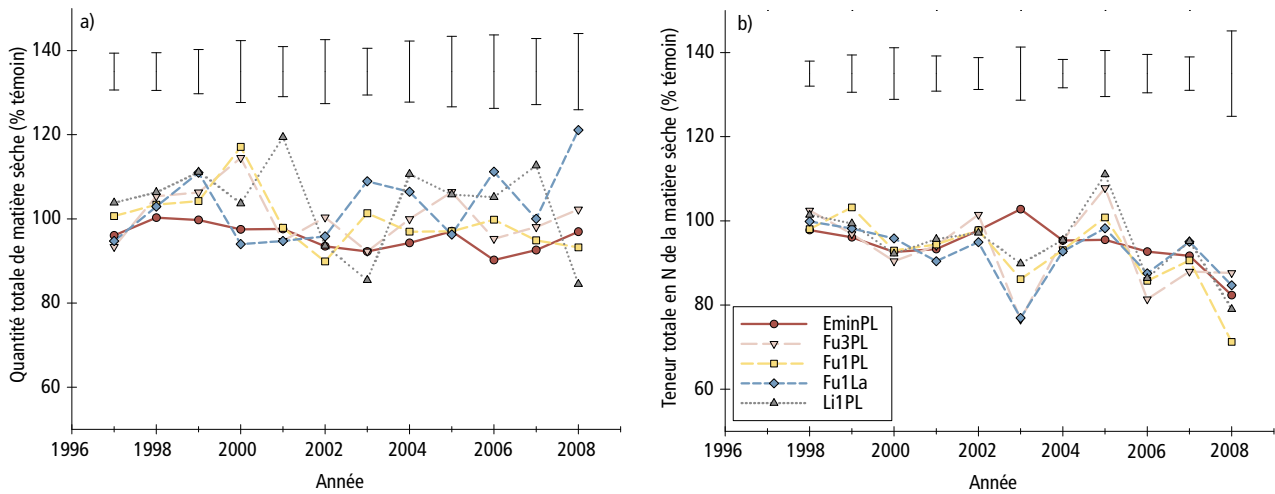


Figure 1 | Effet des procédés sur l'évolution a) de la quantité totale de matière sèche aérienne et b) de la teneur totale en N des plantes. Les résultats sont exprimés en pourcentage du témoin EminPL N100. Les barres verticales représentent les plus petites différences significatives au seuil de 5% (PPDS).

Les analyses statistiques sont réalisées en utilisant le logiciel XLSTAT 2010, Copyright Addinsoft 1995–2009. Compte-tenu de la structure de l'essai et du décalage possible dans le temps de l'effet des apports organiques, la mise en valeur globale des résultats est réalisée toutes cultures confondues, en exprimant les données en pourcentage du témoin (EminPL N100).

Résultats

Fertilité du sol

La teneur en MO et en N-total dans les procédés Fu1La et EminPL est plus faible que dans les autres procédés (tabl. 4). Les autres composantes de la fertilité du sol ne sont pas significativement affectées par les procédés (tabl. 4).

La fertilisation N ne modifie pas significativement ($P > 0,05$) les propriétés chimiques et organiques du sol suivies dans notre essai (tabl. 4).

Quantité totale de matière sèche aérienne

Les procédés et sous-procédés ont un impact significatif ($P < 0,001$) sur la production de MS, avec cependant une interaction significative entre l'année et les procédés (tabl. 5, fig. 1a). En conditions N non-limitantes (sous-procédés N100), les cultures dans EminPL produisent significativement moins de MS que dans les autres procédés (tabl. 5). La réduction de la fertilisation N (différence entre N100 et N60) induit une diminution de la production de MS de respectivement 7, 9, 11, 12 et 13 % pour Fu1La, EminPL, Fu3PL, Li1PL et Fu1PL (tabl. 5). L'analyse de variance ne met pas en évidence d'interac-

tion significative entre procédés et sous-procédés (tabl. 5). Les réponses à la fertilisation N sont cependant significativement différentes, selon le test de Fisher, entre Fu1La et Fu1PL.

Teneur en azote des cultures

Comme précédemment, l'interaction entre procédés et années est significative pour la teneur en N des cultures (tabl. 5). En conditions N non-limitantes, la teneur en N dans Li1PL est significativement supérieure à celles observées dans Fu1La et Fu3PL ($P < 0,05$, tabl. 5).

La réduction de la fertilisation N (différence entre N100 et N60) diminue significativement la teneur en N des cultures dans les cinq procédés (tabl. 5).

Discussion

Effets des engrais de ferme sur la fertilité du sol et la production des cultures

Sur la durée de l'essai, l'application d'engrais de ferme affecte peu la fertilité du sol. Seules les teneurs en MO et en N-total varient avec la nature des engrais appliqués. Nous n'avons pas observé d'effet de la nature des engrais sur le pH du sol. Les quantités non négligeables de bases échangeables (tabl. 1) apportées par les engrais de ferme peuvent neutraliser l'acidité causée par la nitrification du N contenu dans ces engrais et contribuer ainsi à maintenir le pH du sol (Trans *et al.* 1996).

Les teneurs en P et K de réserve et en P et K solubles ne sont également pas affectées par la nature des engrais. La valeur fertilisante en P et K du fumier et du lisier

Tableau 5 | Effet des procédés et des sous-procédés sur la quantité totale de matière sèche aérienne et sur les teneurs en N, P, K, Mg et Ca des plantes. Les valeurs correspondent aux valeurs moyennes sur la période indiquée et sont exprimées en pourcentage du témoin EminPL N100

Sous-procédé	Procédé	Quantité totale de matière sèche aérienne	Teneur totale en N de la matière sèche
N100	EminPL	100 b	100 ab
	Fu3PL	107 a	97 b
	Fu1PL	107 a	99 ab
	Fu1La	107 a	98 b
	Li1PL	110 a	102 a
N60	EminPL	91 e	89 c
	Fu3PL	95 cde	89 c
	Fu1PL	93 de	85 d
	Fu1La	99 bc	87 cd
	Li1PL	97 bcd	88 cd

Résultats de l'analyse de variance selon:

Procédés	***	ns
Procédés* sous-procédés	ns	*
Procédés* années	***	***
Procédés* sous-procédés* années	ns	ns
sous-procédés* années	***	***
Sous-procédés* années	***	***

* Effet significatif au seuil de 5 % ;

** effet significatif au seuil de 1 % ;

*** effet significatif au seuil de 0,1 % ;

ns: non significatif.

Des lettres minuscules différentes au sein d'une même colonne indiquent des moyennes significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher.

semble donc être correctement prise en compte dans les «Données de base pour la fumure» (Sinaj *et al.* 2009).

Les engrais de ferme apportent également des quantités non négligeables de Ca et Mg (17–85 kg Ca ha⁻¹ an⁻¹ et 5–12 kg Mg ha⁻¹ an⁻¹, tabl. 2). Cependant, ces apports répétés ne se répercutent pas sur les réserves en Ca et Mg du sol en 2009, ni sur les éléments traces (Cu, Fe, Mn et Zn). Les parcelles qui reçoivent les engrais de ferme présentent les meilleurs rendements (tabl. 5). Les quantités de Ca, Mg et éléments traces apportées par ces engrais sont donc probablement compensées par des exportations par la récolte plus importantes.

Par contre, l'apport de MO-fraîche dans les procédés avec engrais de ferme entraîne des teneurs en N-total et en MO du sol plus élevées que dans le procédé EminPL. Cependant, il faut noter qu'en l'absence d'engrais de ferme, le pseudo-labour (EminPL) permet de conserver la teneur en MO du sol de départ (2,03 en 2009 contre 2,05 % en 1997). Les variations des teneurs en MO du sol en fonction de la nature des engrais appliqués semblent influencer positivement le potentiel de production de matière sèche. Ladha *et al.* (2003) ont également noté que l'utilisation continue d'engrais minéraux seuls provoque une baisse des rendements, tandis que l'utilisation d'engrais de ferme combinée à une fertilisation minérale NPK adéquate les maintient suite à l'amélioration du stock de C organique et des propriétés physiques du sol. Les apports minéraux plus diversifiés des engrais de ferme (N, P, K, Ca, Mg, éléments traces) ont pu également influencer positivement le potentiel de production.

Effets comparatifs du fumier et du lisier

Le lisier, facilement dégradable, présente un moindre effet sur le stockage de MO dans le sol que le fumier (Triberti *et al.* 2008). Pourtant, dans notre essai, les teneurs en MO et en N-total du sol sont comparables dans Li1PL et Fu1PL. Ceci est d'autant plus surprenant que les parcelles avec lisier ont reçu moins de N organique que les parcelles avec fumier (tabl. 3). La moindre humification du lisier peut-être compensée par de plus fortes restitutions par les résidus de culture dans Li1PL en raison d'une production de MS supérieure, et/ou une vitesse de minéralisation de la MO du sol inférieure. Au final, dans les conditions de l'essai, l'apport de 12 t ha⁻¹ an⁻¹ de fumier ou de 22 m³ ha⁻¹ an⁻¹ de lisier présente le même effet sur le stockage de la MO dans le sol.

Intérêts du fumier apporté annuellement en doses réduites

Les apports de fumier en quantité réduite mais à intervalles rapprochés augmentent les coûts liés à l'épandage (temps et carburant) mais se justifieraient par une meilleure utilisation par les plantes (Sinaj *et al.* 2009). Les résultats de l'essai ne mettent pas en évidence d'effet positif des doses réduites sur la production de MS. Ainsi, apporter 36 t ha⁻¹ an⁻¹ de fumier tous les 3 ans n'affecte pas l'efficacité du fumier, et est donc plus rentable que répartir cette dose en apports annuels. Les doses réduites apportées annuellement n'ont pas d'effet non plus sur les propriétés du sol.

Intérêts du non-labour

Le non-labour permet de réduire les pertes de MO par minéralisation et érosion (Lal 2009). Douze années d'es-

Tableau 6 | Effet du fractionnement du fumier sur la quantité totale de matière sèche aérienne et sur la teneur en N en fonction du nombre d'années depuis le dernier apport sur Fu3PL. Les résultats sont exprimés en pourcentage du témoin EminPL N100

Sous-procédé	Nombre d'années depuis le dernier apport sur Fu3PL	Procédés	Quantité totale de matière sèche aérienne	Teneur totale en N de la matière sèche
N100	0	Fu3PL	106 ab	86 de
		Fu1PL	112 a	95 abc
	1	Fu3PL	107 ab	99 ab
		Fu1PL	106 ab	100 ab
	2	Fu3PL	107 ab	103 a
		Fu1PL	101 b	101 ab
N60	0	Fu3PL	92 cd	80 e
		Fu1PL	98 bcd	82 e
	1	Fu3PL	92 cd	91 cd
		Fu1PL	90 d	88 cd
	2	Fu3PL	101 bcd	94 bc
		Fu1PL	91 d	85 de

Des lettres minuscules différentes au sein d'une même colonne indiquent des moyennes significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Fisher.

sai ont permis de confirmer l'effet positif du non-labour (comparaison des procédés Fu1La et Fu1PL) sur le stockage de MO et de N-total dans le sol. Parallèlement, nous observons une réponse des cultures à la fertilisation N significativement plus faible dans les parcelles labourées. Ce résultat indique vraisemblablement une offre en N du sol plus importante dans le procédé avec labour. En effet, en non-labour la MO est mieux protégée dans les agrégats de sol, ce qui induit une baisse du pourcentage du N-total minéralisé (Balesdent *et al.* 2000). Lorsque le sol n'est plus labouré, il est ainsi souvent conseillé de renforcer la fumure azotée pendant les premières années de transition (Thomas 2007). Dans l'essai d'Oberacker en Suisse (BE), Chervet *et al.* (2007) préconisent de renforcer la fumure azotée en semis direct pendant les cinq à sept premières années de la transition. Nos résultats semblent indiquer que la fumure azotée doit être renforcée au moins pendant les douze premières années de transition lorsque le cultivateur remplace la charrue.

Effet de la fertilisation N sur la teneur en MO du sol

Vullioud *et al.* (2006) dans une étude menée sur une parcelle voisine de cet essai, ont observé un effet positif de la fertilisation azotée sur la teneur en MO du sol. Il est généralement admis que la fertilisation azotée contribue à séquestrer du C dans le sol en augmentant la biomasse des résidus de culture (Khan *et al.* 2007; Vullioud *et al.* 2006). Dans cet essai, aucun effet significatif de la

fertilisation azotée sur la teneur en MO n'a été constaté; les sous-procédés de fertilisation azotée étaient toutefois moins contrastés que dans l'essai de Vullioud *et al.* (2006). De nombreuses études menées aux Etats-Unis et répertoriées par Khan *et al.* (2007) montrent également un faible effet de la fertilisation N sur le stockage du C dans le sol. Ce résultat peut s'expliquer par une augmentation de l'activité des microorganismes (Khan *et al.* 2007) et/ou par l'accumulation de formes organiques plus labiles (Stevens *et al.* 2005).

Interaction entre procédés et années non négligeable

Les effets du labour sur la production de MS varient selon le contexte climatique ou cultural (fig. 1a). En 2000, le labour a été défavorable à la production de MS alors qu'en 2003 et 2008, l'effet inverse est observé. Le labour effectué en conditions trop humides en 2000 semble être la cause de la chute significative de la production observée dans le procédé Fu1La (fig. 1a). Un lit de semence plus fin sous labour pourrait, par contre, expliquer les meilleurs résultats de cette technique pour le colza en 2003 et 2008.

Les effets du fractionnement du fumier (Fu1PL et Fu3PL) sur l'offre en N du sol varient selon le nombre d'années écoulées depuis le dernier apport de fumier sous Fu3PL (fig. 1a, b). L'année de l'apport, la teneur en N des plantes en conditions N non-limitantes (sous-procédés N100) est plus élevée dans Fu1PL que dans Fu3PL (tabl. 6). Ceci résulte vraisemblablement d'une meilleure

offre en N du sol dans Fu1PL puisque la production de MS est identique dans les deux procédés (tabl. 6). Par contre, deux ans après l'apport, l'offre en N du sol semble plus importante dans Fu3PL. En effet, la réponse de la MS à la fertilisation N y est plus faible (+6 % contre +10 % dans Fu1PL, tabl. 6) alors que la production de MS en conditions N non-limitantes n'est pas affectée. Ces résultats suggèrent que les effets directs du fumier sont surestimés et les arrière-effets sous-estimés. Les arrière-effets intervenant deux ans après l'apport d'engrais de ferme, bien que connus (Vullioud *et al.* 2006), ne sont pas pris en compte dans les recommandations de fumure N pour des raisons de simplifications (Ryser *et al.* 1987). Les résultats de l'essai semblent indiquer qu'ils devraient être pris en considération dans le calcul des besoins en engrais N.

Conclusions

- Dans un sol labouré, l'apport de 12 t ha⁻¹ an⁻¹ de fumier ne suffit pas à entretenir la teneur en MO du sol lorsque les pailles des céréales sont exportées.
- La réduction du travail du sol (charrue remplacée par un cultivateur) permet d'entretenir la teneur en MO du sol dans les systèmes sans engrais de ferme.
- En cas de pseudo-labour, la fertilisation devrait être renforcée par rapport à celle pratiquée avec un labour, à court comme à moyen terme (12 ans).
- Les apports de fumier en petites doses annuelles, comparés à une dose équivalente apportée tous les trois ans, ont peu d'effet sur la fertilité du sol et la production de MS des cultures; ils ne paraissent donc pas rentables.
- Une réduction de 40 % de la fertilisation N n'a pas d'effet sur la fertilité du sol.
- Les arrière-effets des engrais de ferme intervenant deux ans après l'apport devraient être pris en compte dans le calcul des besoins en engrais N. ■

Bibliographie

- Balesdent J., Chenu C. & Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* **53**, 215–230.
- Chervet A., Gubler L., Hofer P., Maurer-Troxler C., Müller M., Ramseier L., Streit B., Sturny W. G., Weisskopf P. & Zihlmann U., 2007. Semis direct: de l'essai à la pratique. Expériences acquises dans un système de semis direct en continu. *Revue suisse d'Agriculture* **39** (5), 1–6.
- Khan S. A., Mulvaney R. L., Ellsworth T. R. & Boast C. W., 2007. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* **36**, 1821–1832.
- Ladha J. K., Dawe D., Pathak H., Padre A.T., Yadav R.L., Bijay-SinghYad-vinder-SinghSingh Y., Singh P., Kundu A. L., Sakal R., Ram N., Regmi A. P., Gami S. K., Bhandari A. L., Amin R., Yadav C. R., Bhattarai E. M., Das S., Aggarwal H. P., Gupta R. K. & Hobbs P. R., 2003. How extensive are yield declines in long-term rice wheat experiments in Asia? *Field Crops Res.* **81**, 159–180.
- Lal R., 2009. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Sciences* **60**, 158–169.
- OFAG, 2010. HODUFLU. Accès: <http://www.blw.admin.ch/themen/00006/index.html>
- Ryser J. P., Charles J. P., Chauvin B., Degaillet J., Dougoud P., Felber R., Maillard A.N., Rossier D., Thöni E. & Vullioud P., 1987. Directives de fumure pour les grandes cultures et les herbages en Suisse romande. *Revue suisse d'Agriculture* **19** (6), 297–314.
- Saunders W. M. H. & Williams E. G., 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* **6**, 254–267.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'Agriculture* **41** (1), 1–98.
- Stations de recherche ARTet ACW, 2011. Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope. Agroscope. Zurich-Reckenholz. Vol. 1, 30 p.
- Stevens W. B., Hoeft R. G. & Mulvaney R. L., 2005. Fate of Nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study: I. Interactions with soil nitrogen. *Agronomy Journal* **97**, 1037–1045.
- Thomas F., 2007. L'azote en TCS et SD. Beaucoup de bénéfices mais une gestion à adapter. *Techniques culturales simplifiées* **44**, 12–23.
- Trans T. S., Côté D. & N'Dayegamiye A., 1996. Effets des apports prolongés de fumier et de lisier sur l'évolution des teneurs du sol en éléments nutritifs majeurs et mineurs. *Agrosol IX* (1), 21–30.
- Triberti L., Nistri A., Giordani G., Comellini F., Baldoni G. & Toderi G., 2008. Can mineral and organic fertilization help sequester carbon dioxide in cropland? *Europ. J. Agronomy* **29**, 13–20.
- Vullioud P., Neyroud J. A. & Mercier E., 2006. Efficacité de différents apports organiques et d'un engrais minéral azoté à Changins (1976–2004). *Revue suisse d'Agriculture* **38** (4), 173–183.

Riassunto**Fertilità del suolo e produttività delle colture: effetti a medio termine degli apporti organici e delle tecniche colturali semplificate**

Gli effetti combinati dei vari tipi di fertilizzanti (NPK, letame più NPK e liquame più NPK), del frazionamento dell'apporto di letame (annuale o ogni terzo anno) e la lavorazione del terreno (aratura o pseudo-aratura), associate a due differenti dosaggi di azoto (100 % oppure 60 % della dose ottimale) sulla fertilità del suolo e la produzione di sostanza secca delle colture, sono stati messi a confronto in una prova a Changins dal 1997 al 2009. Dopo 12 anni di prove, le analisi del suolo hanno evidenziato che la concimazione azotata non ha avuto effetti sulla fertilità del suolo, per contro i contenuti di materia organica e l'azoto totale nel suolo hanno riscontrato differenze significative tra i procedimenti. Nella variante di apporto azotato non limitante, le colture hanno prodotto un maggiore quantitativo significativo di sostanza secca, se accompagnate da fertilizzanti aziendali rispetto alle varianti con soli fertilizzanti minerali. Una concimazione di azoto limitata al 60 % dei bisogni ha provocato una minore produzione dal 7 al 13 % a dipendenza della procedura applicata. In assenza di apporti di fertilizzanti aziendali, la riduzione della lavorazione del suolo ha permesso di mantenere il livello di materia organica del suolo inalterata, però dovrebbe essere accompagnata da un incremento della concimazione azotata. Dividere letame in basse dosi annuali non ha migliorato l'efficienza del letame.

Summary**Soil fertility and crop productivity: medium-term effect of organic inputs and simplified cultivation techniques**

The combined effects of the nature of fertilizers (NPK, manure + NPK and liquid manure + NPK), fractionation of the manure inputs (every year or every three years) and tillage (plowing and reduced-tillage) associated with two nitrogen rates (100 or 60 % of the optimal dose) on soil fertility and dry matter production of different crops have been studied from 1997 to 2009 in Changins. After twelve years of trial, different soil analyses show that nitrogen fertilization had no effect on soil fertility, only the soil organic matter and total nitrogen contents differed significantly between treatments. In terms of non-limiting nitrogen fertilization, crops treated with manure produced significantly more dry matter than those treated with only inorganic fertilizer. A sub-fertilization with only 60 % of the nitrogen fertilizer needs causes a decrease in production of 7–13 % according to the treatments. In the absence of the manure input, reducing tillage keeps the stock of soil organic matter, but should be accompanied by a strengthening of nitrogen fertilization. Split manure in annually low inputs doesn't increase the manure efficiency.

Key words: manure, liquid manure, nitrogen fertilization, tillage, soil organic matter, dry matter production.