

DOSSIER **IRAB**

*Résultats
de 21 ans d'essai DOC*

Le bio améliore la fertilité du sol et la biodiversité



Les résultats de 21 ans d'essai DOC en un coup d'œil

	D Bio-dynamique	O Organo-biologique	C Conventionnel (Intégré)	Page
Intrants				
Engrais				5
Énergie				7
Protection phytosanitaire chimique directe				5
Régulation mécanique des adventices				
Rendements				
				6
Fertilité du sol				
Phosphore (soluble)				9
Phosphore (réserve)				9
Potassium (soluble)				9
Potassium (réserve)				9
Structure du sol				
Structure du sol				10
Vers de terre: nombre, biomasse				11
Carabidés: activité				11
Biomasse microbienne				12
Activité microbienne				13
Formation des mycorhizes				14
Biodiversité				
Adventices				15
Stock grainier				15
Carabidés				15
Vers de terre				15
Micro-organismes	davantage dans les procédés biologiques			15



Les résultats à long terme de l'essai DOC montrent que les systèmes d'agriculture biologique permettent une production agricole qui, malgré ses rendements plus bas, économise les ressources parce qu'elle utilise beaucoup moins d'intrants. Mais ce n'est pas tout: l'agriculture biologique favorise aussi la vie du sol et améliore la biodiversité de la flore adventice et de la faune.

Abréviations

D1*	Bio-dynamique (0.6) 0.7 UGBF/ha
D2**	Bio-dynamique (1.2) 1.4 UGBF/ha
O1*	Organo-biologique (0.6) 0.7 UGBF/ha
O2**	Organo-biologique (1.2) 1.4 UGBF/ha
C1*	Conventionnel (= PI) 0.5 x fumure selon les normes
C2**	Conventionnel (= PI) 1.0 x fumure selon les normes
N	Non fertilisé
M**	Conventionnel (= PI) 1.0 x fumure selon les normes, fumure 100 % minérale

PAss	Période d'assolement
UGBF	Unité gros bétail fumure
PI	Production intégrée
*	Fumure réduite
**	Fumure habituellement pratiquée

Impressum

Éditeur:
Institut de recherche de l'agriculture biologique (IRAB/FiBL)
Ackerstrasse, Postfach, CH-5070 Frick
Tél. +41 (0)62 865 72 72, Fax +41 (0)62 865 72 73
Email: admin@fibl.ch, Site Internet: www.fibl.ch
Station fédérale de recherches en agroécologie et en agriculture (FAL), Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zürich
Tél. +41 (0)1 377 71 11, Fax +41 (0)1 377 72 01
Site Internet: www.admin.ch/sar/fal

Distribution: IRAB/FiBL

Auteurs:

Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Lukas Pfiffner (IRAB/FiBL)
David Dubois, Lucie Gunst (FAL)

Collaborations:

Werner Stauffer, Padrout Fried (FAL)
Thomas Alföldi, Urs Niggli (IRAB/FiBL)

Rédaction:

Gilles Weidmann (IRAB/FiBL)

Traduction:

Manuel Perret, 1412 Ursins

Mise en page:

Silvia Schiffmann, Daniel Gorba (IRAB/FiBL)

Photos de couverture:

Joseph Hättenschwiler (FAL), Christine Karutz
et Lukas Pfiffner (IRAB/FiBL) © IRAB/FiBL, FAL
ISBN 3-906081-07-9

Au début on se posait la question: L'agriculture biologique est-elle possible?

La recherche moderne doit aller vite: deux ou trois essais en pots dans un local climatisé, et voilà qu'on publie déjà un nouveau papier scientifique. À l'opposé on trouve, tel un monolithe, l'essai de longue durée DOC de l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (IRAB/FiBL) et de la Station fédérale de recherches en agroécologie et en agriculture (FAL). Mais qui peut encore se permettre de mesurer, d'observer, de faire la mise en valeur statistique de ces montagnes de chiffres et de les interpréter chaque année pendant 21 ans?

L'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) a donc fourni une importante contribution en finançant l'essai DOC pendant si longtemps. L'enthousiasme des équipes des deux institutions partenaires depuis 1977 est lui aussi réjouissant. Nous en sommes maintenant à la quatrième période d'assolement, qui dure depuis la 22^{ème} jusqu'à la 28^{ème} année et qui sera terminée en 2006. Et, comme toujours, un groupe d'agriculteurs bio est là pour conseiller et aider les chercheurs à optimiser les systèmes d'agriculture en fonction des besoins de la pratique.

De manière totalement inattendue, le projet de recherche DOC est devenu un thème à la pointe de l'actualité. Des spécialistes développent des concepts de monitoring à long terme des plantes et micro-organismes transgéniques. L'essai DOC démontre en effet que les influences des nouvelles techniques sur les écosystèmes agricoles ne peuvent être définitivement évaluées qu'après de nombreuses années, du moins si on veut éviter de courir le risque de tirer des conclusions erronées.

Au début des années 70, la pratique et la recherche agricoles se sont montrées très sceptiques à l'égard de l'agriculture biologique. Il ne semblait alors pas possible de réussir une production végétale digne de ce nom sans engrais ni produits phytosanitaires chimiques et de synthèse. Bien qu'ils aient déjà été en mesure de présenter de grands succès agricoles, les paysans bio ont été abondamment décriés. Lors de sa frêle éclosion privée à l'IRAB/FiBL, la recherche bio a donc tout d'abord dû apporter la preuve que le bio n'était pas une chimère. C'est la raison pour laquelle l'ancienne Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène de l'environnement (FAC) et l'IRAB/FiBL ont reçu de l'OFAG le mandat de mettre en place un essai à long terme pour comparer entre eux trois systèmes, l'agriculture bio-dynamique, aussi appelée biodynamie (D), l'agriculture organo-biologique (O) et l'agriculture conventionnelle (C). C'est le premier thème de recherche touchant l'agriculture biologique que la Confédération a financé. Lors de la dissolution de la FAC, le suivi de l'essai DOC a été transmis à la FAL.

Le concept de l'essai DOC (parcelles réparties de manière aléatoire à un même endroit, toutes les parcelles étant reliées aux cycles des éléments nutritifs d'un certain nombre de fermes du système agricole correspondant) s'est révélé adéquat pour répondre à de nouvelles questions d'actualité.

Aujourd'hui, plus personne ne doute que l'agriculture biologique fonctionne! Le public et les autorités s'intéressent alors bien davantage à la question de savoir si les produits bio sont meilleurs du point de vue analytique et organoleptique et s'ils possèdent une meilleure vitalité. Mais aussi: Comment les méthodes d'agriculture influencent-elles la structure du sol? Les processus de décomposition qui se déroulent dans le sol sont-ils freinés ou accélérés? À long terme, la protection phytosanitaire nuit-elle à la pédofaune? L'agriculture biologique ou la production intégrée empêchent-elles l'érosion superficielle des terres cultivées? Des dizaines de laboratoires et instituts du monde entier ont étudié des plantes, des micro-organismes, des bestioles et des échantillons de terre provenant de l'essai DOC. Des milliers de résultats de

recherche nous permettent maintenant de mieux appréhender le concept de la durabilité. Ce premier dossier sur l'essai DOC, réimprimé après six mois déjà et maintenant traduit en français, montre bien à quel point la recherche à long terme peut être attractive.

Urs Niggli, Directeur de l'IRAB/FiBL

Chercheurs, équipe de terrain et agriculteurs conseillers lors de la visite annuelle de l'essai DOC en 1991: pour les procédés biologiques, les techniques et les éventuelles modifications sont discutées ensemble. Grande innovation pour l'époque, des agriculteurs praticiens ont participé dès le début à la planification de l'essai.



L'installation d'essai



Photo: Archives IRAB/FBL

L'essai est installé à Bâle (CH), à 300 mètres d'altitude. La topographie harmonieuse de la parcelle de l'essai est légèrement exposée au nord. Ce terrain est situé au fond de la vallée de la Birsig. Avant, ces champs étaient utilisés comme prairies inondables parce que la nappe phréatique était très peu profonde et à cause de leur tendance à être périodiquement sous l'eau. Aujourd'hui ces terres ont été drainées, et on y pratique des grandes cultures et des cultures maraîchères intensives.

La différence principale entre les procédés de l'essai réside dans la stratégie de fumure et de protection phytosanitaire, alors que les rotations des cultures sont quasiment identiques.

Station et sol

La surface sur laquelle l'essai DOC a été installé était utilisée en grandes cultures depuis des décennies (1957-1973: rotation de grandes cultures avec prairies artificielles de graminées et de légumineuses, 1973-1975: céréales et légumes de pleine terre, 1976: avoine). En mai 1977, toute la surface a été ensemencée avec un mélange prairial de graminées et de légumineuses. L'essai proprement dit a démarré au printemps 1978 avec des cultures de pommes de terre, de blé de printemps et d'orge de printemps.

La température annuelle moyenne est de 9.5 °C et la moyenne annuelle des précipitations de 792 millimètres.

Le sol est une terre brune lessivée faiblement pseudo gléique (haplic luvisol) sur une couche de loess épaisse de 0.9 à 1.3 mètres.

Procédés

Le procédé bio-dynamique et le procédé organo-biologique respectent les cahiers des charges des organisations d'agriculture biologique correspondantes, et le procédé conventionnel du début a ensuite évolué vers la production dite intégrée (PI).

En plus des trois procédés principaux, qui reçoivent tous des fumures organiques, il y a depuis le début de la deuxième période d'assolement un procédé conventionnel qui ne reçoit que des engrais minéraux et de synthèse et, depuis le début de l'essai, un procédé sans aucune fumure mais qui reçoit les mêmes soins et façons d'entretien que le procédé bio-dynamique.

Le procédé qui reçoit maintenant une fumure exclusivement minérale et de synthèse avait été au départ conçu comme procédé conventionnel sans fumure pour étudier l'impact des seules mesures phytosanitaires.

Fertilisation

Pendant les deux premières périodes d'assolement, l'épandage des engrais de ferme correspondait à des niveaux de fumure respectives de 0.6 et 1.2 UGBF/ha pour le procédé avec fumure réduite et le procédé avec fumure normale. Au début de la troisième période d'assolement, ces quantités ont été augmentées respectivement à 0.7 et à 1.4 UGBF/ha.

Les procédés biologiques ont reçu fréquemment de petites doses de fumier, alors que les procédés conventionnels ont reçu du fumier seulement pour les cultures sarclées.

La fertilisation des procédés conventionnels respecte les «Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages» des stations fédérales de recherches.

Principales différences entre les procédés

Procédés	Bio-dynamique		Organo-biologique		Conventionnel (PI)		Minéral (PI)	Sans fumure
	D1	D2 *	O1	O2 *	C1	C2 *	M *	N
<i>Fertilisation</i>								
Engrais de ferme	Fumier composté, purin		Fumier mûr, purin aéré		Fumier en tas, purin		–	–
UGBF/ha engrais de ferme	–	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	–
Engrais minéraux et de synthèse	–		Poudres de roches, potasse magnésienne (Patentkali)		Engrais chimiques NPK en complément		Seulement engrais chimiques chimiques NPK	–
<i>Protection phytosanitaire</i>								
Adventices	Mécanique				Mécanique et chimique			Mécanique
Maladies	Mesures préventives				Chimique (seuils de tolérance)			M. préventives
Ravageurs	Extraits de plantes et antagonistes				Chimique (seuils de tolérance)			Extraits de plantes et antagonistes
Particularités	Préparations bio-dynamiques		Cuivre sur pomme de terre jusqu'en 1991		Raccourcisseurs de tiges			Préparations bio-dynamiques



Rotations des cultures

1 ^{ère} PAss 1978-1984	Variété	2 ^{ème} PAss 1985-1991	Variété	3 ^{ème} PAss 1992-1998	Variété	4 ^{ème} PAss 1999-2005	Variété
1) Pomme de terre Engrais vert	Ostara	1) Pomme de terre Engrais vert	Désirée	1) Pomme de terre Engrais vert	Désirée	1) Pomme de terre Engrais vert	Désirée
2) Blé d'automne 1 Dérobée fourragère	Probus	2) Blé d'automne 1 Dérobée fourragère	Sardona	2) Blé d'automne 1 Dérobée fourragère	Ramosa/Tamaro	2) Blé d'automne 1 Engrais vert	Tamaro
3) Chou blanc	Wädenswiler Original	3) Betterave rouge	Mobile	3) Betterave rouge Engrais vert	Mobile	3) Soja	Maple Arrow
4) Blé d'automne 2	Probus	4) Blé d'automne 2	Sardona	4) Blé d'automne 2	Ramosa/Tamaro	4) Maïs d'ensilage	Magister
5) Orge d'automne	Gold	5) Orge d'automne	Gerbel/Triton	5) Prairie artificielle 1	Mélange standard 430	5) Blé d'automne 2	Tamaro
6) Prairie artificielle 1	Mélange standard 330	6) Prairie artificielle 1	Mélange standard 330	6) Prairie artificielle 2	Mélange standard 430	6) Prairie artificielle 1	Mélange standard 330
7) Prairie artificielle 2	Mélange standard 330	7) Prairie artificielle 2	Mélange standard 330	7) Prairie artificielle 3	Mélange standard 430	7) Prairie artificielle 2	Mélange standard 330

Rotation des cultures, choix des variétés et travail du sol

La rotation culturale est la même dans tous les procédés. La durée et la diversité de la rotation culturale forment un compromis entre les différents systèmes d'agriculture, dont les rotations culturales typiques sont normalement nettement différentes dans la pratique.

Au début de chaque nouvelle période d'assolement, la rotation culturale est légèrement réadaptée aux besoins de la pratique et de la recherche en consultant toutes les personnes concernées. Le choix des variétés est lui aussi le résultat d'un compromis entre les exigences de l'agriculture biologique et celles de la production conventionnelle. Le travail de base du sol et la préparation des lits de semis ne diffèrent pas selon les procédés, mais les procédés bio sont sarclés plus souvent.

Utilisation des engrais et des produits phytosanitaires

En moyenne, sur les trois périodes de rotation culturale, les procédés bio ont reçu nettement moins des macroéléments N, P et K. Conformément au concept de l'essai, les apports totaux de matière organique étaient quasiment identiques. Seule différence notable à cet égard: le changement de fournisseur d'engrais de ferme a provoqué dans le procédé bio-dynamique un apport de potasse presque deux fois plus élevé pour la troisième période d'assolement.

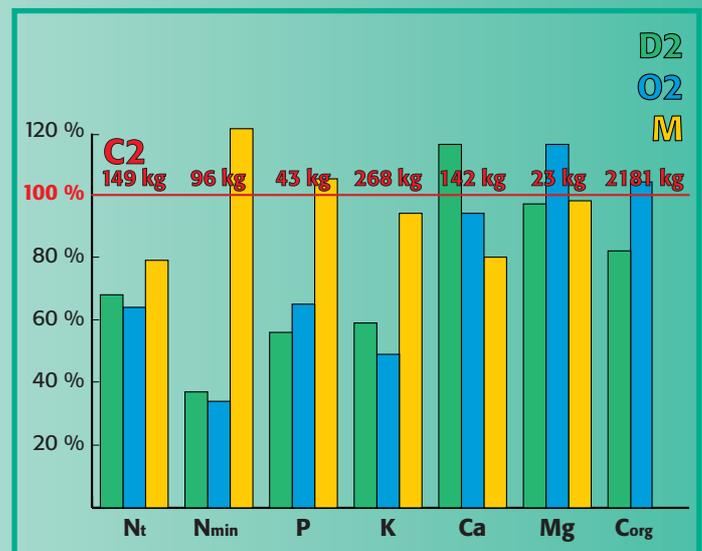
Alors que dans les parcelles conventionnelles les grandes cultures ont reçu en moyenne 3.6 applications de pesticides par année, les parcelles bio n'ont reçu qu'un traitement tous les deux ans environ, et les parcelles bio-dynamiques ont reçu plusieurs fois par année les préparations bio-dynamiques dites de beuse de vache et de silice.

À cause de la forte pression des maladies et des ravageurs, c'est dans les pommes de terre que les traitements ont été les plus fréquents (jusqu'à 9 traitements par année dans le procédé conventionnel). Une lutte directe a aussi dû être faite dans les cultures

de pommes de terre bio, surtout des traitements au cuivre contre le mildiou des fanes et des tubercules (*Phytophthora infestans*) dans le procédé organo-biologique et des traitements au *Bacillus thuringiensis* contre le doryphore dans les deux procédés biologiques.

Les épandages d'engrais et les traitements phytosanitaires ont suivi la pratique des systèmes d'agriculture étudiés.

Apports moyens d'éléments nutritifs par hectare et par année (1978-1998)



Au chapitre des apports d'éléments nutritifs, la différence la plus nette concerne l'azote minéral, dont les procédés biologiques ont reçu 65 % de moins. Les fumures phosphatée et potassique ont été quant à elles respectivement 40 et 45 % plus faibles dans les procédés biologiques que dans le procédé conventionnel.

Le bio atteint-il des rendements corrects?

Même à long terme, les cultures biologiques n'atteignent pas le niveau de rendement des cultures qui reçoivent des engrais chimiques et des pesticides de synthèse. L'agriculture biologique doit tabler sur des rendements plus faibles de 20 % en moyenne.

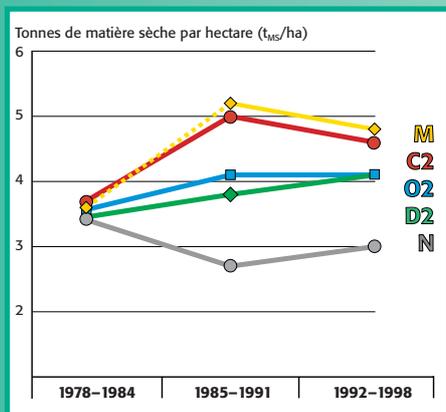
Dans les systèmes d'agriculture biologique, 50 % d'engrais et d'énergie fossile en moins et l'absence de tout traitement de synthèse ont provoqué une baisse moyenne des rendements de 21 % seulement. Pour expliquer le fait que les rendements des procédés bio aient été en moyenne plus élevés que ce à quoi on aurait pu s'attendre, on est en droit de supposer que, dans les sols bio, les plantes sont à même de mieux profiter des possibilités offertes par les symbioses racinaires avec les rhizobies et les champignons mycorhiziens.

Dans les cultures de pommes de terre de l'essai DOC, les rendements des procédés biologiques ont été beaucoup plus faibles que ceux du procédé conventionnel. Ce phénomène devrait pouvoir s'expliquer par le fait que les grands besoins nutritifs de cette culture sont concentrés sur une période relativement courte et par la grande sensibilité des pommes de terre aux maladies.

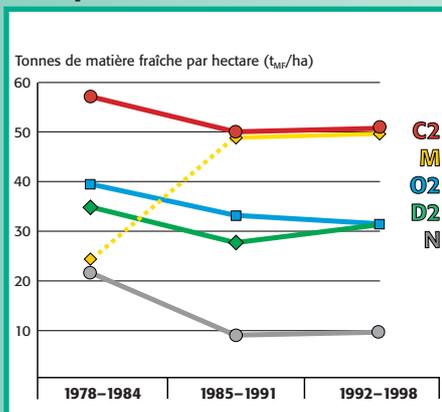
Grâce aux très bonnes rotations culturales et au désherbage mécanique, les adventices n'ont jamais représenté une concurrence sérieuse pour aucune culture bio. Cependant, la possibilité offerte aux systèmes conventionnels de faire des traitements phytosanitaires directs (y. c. désherbage) en fonction des besoins a permis aux systèmes conventionnels d'atteindre une stabilité de rendement légèrement supérieure.

L'avenir de cet essai montrera si l'intensification des processus de transformation qui se déroulent dans les sols bio permet aux systèmes agricoles bio de compenser la baisse des teneurs en éléments nutritifs du sol.

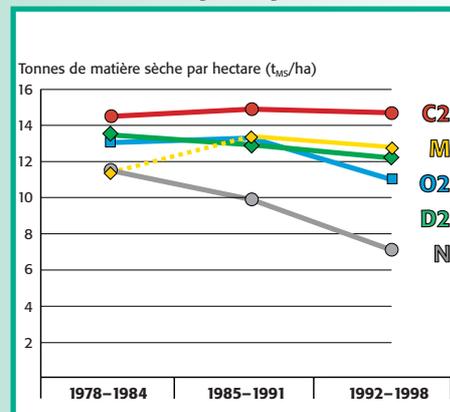
Rendements en grain du blé d'automne



Rendements en tubercules de pommes de terre



Rendements des prairies artificielles (mélanges de graminées et de légumineuses) en 1^{ère} et en 2^{ème} année d'utilisation principale



Pendant la première période d'assolement, les rendements du blé d'automne des différents systèmes d'agriculture sont restés comparables. Ensuite, les différences de rendement entre les procédés habituellement pratiqués ont atteint entre 11 et 14 %. Pendant la deuxième période d'assolement, l'amélioration des techniques de mise en place et l'utilisation de meilleures variétés ont provoqué dans tous les systèmes d'agriculture une augmentation des rendements du blé d'automne, qui ont depuis lors fluctué autour de 4.1 tonnes de matière sèche à l'hectare dans les procédés bio.

Dans les procédés biologiques, les rendements des pommes de terre ont été de 34 à 42 % plus bas que dans les procédés conventionnels. Ce fait a déjà pu être constaté peu de temps après la reconversion. En plus d'un rendement global plus faible, la proportion de marchandise commercialisable s'est révélée plus faible dans les procédés biologiques à cause de la diminution du rendement au triage et de l'augmentation des dégâts de ver fil de fer (taupin).

Avec 11 à 13 %, les différences de rendements des deux années d'utilisation principale des prairies artificielles ont été relativement faibles.

Les différences entre les rendements des procédés biologiques et conventionnels ont augmenté au cours de la troisième période d'assolement, ce qui peut s'expliquer par le changement de mélange prairial et par la légère diminution des apports d'engrais de ferme. Au cours de la troisième période d'assolement, la petite différence entre les deux procédés biologiques trouve son explication dans l'augmentation des apports de potassium dans le procédé bio-dynamique.

Les exportations et les apports d'éléments nutritifs sont-ils en équilibre?

Les procédés bio ne reçoivent pratiquement aucun engrais du commerce, ce qui n'a pas empêché les exportations d'éléments nutritifs d'être relativement importantes. C'est ce qui explique que les bilans de fumure des procédés bio soient nettement négatifs pour les macroéléments N, P et K.

Sur l'ensemble des 21 années prises en considération, tous les procédés montrent un déficit **d'azote**. Cela signifie que les apports par la fumure ont été beaucoup plus faibles que les exportations. Notons toutefois que ce bilan ne tient compte ni de la minéralisation de l'azote, ni de la fixation de l'azote par les légumineuses, ni des apports provenant de l'atmosphère.

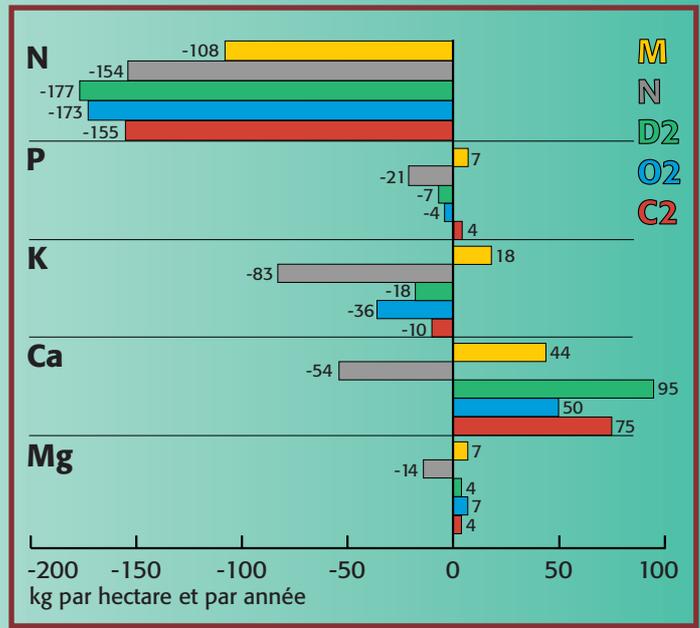
Pour le **phosphore**, on note un surplus dans le procédé conventionnel et un léger déficit dans les procédés biologiques.

Voyons maintenant la **potasse**, qui laisse un surplus dans le procédé avec fumure minérale, et pour laquelle le déficit le plus important se trouve dans le procédé organo-biologique fertilisé avec du fumier.

On voit enfin que tous les procédés ont reçu assez de **calcium** et que le surplus le plus important se trouve dans le procédé bio-dynamique.

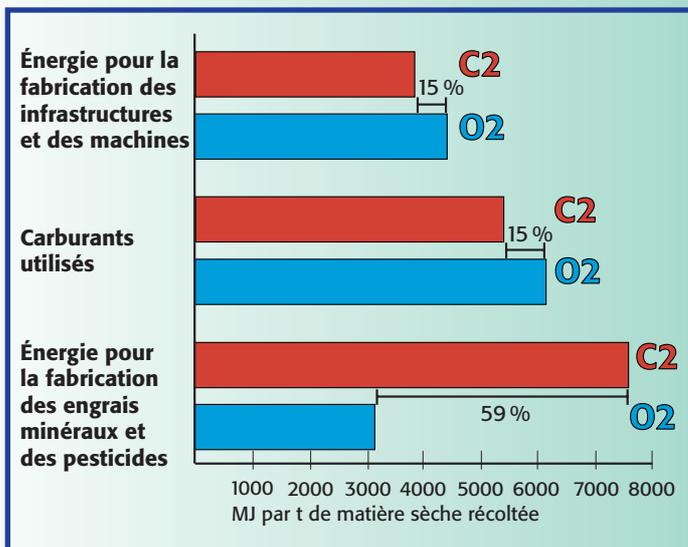
Les surfaces cultivées en bio montrent de plus grands déficits d'éléments nutritifs. C'est pourquoi des analyses de terre doivent régulièrement déterminer les quantités d'éléments nutritifs disponibles et en réserve.

Bilan de fumure 1978-1998



Le bio est-il plus économe?

Énergie directe et indirecte



L'agriculture biologique a besoin d'un peu plus d'énergie pour les infrastructures et les machines, et, si elle utilise plus de carburant, elle consomme par contre nettement moins de ressources pour les engrais et les produits phytosanitaires.

Les cultures biologiques ont besoin de moins d'énergie fossile par unité de produit récolté que les cultures conventionnelles.

L'efficacité de l'utilisation des ressources existantes est un indicateur important de la durabilité d'un système de production. Pour calculer cette efficacité, on convertit en énergie tous les facteurs qui contribuent à la production d'une unité de produit récolté. Pour que la comparaison de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie soit valable, il faut tenir compte non seulement de l'énergie utilisée directement telle quelle, comme par exemple le carburant pour faire marcher les tracteurs, mais aussi de l'énergie indirecte, c.-à-d. celle qui est utilisée pour fabriquer les intrants utilisés dans la production agricole, comme par exemple les produits phytosanitaires et les engrais.

Comme les rendements conventionnels sont souvent nettement plus hauts, la différence par unité de produit récolté est relativement faible: 19 %. Si on effectue cette comparaison par rapport à la surface cultivée, la différence atteint par contre 30 à 50 %.

Le bio fait-il du bien au sol?

La fumure organique influence positivement la teneur du sol en matière organique et empêche l'acidification du sol.

La matière organique (MO) du sol et le pH influencent fortement la structure du sol, son activité biologique et la croissance des plantes.

On constate depuis le début de l'essai DOC une diminution de la teneur en matière organique dans tous les procédés. Dans les sols qui ne reçoivent aucune fumure organique, la diminution de la teneur en carbone (C) organique est plus nette que dans les procédés D2, O2 et C2, où les pertes de matière organique sont à peu près semblables. La teneur en carbone du procédé D2 était à la fin de la troisième période d'assolement 15 % plus élevée que dans le procédé conventionnel avec engrais de ferme et 30 % plus haute que dans le procédé sans aucune fumure.

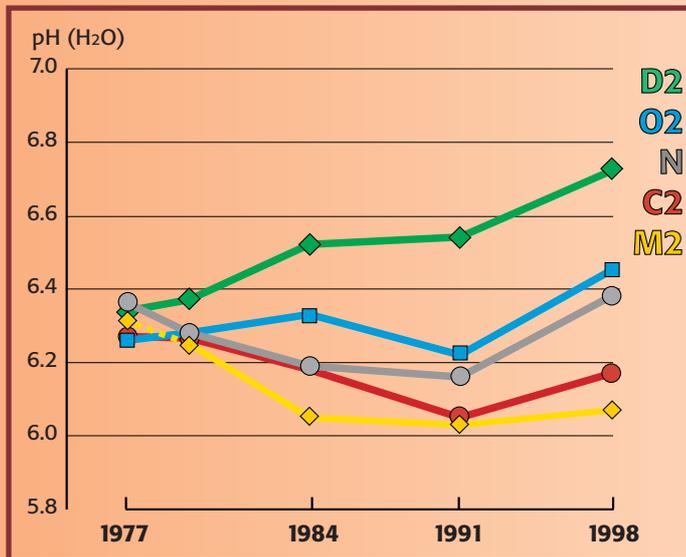
L'utilisation de fumier composté influence positivement aussi bien le pH du sol que sa teneur en matière organique. Des méthodes biologiques et physiques de fractionnement de la matière organique le montrent aussi. On le voit bien en isolant les humines: ces substances sont considérées comme biologiquement stables, et on en trouve nettement plus dans le procédé bio-dynamique.



Photo: Archives IRAB/FIBL

Dans le procédé bio-dynamique, l'utilisation de fumier composté influence positivement le pH du sol, sa teneur en humines et son activité biologique.

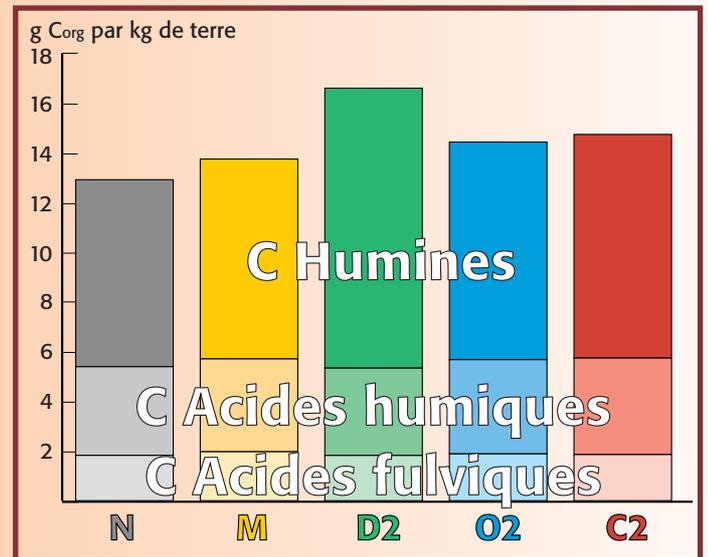
Acidité du sol



Par rapport à la situation de départ, le pH a fortement augmenté dans le procédé bio-dynamique, légèrement augmenté dans le procédé organo-biologique et légèrement diminué dans les deux procédés conventionnels. Cette diminution du pH est certainement due à l'effet acidifiant des engrais minéraux utilisés.

Pour réagir à cette tendance à l'acidification dans les procédés conventionnels, on y utilise maintenant des engrais minéraux alcalinisants. Les procédés conventionnels ont en outre reçu un chaulage d'entretien en 1999.

Répartition du carbone entre les diverses sortes d'humines



En règle générale, la teneur totale en matière organique ne réagit que lentement aux changements des méthodes de culture. Le fractionnement chimique de la matière organique nous donne donc davantage de renseignements. La plus forte teneur en matière organique du procédé bio-dynamique est due à une plus grande proportion de molécules organiques stables, représentées ici par la classe des humines.

Le bio épuise-t-il les sols?

Conséquence des bilans de fumure négatifs, les teneurs en phosphore et en potasse très solubles diminuent nettement, alors que les réserves de ces éléments diminuent moins vite.

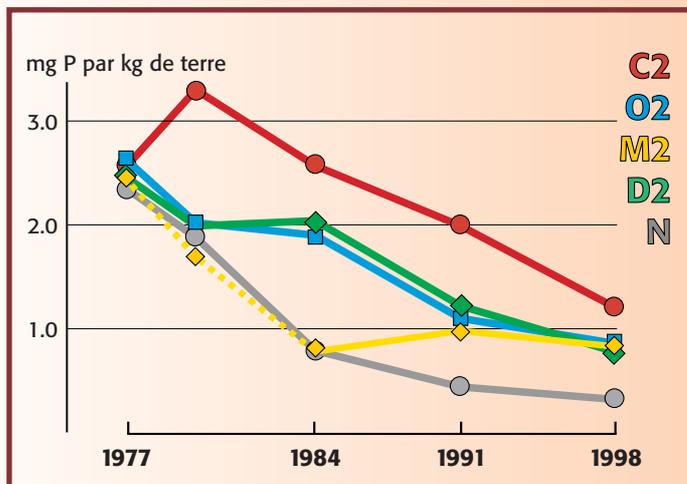


Photo: Archives FAL

Malgré les teneurs relativement faibles en phosphore soluble à l'eau, aucun des procédés recevant une fumure n'a souffert d'une carence en cet élément. Dans les procédés biologiques, cela s'explique par l'intensification du transfert du phosphore entre la phase aqueuse et la phase solide du sol ainsi que par une augmentation de la contribution de la biomasse microbienne à la nutrition des plantes (études de l'institut des sciences végétales de l'EPF Zurich).

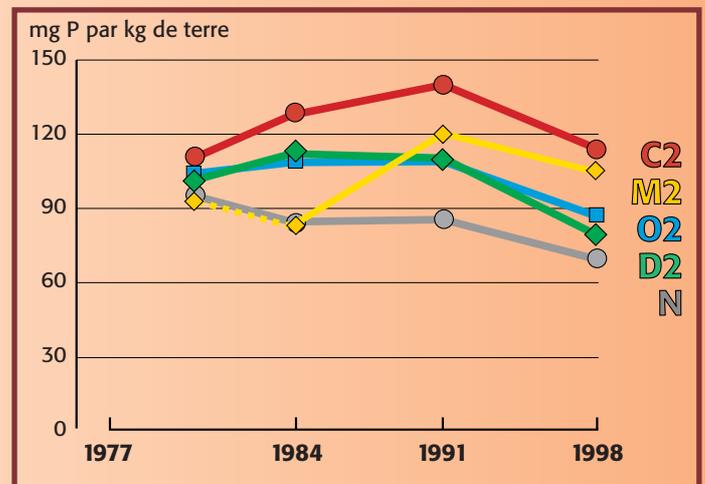
Dans les pommes de terre des procédés bio, la potasse est très vite devenue un facteur limitant les rendements. Une fumure potassique de complément avec des engrais du commerce s'avère donc souvent nécessaire dans cette culture, même en agriculture biologique.

Phosphore soluble à l'eau (extrait au CO₂)



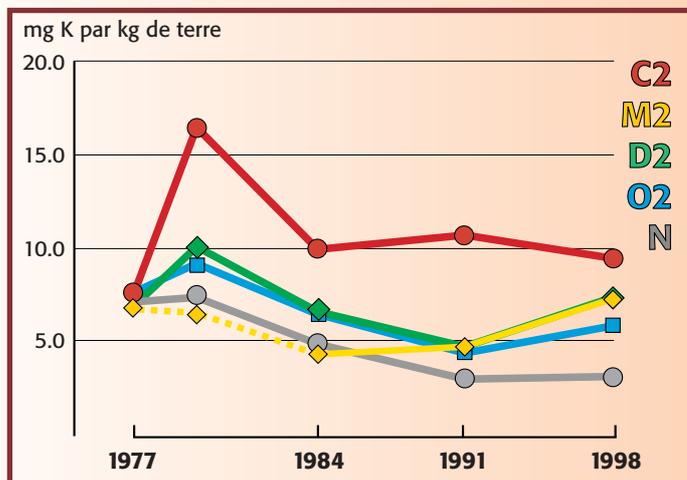
Dans tous les procédés, les teneurs en phosphore soluble à l'eau ont nettement diminué au cours de l'essai. Au début, le procédé conventionnel avait reçu une fumure potassique et phosphatée de correction, ce qui explique que la teneur en phosphore soluble ait d'abord nettement augmenté dans le procédé C2 pour ensuite diminuer régulièrement pour rejoindre le niveau des autres procédés.

Phosphore soluble à l'acide citrique



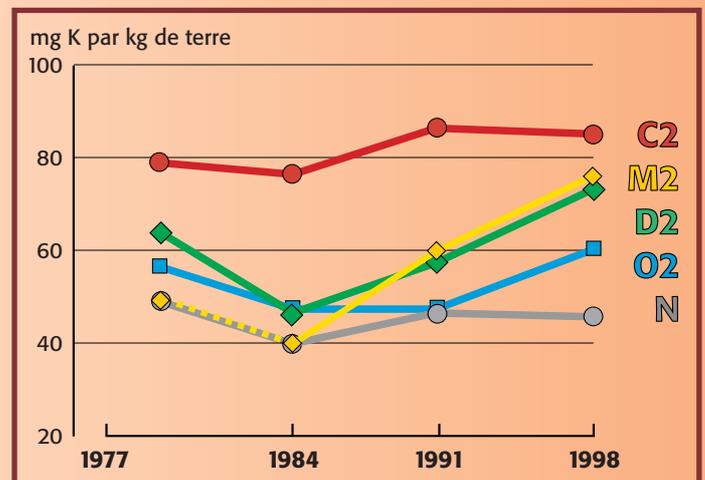
La fraction du phosphore soluble à l'acide citrique est moins facilement disponible, et on l'utilise pour refléter l'état des réserves de phosphore. Il n'y a pas de grand changement depuis le début de ces mesures-là en 1980 – mais les teneurs des procédés conventionnels sont nettement plus élevées que celles des procédés biologiques.

Potassium soluble à l'eau (extrait au CO₂)



Même si elles étaient basses dès le début de l'essai, les teneurs en potassium soluble à l'eau des sols bio ne montrent pas de tendance particulièrement nette. On voit par contre bien l'effet de la fumure de correction faite au début de l'essai dans le procédé conventionnel.

Potassium soluble au lactate double



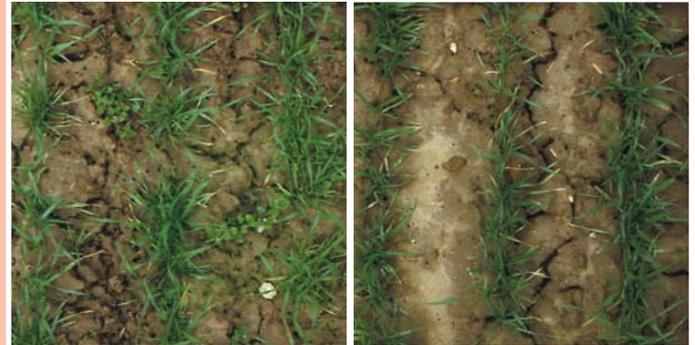
La fraction du potassium disponible ultérieurement, le potassium soluble au lactate double, semble augmenter légèrement, et les valeurs sont plus hautes dans le procédé conventionnel.

Le bio améliore-t-il la structure du sol?

En améliorant la colonisation du sol par le vivant, l'agriculture biologique améliore sa structure, ce qui réduit les phénomènes d'érosion.

La constitution de la fertilité du sol est un des objectifs importants de l'agriculture durable. Selon l'Ordonnance fédérale sur les atteintes portées aux sols (OSol), «le sol est considéré comme fertile s'il présente une biocénose diversifiée et biologiquement active, une structure typique pour sa station et une capacité de décomposition intacte».

Les résultats de l'essai DOC montrent qu'il ne suffit pas d'utiliser soigneusement et avec retenue les machines agricoles pour conserver intacte la structure du sol. La fumure et la protection des plantes doivent elles aussi être conçues de manière à favoriser la vie du sol pour que sa colonisation par le vivant débouche sur la formation d'un sol bien structuré.

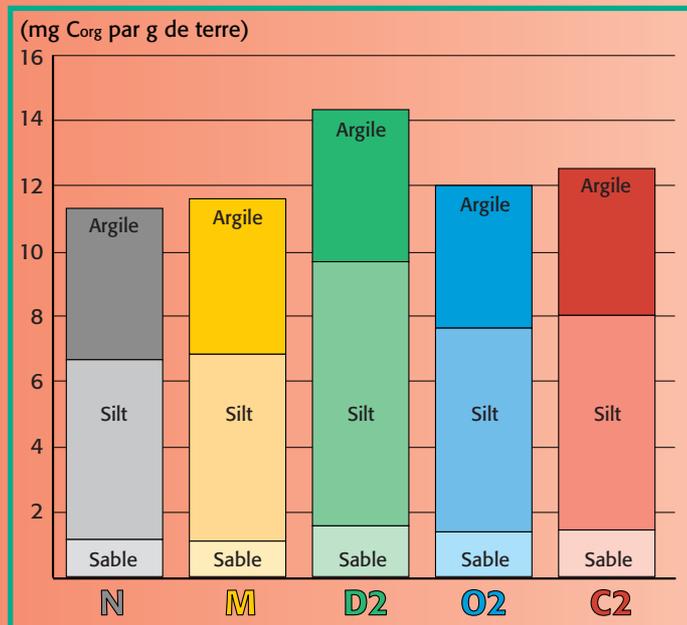


Photos: Thomas Alföldi (IRAB/FiBL)

La matière organique lie les particules du sol et lui confère une bonne structure.

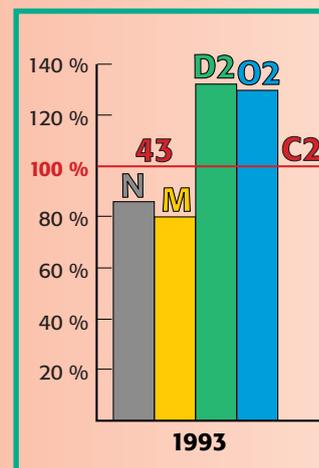
Au printemps, quand le sol n'est pas encore entièrement recouvert par la végétation, les sols de l'essai DOC montrent de nettes différences de structure et de tendance à la battance. On notera en particulier les différences très visibles entre les structures des sols du procédé bio-dynamique (à gauche) et conventionnel minéral (à droite).

Répartition du carbone dans les différentes fractions minérales des sols

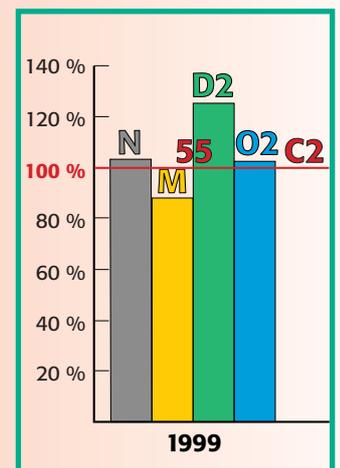


La répartition des particules minérales du sol en fonction de leur grandeur montre que les différences entre les teneurs en carbone organique total (C_{org}) sont surtout dues à une augmentation des teneurs en C_{org} du silt. C'est donc sur ce phénomène que repose la plus faible tendance à la battance des sols bio-dynamiques.

Stabilité à la percolation (ml par min.)



Stabilité des agrégats (% d'agrégats stables > 250 µm)



La technique dite de percolation, qui reflète la tendance à l'érosion des sols, a mis en évidence qu'il y a jusqu'à 30 % d'agrégats stables de plus dans les procédés biologiques que dans le procédé conventionnel avec engrais de ferme. Cette différence atteint même 60 % par rapport au procédé conventionnel minéral. Ces différences sont un peu moins nettes avec une technique de tamisage humide utilisée pour étudier des échantillons de terre ayant conservé leur humidité naturelle, mais elles atteignent tout de même encore 10 à 20 %. Lorsqu'on étudie des échantillons séchés (méthode standard), les différences deviennent très faibles, ce qui démontre que la vie du sol exerce une influence décisive sur la structure du sol.

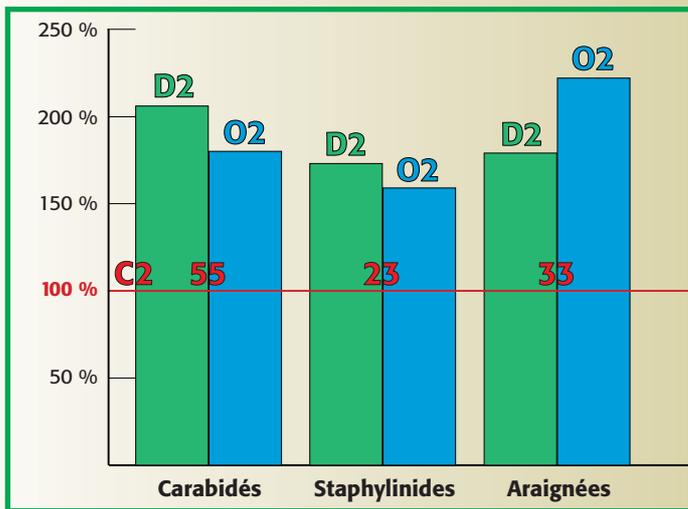
Les sols bio sont-ils plus vivants?

Photo: Siegfried Keller (FAL)



Arthropodes

Fréquence des carabidés, des staphylinides et des araignées (moyennes de 1988, 1990 et 1991)



Dans les parcelles bio, les arthropodes vivant à la surface du sol sont presque deux fois plus nombreux que dans les parcelles conventionnelles. Cette différence s'explique par la différence des apports d'engrais et de produits phytosanitaires. Ces arthropodes sont en effet directement tués par divers pesticides alors que d'autres produits chimiques réduisent fortement le nombre de proies à leur disposition. La flore adventice plus riche et la densité moins grande des cultures biologiques améliore considérablement les conditions de vie de nombreuses espèces de ces arthropodes. C'est ainsi que les espèces menacées de carabidés et celles qui ont des exigences microclimatiques très pointues n'ont en général pu être trouvées que dans les parcelles biologiques.

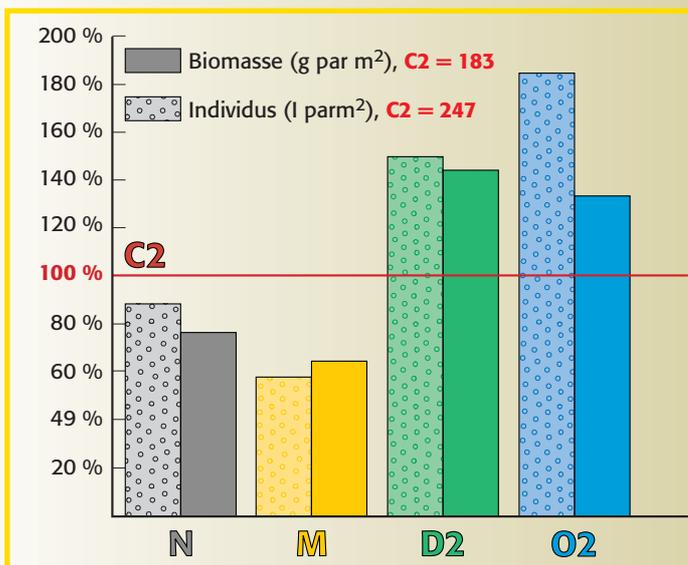
Les arthropodes comme les carabidés, les staphylinides et les araignées sont considérés comme de sensibles indicateurs biologiques de la qualité du biotope. De nombreuses espèces appartenant à ces groupes du règne animal sont importantes parce qu'elles exterminent de grandes quantités de ravageurs de nombreuses cultures agricoles. Ces bestioles vivent en dévorant d'autres insectes: ils peuvent manger chaque jour jusqu'à deux fois leur poids de proies diverses.

L'agriculture biologique favorise le développement des vers de terre et des insectes vivant à la surface du sol, et les nombreux prédateurs contribuent à maîtriser les ravageurs.



Vers de terre

Fréquence des carabidés, des staphylinides et des araignées (moyennes de 1988, 1990 et 1991)



C'est bien connu, les vers de terre réagissent de manière très sensible à de nombreux produits phytosanitaires. Puisque de nombreux autres facteurs comme le travail du sol et la rotation culturale sont très semblables dans tous les procédés de l'essai DOC, les différences entre les procédés biologiques et conventionnels sont à priori interprétées comme une réaction à l'utilisation de divers pesticides dans les parcelles conventionnelles.

Les prairies artificielles de la rotation culturale et les engrais organiques ont grandement favorisé le développement des populations de vers de terre. Les vers de terre les plus importants du point de vue de l'agroécologie, ceux qui creusent des galeries verticales (*Nicodrilus* sp.), sont plus nombreux dans les procédés biologiques.

Lors de tous les contrôles, les procédés biologiques ont toujours eu le plus grand nombre d'individus et la plus importante biomasse de vers de terre. La biomasse des vers de terre était de 30 à 40 % plus grande que dans les procédés conventionnels, et le nombre d'individus plus élevé de 50 à 80 %. Les différences sont encore plus grandes par rapport au procédé sans aucune fumure organique.

Photo: Daniel Zwiygart

Le cycle du carbone dans le sol

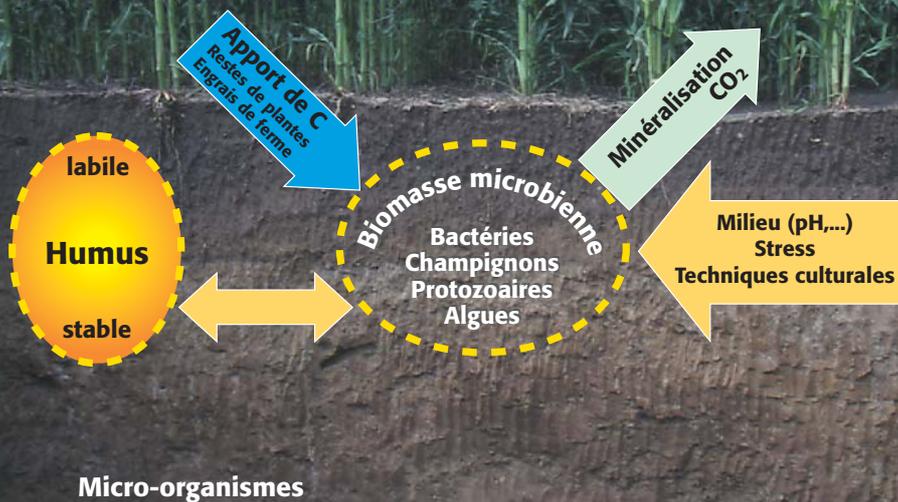
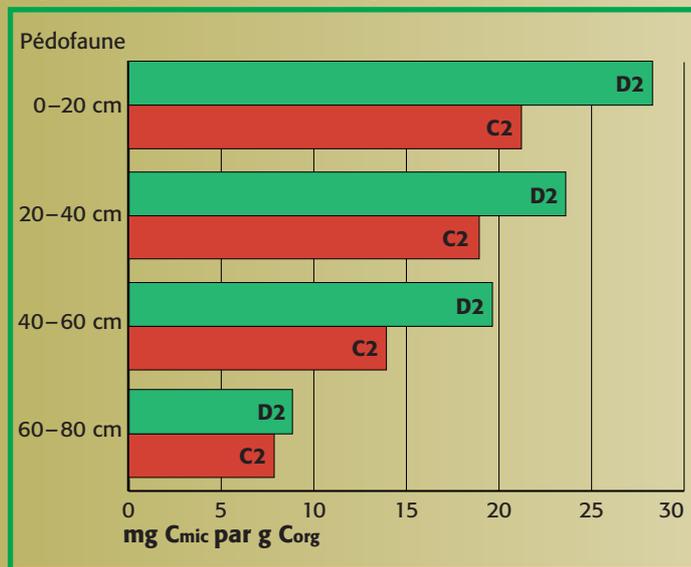


Photo: Gabriela Brändle (FAL); Illustration: Silvia Schiffmann (IRAB/FIBL)

Le sol est un endroit où vivent des plantes, des animaux et des micro-organismes. Tandis que les plantes fabriquent de la biomasse, la pédofaune s'en nourrit et les micro-organismes assurent finalement la décomposition du tout en CO₂ et en substances minérales.

Les êtres vivants du sol représentent un élément capital de la fertilité du sol: ils referment les cycles des éléments nutritifs, et ils remettent les substances minérales à disposition des plantes. Une partie de carbone est respirée en CO₂ par les micro-organismes qui l'utilisent pour former leur propre substance corporelle. Une autre partie du carbone reste cependant dans le sol, où elle est transformée en humus, liant alors entre elles les particules minérales du sol pour former des agrégats.

Proportion de carbone microbien (C_{mic}) par rapport au carbone organique total

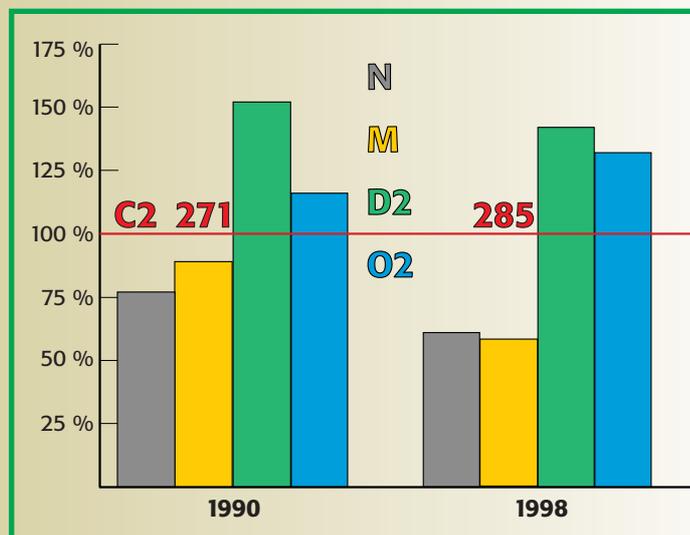


La proportion de micro-organismes dans la masse totale de matière organique du sol représente le degré de colonisation du sol par le vivant.

Le rapport du carbone microbien (C_{mic}) au carbone organique total (C_{org}) est plus haut dans les procédés biologiques que dans les procédés conventionnels avec et sans engrais organiques. Cette différence persiste jusqu'à une profondeur de 60 cm, et c'est seulement à 80 cm de profondeur qu'on ne peut plus distinguer de différence entre les différents procédés.

Les différences constatées en dessous de la couche travaillée (0 à 20 cm) sont certainement une conséquence de la plus grande activité des vers de terre dans les procédés biologiques.

Biomasse microbienne (mg C_{mic} par kg de terre)



La masse totale formée par l'ensemble des micro-organismes est régulièrement plus importante de 20 à 40 % dans les procédés biologiques que dans le procédé conventionnel avec fumure organique et de 60 à 85 % plus importante que dans le procédé sans aucune fumure organique. Ce classement des procédés est apparu en 1990 déjà.

On a en outre pu mettre en évidence une étroite relation entre la biomasse microbienne et l'activité enzymatique d'une part et l'acidité du sol et sa teneur en matière organique d'autre part.

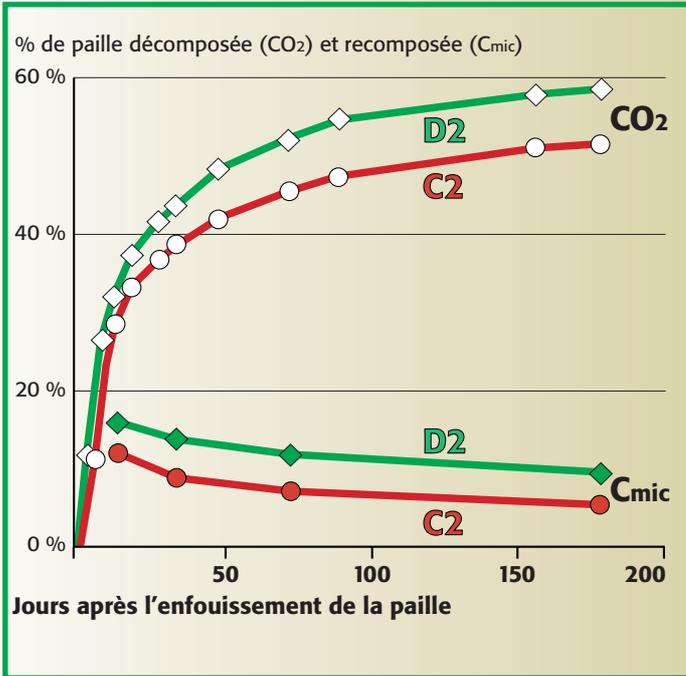


Si toute la paille de blé reste au champ, ces 10 tonnes de restes de plantes – la paille et les racines contiennent en moyenne 40 % de carbone – vont apporter au sol chaque année entre 4'000 et 8'000 kg de carbone par hectare.

Photo: Hansueli Dierauer (IRAB/FIBL)

Dans le sol, les vers de terre, les champignons, les bactéries et tous les autres micro-organismes travaillent main dans la main. Puisque ces organismes sont plus actifs dans les parcelles bio, les éléments nutritifs apportés par la fumure sont rendus plus rapidement disponibles pour les plantes et, en même temps, une plus grande quantité d'humus est produite.

Respiration et augmentation de la biomasse microbienne après l'enfouissement de la paille

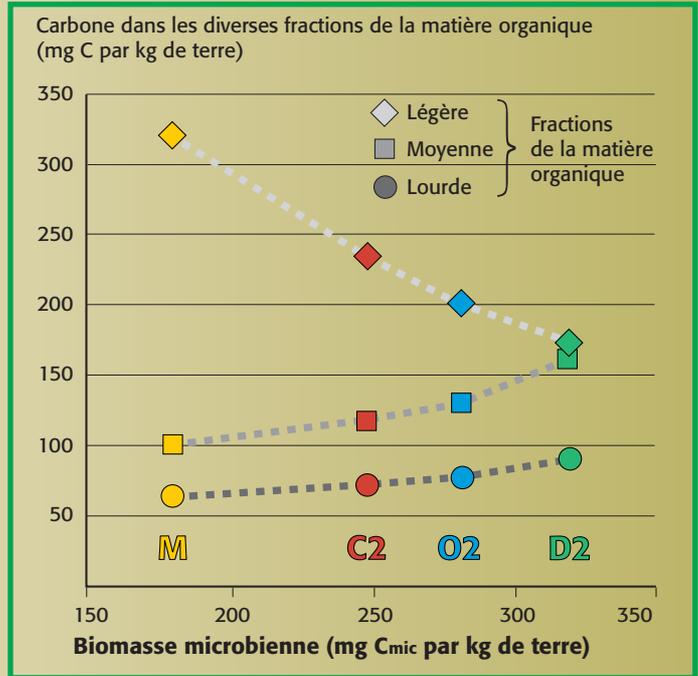


Une plus grande partie de la paille a été décomposée et respirée (CO₂) dans le sol du procédé bio-dynamique que dans celui du procédé conventionnel, mais en même temps une plus grande partie a aussi été «recomposée», c.-à-d. incorporée à la biomasse microbienne (C_{mic}). Il reste donc à la fin beaucoup moins de paille intacte dans le procédé bio-dynamique. Cela montre clairement que les processus de minéralisation ne sont pas les seuls à être plus intensifs dans les procédés bio, mais que les processus de formation de l'humus suivent la même tendance.

On peut ainsi très bien mesurer l'activité globale des micro-organismes à l'aide des enzymes contenues dans leurs cellules, comme on le fait p. ex. avec l'activité de la déhydrogénase. Cette enzyme joue un rôle important dans le métabolisme respiratoire. Les protéases sont quant à elles des enzymes qui normalement dissocient des protéines en dehors de la cellule, alors que les phosphatases dissocient les molécules organiques phosphatées, ce qui leur confère un rôle de transmetteur entre la plante et les réserves de phosphate organique du sol. L'activité enzymatique des sols des procédés biologiques est nettement plus élevée que dans les parcelles conventionnelles. Dans le cas de la déhydrogénase, on pouvait constater en 1990 les mêmes différences entre les procédés qu'en 1998.

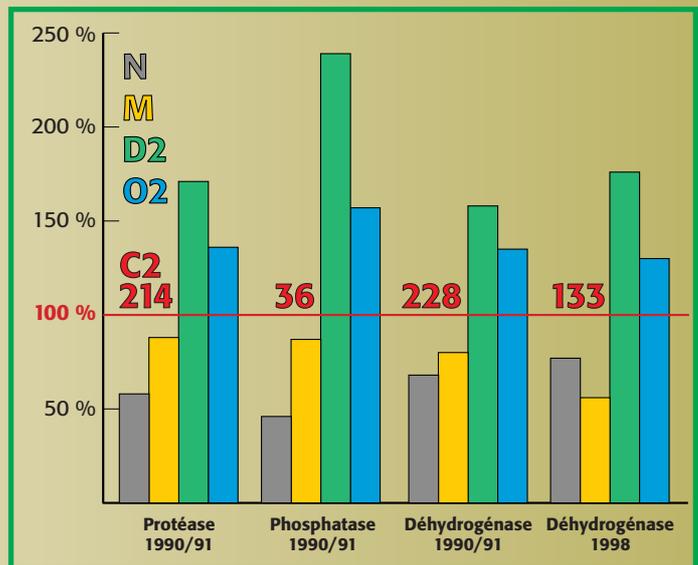
Activité de la déhydrogénase: µg de Triphenyl-Formazan (TPF) par g de terre et par jour;
 Activité de la protéase: µg de tyrosine par g de terre et par heure;
 Activité de la phosphatase alcaline: µg de phénol par g de terre et par heure.

Importance des micro-organismes dans la décomposition de la matière organique



La matière organique restée dans le sol et qui possède encore des structures végétales (la fraction légère) permet de mettre en évidence la relation entre la biomasse microbienne et son activité de décomposition. La fraction «légère» de la matière organique est séparée de la terre en l'immergeant dans de l'eau. Lorsque la biomasse microbienne est plus importante, comme c'est le cas dans les procédés biologiques, il subsiste moins de matière organique végétale.

Les enzymes du sol servent d'indicateur pour les fonctions microbiennes



**Dans les cultures bio,
l'amélioration des symbioses
avec les champignons
de la mycorhize permet de mieux
mettre en valeur les sols.**

Une partie de la biomasse microbienne du sol est constituée par les champignons de la mycorhize, qui vivent en symbiose avec les racines des plantes. Cette symbiose profite aussi bien aux plantes qu'aux champignons. Les plantes reçoivent des nutriments transportés par le mycélium des champignons, et elles livrent en contrepartie des sucres et d'autres molécules organiques. Les champignons mycorhiziens augmentent le volume racinaire des plantes en pénétrant dans des pores plus fins du sol pour aller y chercher des éléments nutritifs qu'ils peuvent ensuite transporter jusqu'aux plantes.

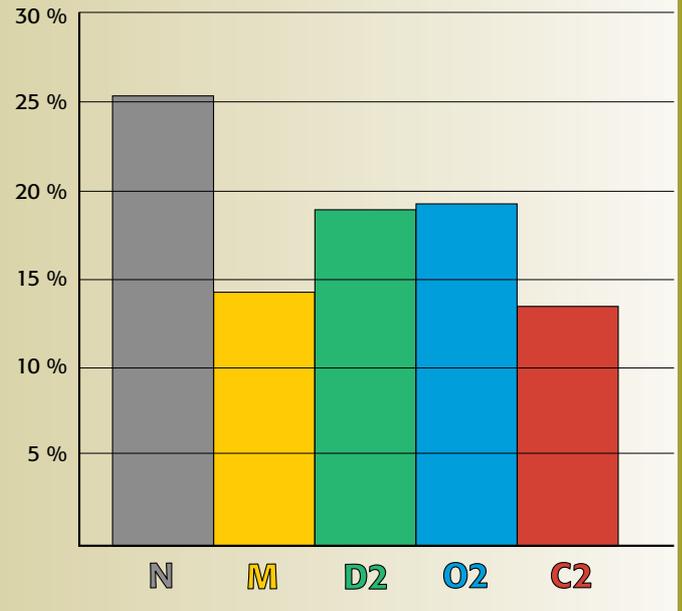
Les résultats les plus récents montrent que les champignons de la mycorhize sont aussi capables de relier plusieurs plantes entre elles. Il serait donc possible que des nutriments et d'autres facteurs de croissance puissent de cette manière transiter d'une plante à l'autre. Les champignons mycorhiziens sont aussi capables de sauver du lessivage de considérables quantités d'azote provenant de racines de légumineuses en train de mourir en le transportant vers d'autres sortes de plantes. Un autre rôle important des champignons mycorhiziens est de stabiliser les agrégats du sol.

Spores de champignons de la mycorhize.

Photo: Institut botanique de l'université de Bâle

**Colonisation des racines
par des champignons mycorhiziens symbiotiques**

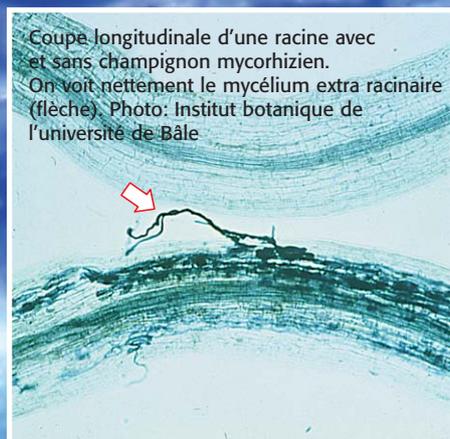
% de longueur de racine mycorhizée



Sur la moyenne de toutes les cultures, c'est dans le procédé sans aucune fumure que les plantes ont le plus de champignons mycorhiziens. Viennent ensuite les procédés biologiques, puis enfin, avec des valeurs plus basses de 30 %, les deux procédés conventionnels.

Dans les cultures de l'essai DOC, c'est dans les mélanges de graminées et de légumineuses des prairies artificielles qu'on a trouvé la plus forte mycorhization des racines, suivis par les engrais verts de vesce et de seigle. Les racines du blé d'automne ont par contre d'assez faibles mycorhizes.

Même après avoir inoculé tous les sols de l'essai DOC avec des champignons mycorhiziens en surplus, la mycorhization des sols des procédés bio est restée supérieure, comme l'ont montré des études de l'institut de botanique de l'université de Bâle. Cela montre que cette mesure ne suffit pas à elle seule à favoriser ces symbioses. Il est en effet nécessaire que la fumure et la protection phytosanitaire protègent l'habitat des champignons mycorhiziens au lieu de lui nuire.



Coupe longitudinale d'une racine avec et sans champignon mycorhizien. On voit nettement le mycélium extra racinaire (flèche). Photo: Institut botanique de l'université de Bâle

Dans les racines, les organes de stockage des champignons de la mycorhize, appelés vésicules, contiennent des lipides (boules colorées en bleu). Photo: Paul Mäder (IRAB/FIBL)

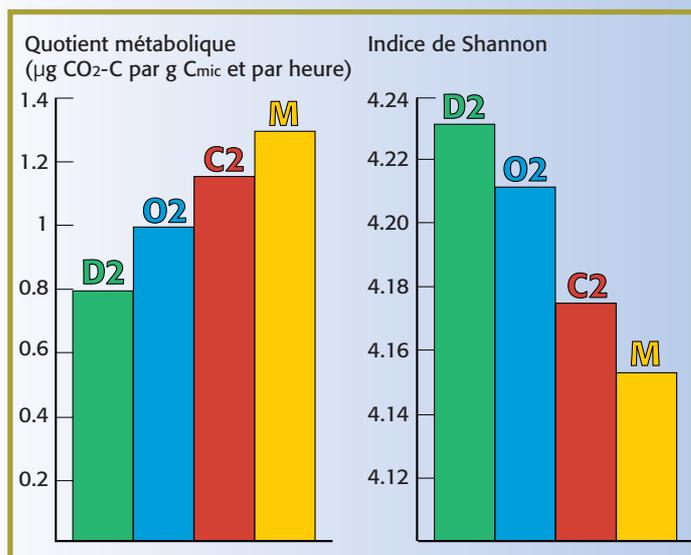
Une plus grande biodiversité dans nos cultures – à quoi cela sert-il?

Les écosystèmes résistants et bien adaptés à la station se distinguent par une grande diversité d'espèces. La chaîne alimentaire est fermée, et les éléments nutritifs s'y trouvent avant tout sous forme de matière organique. Cela correspond à l'un des principes de base de l'agriculture biologique, la fermeture des cycles des éléments nutritifs.

L'essai DOC montre que, même sans efforts spéciaux concernant des surfaces naturelles limitrophes, l'agriculture biologique permet la présence de plus nombreuses espèces d'adventices et de petites bestioles. Dans les systèmes conventionnels, la densité des cultures et les traitements herbicides réduisent très fortement la flore adventice. Pourtant, là où se trouve une flore diversifiée se trouvent aussi davantage de petites bestioles qui butinent les fleurs ou mangent les plantes, ce qui à son tour améliore l'alimentation des arthropodes prédateurs comme p. ex. les carabidés.

C'est ainsi que les populations des très mobiles carabidés se différencient dans les parcelles bio de l'essai DOC tant par le nombre d'espèces que par leur répartition. Sur les 39 espèces de carabidés effectivement répertoriées dans l'essai DOC, celles qui sont menacées ou qui ont des exigences microclimatiques particulières se trouvent davantage voire exclusivement dans les cultures biologiques.

Utilisation de l'énergie et diversité microbienne (1995/1996)



Le potentiel de décomposition microbienne a été étudié sur la base d'un modèle d'utilisation de substrats. Ce potentiel fournit des indications sur la diversité des micro-organismes du sol.

Dans l'essai DOC, la diversité microbienne était surtout plus grande dans le procédé bio-dynamique que dans les procédés conventionnels, mais seulement lors des comptages de printemps. En automne, la microflore se modifie après l'enfouisse-

Les surfaces bio se distinguent par une plus grande diversité de plantes, de bêtes et de micro-organismes, ce qui rend l'écosystème bio plus résistant aux perturbations et au stress.

La grande diversité microbienne, quant à elle, améliore l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.



Photo: Lukas Pfiffner (IRAB/FIBL)

Dans les grandes cultures, même une petite population d'adventices permet déjà d'améliorer leur attractivité pour les carabidés et les autres auxiliaires.

Nombre d'espèces dans les différents systèmes agricoles

	Adventices (88-91)	Stock grainier (96-98)	Carabidés (88-91)	Vers de terre (90-92)
D2	11	17	38	7
O2	9	19	35	8
C2	1	17	32	6

Un nombre nettement plus élevé d'espèces d'adventices peuvent se développer dans les parcelles bio que dans les cultures conventionnelles, ce qui améliore les conditions de vie d'un grand nombre d'espèces de carabidés. On a aussi trouvé davantage d'espèces de vers de terre dans les surfaces biologiques, et en particulier les espèces écologiquement importantes, celles qui creusent des galeries verticales. Par contre, même après 21 ans, on ne trouve pas de différences entre les stocks grainiers ou entre les espèces qui les composent.

ment des résidus de récolte et des engrais, et on ne voit plus de différences entre les divers procédés.

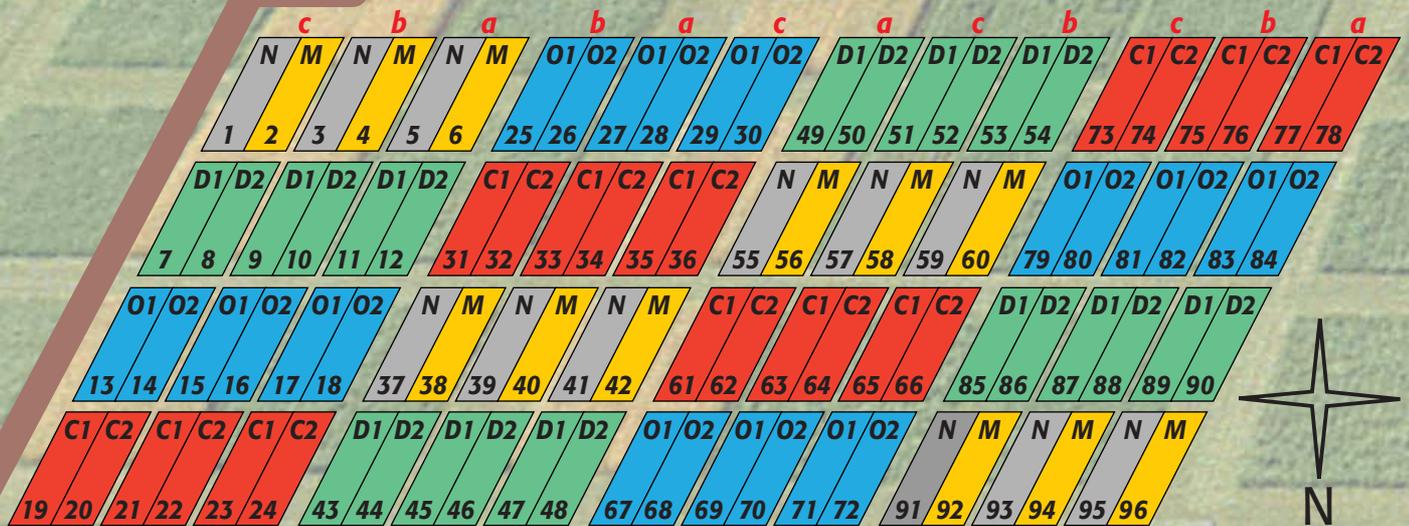
La comparaison de cette diversité avec le quotient de respiration (quotient métabolique) montre que lorsque la diversité des espèces de populations de micro-organismes augmente, ces dernières ont besoin de moins d'énergie par unité de biomasse. Telles qu'on les trouve dans les parcelles bio, les populations diversifiées de micro-organismes peuvent donc investir davantage d'énergie pour leur croissance parce qu'il leur en faut moins pour leur entretien. Pour la pratique agricole, cela signifie que la matière organique est plus rapidement transformée et que les éléments nutritifs qu'elle contient sont plus rapidement de nouveau disponibles pour les plantes. De plus, l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie laisse plus de carbone à disposition de la formation de l'humus.

Les trois procédés principaux D, O et C de l'essai DOC (D, O et K – DOK-Versuch – en allemand) sont subdivisés en deux intensités de fumures différentes, mais pas les procédés M et N. Les procédés principaux sont représentés par quatre répétitions réparties dans chaque rangée et dans chaque colonne selon le principe du carré latin.

Pour mieux asseoir la représentativité statistique des données spécifiques des cultures des périodes d'assolement de sept ans, mais aussi pour faciliter les démonstrations et les recherches, les soles sont subdivisées en trois parcelles a, b et c puis répétées avec un décalage temporel, ce qui fait que chaque procédé est représenté plusieurs fois chaque année par une sarclée, une céréale et une prairie artificielle.

L'essai se compose donc de 96 micro-parcelles de 5 x 20 mètres.

Entrée



Bibliographie

- Alföldi T, Schmid O, Gaillard G und Dubois D (1999) IP- und Bio-Produktion: Ökobilanzierung über eine Fruchtfolge. Agrarforschung 6: 337–340; Berchtold A, Besson J-M, Feller U (1993) Effects of fertilization levels in two farming systems on senescence and nutrient contents in potato leaves. Plant Soil 154, 81–88; Besson J-M, Spiess E and Niggli U (1995) N uptake in relation to N application during two crop rotations in the DOC field trial. Biol. Agric. Hortic. 11: 69–75; Dubois D, Scherrer C, Gunst L, Jossi W and Stauffer W (1998) Effect of different farming systems on the weed seed bank in the long term-trials Chaiblen and DOK. J. Plant Dis. Protect. Special Issue XVI: 67–74; Dubois D, Gunst L, Fried P, Stauffer W, Spiess E, Mäder P, Alföldi T, Fliessbach A, Frei R und Niggli U (1999) DOK-Versuch: Ertragsentwicklung und Energieeffizienz. Agrarforschung 6: 71–74; Fliessbach A and Mäder P (2000) Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. Soil Biol. Biochem. 32: 757–768; Fliessbach A, Mäder P and Niggli U (2000) Mineralization and microbial assimilation of 14C-labeled straw in soils of organic and conventional agricultural systems. Soil Biol. Biochem. 32: 1031–1039; Fliessbach A, Eyhorn F, Mäder P, Rentsch D and Hany R (2001) DOK long-term farming systems trial: Microbial biomass, activity and diversity affect the decomposition of plant residues. In "Sustainable Management of Soil Organic Matter" (R. M. Rees, B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson, eds.), 363–369. CAB, London; Mäder P, Edenhofer S, Boller T, Wiemken A and Niggli U (2000) Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input ('organic', 'biological') and high-input ('conventional') farming systems in a crop rotation. Biol. Fertil. Soils 31: 150–156; Mäder P, Pfiffner L, Fliessbach A, von Lütow M and Munch JC (1996) Soil ecology – The impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: Østergaard TV (ed.): Fundamentals of Organic Agriculture. Proc. of the 11th IFOAM Scientific Conf., Vol. 1, Copenhagen, 11–15.8.1996, pp 24–46; Niggli U, Alföldi T, Mäder P, Pfiffner L, Spiess E und Besson J-M (1995) DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen Biologisch-dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell VI. Synthese, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. Schweiz. Landw. Forsch. DOK-Sonderheft 4, 1–34; Oberson A, Besson J-M, Maire N and Sticher H (1996) Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. Biol. Fertil. Soils 21, 138–148; Oberson A, Fardeau J-C, Besson J-M and Sticher H (1993) Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological methods. Biol. Fertil. Soils 16, 111–117; Pfiffner L and Mäder P (1997) Effects of Bio-dynamic, Organic and Conventional Production Systems on Earthworm Populations. – Biol. Agric. Hortic. 15: 3–10; Pfiffner L and Niggli U (1996) Effects of bio-dynamic, organic and conventional farming on ground beetles (Col. Carabidae) and other epigeic arthropods in winter wheat. Biol. Agric. Hortic. 12, 353–364; Siegrist S, Schaub D, Pfiffner L and Mäder P (1998) Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. Agric. Ecosys. Environ. 69: 253–264.