

Les principes de la **fertilité des sols**

Construire sa relation avec le sol

L'amélioration de la fertilité du sol était une valeur fondamentale pour les pionniers du bio, mais on a souvent trop peu tenu compte de la conservation des sols fertiles. Or l'agriculture biologique dépend fortement de la bonne fertilité naturelle des sols. Les sols affaiblis et endommagés ne peuvent plus fournir les prestations qu'on attend d'eux. Leur fertilité doit être soigneusement entretenue. Cette brochure présente la fertilité du sol sous plusieurs angles, sans avoir la prétention de fournir un mode d'emploi universel. Ces informations doivent plutôt encourager à repenser en permanence sa relation avec le sol et à la (re)construire pour assurer la pérennité de notre approvisionnement alimentaire.



Pourquoi revenir sur la question de la fertilité du sol ?

L'agriculture biologique vit de et avec la fertilité du sol – nous sommes les Enfants de la Terre. Le sol est un bien écologiquement vital qui renouvelle continuellement sa capacité de rendement. Si nous ne tenons pas assez compte de ses besoins, il en souffre : il perd en vitalité, devient plus sensible aux conditions météorologiques et à l'érosion – et fournit des récoltes moins abondantes.

En agriculture biologique, les problèmes de fertilité du sol ne peuvent quasiment jamais être résolus de manière purement technique. C'est pourquoi les sols épuisés ou malades ont besoin d'un assainissement effectué en prenant des mesures écologiquement judicieuses capables de les aider à se régénérer. Malgré tous les problèmes et contraintes, il y a de nombreuses possibilités d'intervention qui nous permettent d'honorer notre responsabilité paysanne à l'égard du sol vivant. Cela en vaut la peine, et pas seulement sur le plan économique.

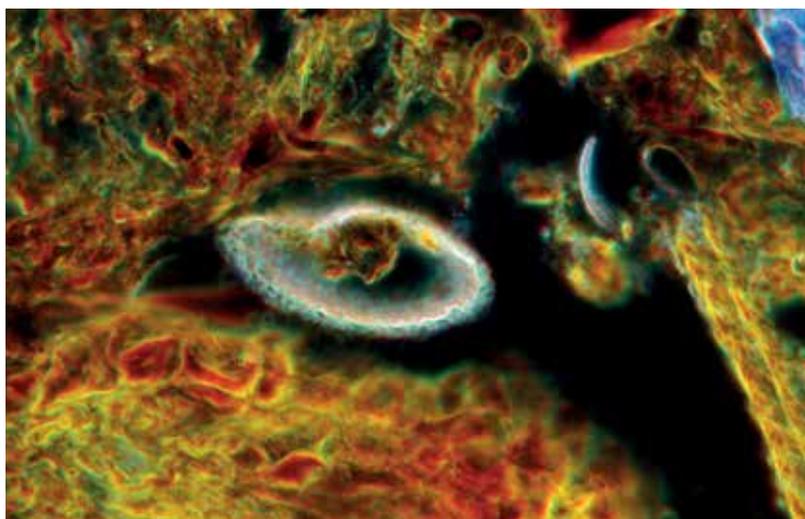
» Le sol agricole doit rester en main de ceux qui le cultivent. Une protection légale est donc nécessaire pour qu'il puisse être transmis normalement de génération en génération et qu'on ne puisse pas en faire un objet de spéculation. Et il faut de la recherche et du développement pour que son utilisation s'améliore d'année en année en direction de la durabilité.

Martin Bossard, responsable des affaires politiques de Bio Suisse

Le scientifique Ernst Klapp avait défini dans les années soixante la fertilité du sol selon son expérience pratique comme « la capacité naturelle et durable d'un sol à assurer la production végétale ». Elle est donc la capacité du sol à fournir aux plantes ce dont elles ont besoin pour leur croissance sans recourir à des intrants et en fournissant des rendements stables. L'agronomie a depuis lors décortiqué la notion globale de fertilité du sol en une multitude de paramètres physiques, chimiques et biologiques. Rendre utilisables ce genre de connaissances détaillées fait maintenant partie des tâches des scientifiques.

De nombreux praticiens ont développé leurs propres stratégies et techniques pour conserver la fertilité du sol. Ils ont appris en observant et se sont fiés à leurs intuitions. Ces connaissances et celles obtenues grâce aux essais et aux observations scientifiques se complètent bien. Cette brochure a pour objectif d'inciter les agriculteurs à cultiver le sol de manière réellement durable pour le maintenir ou le rendre fertile et vivant en se basant sur des principes éprouvés et en expérimentant de nouvelles possibilités.

Les Éditeurs



L'« humusphère » est un écosystème fantastique. Au centre, un être vivant unicellulaire.

SOMMAIRE

1	LES PRINCIPES DE LA FERTILITÉ DU SOL	3			
1.1	Le sol des pionniers	3	3.2	Les rotations culturales qui conservent l'humus	15
1.2	La fertilité du sol – une notion en constante évolution	4	3.3	Les engrais organiques	17
1.3	Qu'est-ce que l'agriculture biologique entend par fertilité du sol ?	5	3.4	Les engrais verts	20
1.4	L'inestimable contribution des organismes du sol	7	3.5	Favoriser les adventices au lieu de lutter contre les mauvaises herbes ?	22
1.5	Tirer profit du potentiel du travail réduit du sol	9	3.6	Le tassement du sol et les moyens de l'éviter et d'y remédier	24
			3.7	L'érosion du sol et les moyens de l'éviter	26
2	SAVOIR ÉVALUER LA FERTILITÉ DU SOL	11			
2.1	Observations directes	11	4	L'AVENIR DE LA CULTURE DU SOL	28
2.2	Quelques outils pour affiner les observations	12	4.1	Tenir compte du climat	28
3	MAINTENIR ET AMÉLIORER LA FERTILITÉ DU SOL	14	4.2	Améliorer la stabilité de l'écosystème agricole	29
3.1	La gestion de l'humus	14	4.3	Idées pour l'agronomie biologique du futur	30

Partie 1 : Les principes de la fertilité du sol

1.1 Le sol des pionniers

L'agriculture biologique s'est développée en tant que méthode agricole moderne depuis le début du 20^{ème} siècle, mais ses racines historiques sont aussi anciennes que l'agriculture elle-même. Pendant plusieurs décennies l'agriculture biologique n'a été pratiquée et développée que par quelques rares fermes reliées entre elles. Elle a été mieux reconnue et a attiré davantage d'agriculteurs dans les années 80 et 90 du 20^{ème} siècle. Avant de présenter l'état actuel des connaissances – scientifiques et pratiques – sur la bonne gestion de la fertilité du sol en tenant compte des aspects holistiques, nous rappelons ses racines à l'aide de quelques citations de nos « arrières-grands-parents » :

Les impulsions de la biologie du sol

Le propriétaire terrien Albrecht THAER a reconnu en 1821 que « L'humus est à la fois une production de la vie et la condition de son maintien. » Et tandis que la plupart des chercheurs se consacrent à la chimie agricole, Charles DARWIN découvre en 1882 quelque chose de décisif pour l'agriculture biologique : « La charrue est une des découvertes les plus anciennes et les plus précieuses de l'humanité, mais le sol était déjà régulièrement labouré par les vers de terre longtemps avant son invention. »

Les nouveaux microscopes disponibles depuis le début du 20^{ème} siècle révèlent l'inimaginable diversité de la vie dans le sol, donnant le coup d'envoi de la réflexion écologique. Richard BLOECK a ainsi pu écrire ensuite en 1927 : « Le sol cultivé est devenu un véritable être vivant sous l'action de la microfaune et de la microflore du sol. » La notion de cycle revient à la surface, et Alois STÖCKL écrit en 1946 : « ... la persistance et l'amélioration de la fertilité du sol [est] possible seulement à condition qu'il y ait un cycle des substances », mais « on hésite un peu partout à attribuer dans ce contexte une importance cruciale aux petits être vivants du sol. » Le cofondateur de l'agriculture biologique Hans-Peter RUSCH perçut en 1955 l'essentialité du cycle de la vie : La « substance vivante » est « redonnée à tout être vivant dans le cycle de la substance pour qu'il la réutilise ». Et l'agronome SEKERA soulignait en 1951 : « Nous entendons par fertilité la biogenèse de la structure grumeleuse par les microorganismes du sol. »

Idées et motivations idéologiques

Rudolf STEINER enseigna en 1923 lors de son Cours aux agriculteurs : « On doit savoir que la fumure doit revitaliser la terre. ... Et les graines nous donnent une représentation de l'univers. » En Angleterre, Lady Eve BALFOUR disait en 1943 que seule l'écologie, reliée aux valeurs chrétiennes,

pouvait nous aider à reconnaître que « tout ce qui se trouve dans le ciel et sur la terre ne sont que des parties d'un tout. » Et son collègue agronome Sir Albert HOWARD observait en 1948 : « La Terre-Mère n'a jamais essayé de faire de l'agriculture sans élevage – elle se livre toujours à des cultures mixtes. » L'agriculture biologique doit donc prendre pour modèle l'agronomie naturelle de la Terre-Mère. Mina HOFSTETTER, une des pionnières suisses de l'agriculture biologique, voyait en 1941 les qualités féminines de la terre comme clé de la compréhension approfondie de la fertilité du sol. La Terre-Mère peut s'adresser à la paysanne quand elle s'y consacre en toute tranquillité : « ... soit elle continuera de nous enseigner soit elle nous éliminera. »

Pourquoi parlons-nous d'agriculture « biologique » ?

La « bio-logie » de l'agriculture biologique a été littéralement comprise par ses fondateurs comme une doctrine de vie, comme une philosophie globale de vie et d'agriculture. On prêtait donc moins attention aux différentes substances chimiques et plus aux biocénoses formées par les êtres vivants ou aux écosystèmes, eux-mêmes considérés à leur tour comme des unités formant un organisme. L'agriculture biologique parle donc du sol en tant qu'organisme, d'organisme agricole (la ferme), d'organisme terrestre (la terre) et d'*organic agriculture*, en français agriculture organo-biologique, ainsi que de l'écosystème formé par le sol, la ferme et la « planète terre ». Les interactions permanentes et la persistance de la vie naturelle et sociale, qu'aucune technique ne pourra jamais remplacer et que de nombreux pionniers considèrent en relation avec des actions spirituelles et divines, ont été considérées comme étant l'essentiel. Le fameux principe « Sol sain – plantes saines – hommes sains », qui a été formulé pour montrer que tout dépend de tout, n'a rien perdu de son importance pour le monde d'aujourd'hui.

Nikola Patzel

» La tâche d'un label bio est de favoriser la durabilité de la production. Ce travail commence là où toutes les denrées alimentaires trouvent leur origine: dans un sol sain et productif. L'encouragement de la fertilité du sol par le biais de la motivation et de l'information est donc d'une importance capitale pour Bio Suisse.

Thomas Pliska, responsable du secteur de l'agriculture de Bio Suisse



Rudolf Steiner 1861-1925



Albert Howard 1873-1947



Mina Hofstetter 1883-1967



Maria Müller 1894-1969



Eve Balfour 1898-1990



*Hans Peter Rusch
1906-1977*

1.2 La fertilité du sol – une notion en constante évolution

Lors de sa naissance, l'agronomie appliquée considéra tout d'abord le rendement du sol comme une mesure essentielle de sa fertilité. Les teneurs en éléments nutritifs du sol (principalement l'azote, le phosphore et le potassium) furent prises comme indicateurs de fertilité – les engrais chimiques étaient alors généralement considérés comme inépuisables et capable de remplacer la fertilité naturelle du sol. L'évidence grandissante de la finitude des ressources réorienta cependant la discussion sur cette notion dans une autre direction. Essentielle pour les rendements des cultures, l'efficacité des métamorphoses des éléments nutritifs – aussi et même surtout dans le cycle général – revient au premier plan comme mesure de la fertilité du sol.

La fertilité du sol est un processus à la fois écologique et biologique

Le sol est habité par une immense diversité de microorganismes, d'animaux et de racines de plantes. Un sol fertile est capable de fournir des récoltes saines pendant des générations en ayant besoin de peu d'engrais, de produits phytosan-



Dans les turrilules construits par les vers de terre à la surface du sol, les complexes argilo-humiques et le mucus produit par les vers de terre contribuent de manière très visible à la cohésion du sol.

Entre l'estime pour les fonctions du sol et l'exigence qu'il « fonctionne »

On parle aujourd'hui quelquefois de « qualité du sol » au lieu de fertilité du sol. Or la qualité du sol est la somme des fonctions du sol appréciées par la société. Cette perspective peut aider à élargir le point de vue sur le sol à des notions jusque-là négligées. Il faut cependant être conscient que la définition de la qualité du sol par la détermination de ses fonctions dépend toujours des contraintes économiques et/ou politiques du moment.

Les principales fonctions naturelles du sol sont :

- Fonction de production : rendements de haute qualité adaptés au site ;
- Fonction de transformation : transformation efficace des éléments nutritifs en rendement ;
- Fonction d'habitat : lieu de vie pour une flore et une faune actives et diversifiées ;
- Fonction de décomposition : décomposer et transformer sans entraves les résidus végétaux et animaux pour refermer le cycle des éléments nutritifs ;
- Fonction d'autorégulation : ne pas du tout ou pas durablement se laisser sortir d'un équilibre sain. Par exemple en « digérant » de manière efficace les organismes pathogènes présents dans le sol ou réprimer ceux qui y arrivent ;
- Fonction de filtre, de tampon et de stockage : retenir et dégrader les polluants. Stocker les éléments nutritifs et le CO₂ dans le sol.

Paul Mäder, FiBL

taires et d'énergie. Dans un sol sain, les êtres vivants qui l'habitent transforment efficacement les engrais en rendements impressionnants, fabriquent de l'humus, protègent les plantes contre les maladies et rendent le sol grumeleux. Ce genre de sol est facile à travailler, absorbe bien l'eau de pluie et résiste efficacement à la battance et à l'érosion. L'efficacité filtrante des sols nous est précieuse pour la salubrité des nappes phréatiques et pour la neutralisation des acides que les pluies prélèvent dans l'air pollué et déposent à la surface du sol. Les sols fertiles sont aussi capables de dégrader rapidement des polluants comme les pesticides. Et enfin les sols fertiles stockent aussi de manière efficace les éléments nutritifs et le CO₂, prévenant ainsi l'eutrophisation des rivières, des lacs et des mers tout en contribuant à la diminution du réchauffement climatique.

Dans l'esprit de l'agriculture biologique, la fertilité du sol est donc principalement le résultat de processus biologiques et non de la présence d'éléments chimiques. Les sols fertiles procèdent activement à des échanges avec les plantes et sont capables de se structurer et de se régénérer eux-mêmes.



L'échange entre paysans et scientifiques permet de prendre une autre perspective sur un sujet. Ici les acteurs discutent les possibilités et les limites de la culture biologique sans bétail à l'essai de Mapraz.

L'analyse scientifique de la fertilité du sol

Par opposition à l'approche purement chimique des éléments nutritifs, on a longtemps cherché à distinguer la fertilité du sol à l'aide de la chimie de l'humus en essayant de définir et de classer l'humus en passant directement par ses différentes structures chimiques. Cela n'a pas apporté grand chose, et aujourd'hui on examine d'autres caractéristiques comme la disponibilité des éléments nutritifs, le rapport C/N de la matière organique ainsi que les processus de métamorphose qui sont à l'œuvre dans le sol et la qualité de l'humus qu'il contient, qui servent de mesure pour :

- › les quantités d'éléments nutritifs directement disponibles pour les plantes – Quels éléments se trouvent dans un extrait à l'eau chaude du sol ?
- › les éléments nutritifs facilement accessibles qui se trouvent dans le cycle de la vie – Quelle est la quantité de biomasse microbienne et quel est son rapport C/N ?
- › la stabilité de l'humus : L'humus stable est plus lourd que l'humus jeune – Quelle est la complexité de ses molécules ? Quelle est sa densité ?

Paul Mäder, FiBL

1.3 Qu'est-ce que l'agriculture biologique entend par fertilité du sol ?

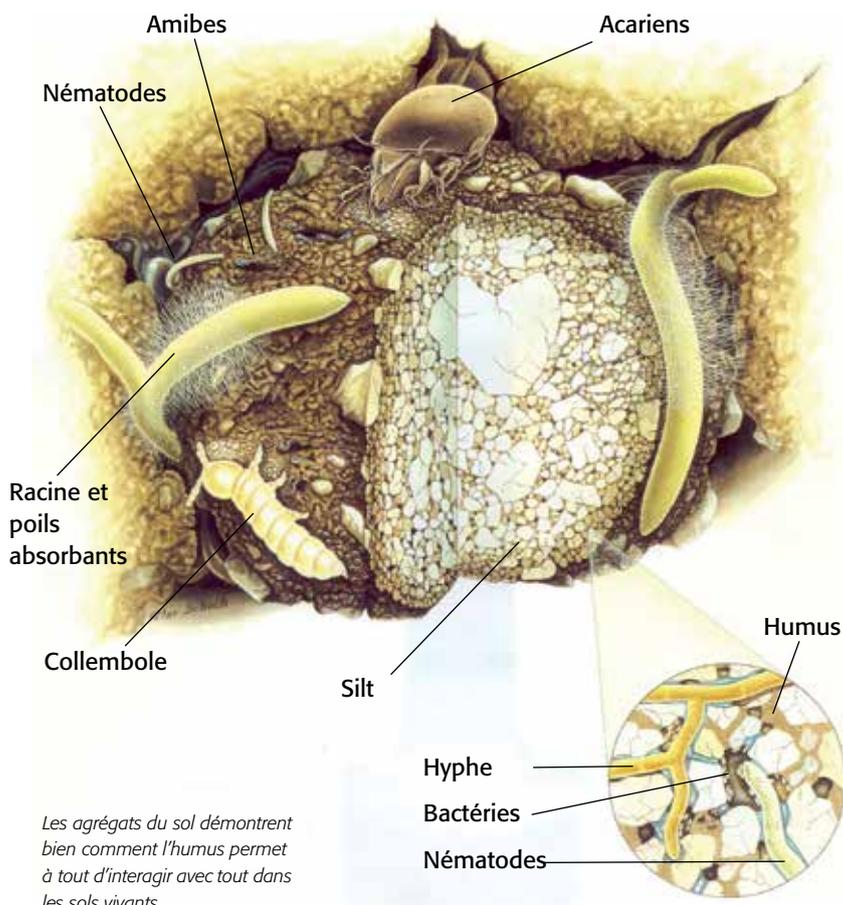
Par « fertilité du sol », l'agriculture biologique désigne en premier lieu une propriété du sol vivant. Vu que la fertilité du sol est un trait de caractère du sol en tant qu'organisme qui n'est jamais totalement visible, nous ne pouvons ni la saisir intellectuellement dans son intégralité ni la définir intégralement par des mesures analytiques – comme pour l'homme lui-même. Voilà pourquoi la fertilité du sol dont nous parlons représente une perception complète du sol, de ses influences sur les plantes et de l'analyse et de la mesure de certaines de ses caractéristiques.

Les diagnostics et mesures présentés dans cette brochure se réfèrent aux possibilités d'observer le sol et de le décrire à l'aide de ses différentes caractéristiques :

- › **Les caractéristiques physiques** peuvent être identifiées par exemple à l'aide du test à la bêche. Les sols en bon état physique offrent aux racines des plantes et à toute la pédofaune un espace de vie et de travail et suffisamment d'air à respirer. La tâche de l'agriculteur est de stabiliser la structure du sol avec les racines des plantes, à le rendre porteur et à éviter les tassements en n'utilisant les différentes machines qu'en prenant de grandes précautions.
- › **Les propriétés chimiques** sont identifiables par la mesure des différents éléments nutritifs et aussi éventuellement de certains polluants et par exemple du pH (mesure de l'acidité). L'organisme sol-plante chimiquement bien doté dispose de tous les éléments chimiques et molécules organiques pour son alimentation. Les produits métaboliques complexes des différents organismes favorisent les réactions immunitaires des plantes. En lui redonnant les éléments prélevés, nous essayons de soutenir le bon équilibre de ces propriétés. Les sols surexploités doivent tout d'abord être rééquilibrés.

» Notre société actuelle est malheureusement très éloignée de la nature et seule une minorité est consciente de l'importance d'un sol intact. Les grandes quantités de produits chimiques utilisées dans l'agriculture conventionnelle d'aujourd'hui seront considérées par l'histoire comme un feu de paille car elles ne permettent ni d'améliorer les sols ni de favoriser la vie. Seule une véritable fertilité des sols peut permettre d'assurer durablement l'alimentation suffisante de l'humanité.

Jean-Louis Colling-von Roesgen, paysan bio au domaine du Karelshaff (Luxembourg)



Les agrégats du sol démontrent bien comment l'humus permet à tout d'interagir avec tout dans les sols vivants.

➤ **Les propriétés biologiques** du sol sont révélées par les processus de métamorphose qui s'y déroulent ainsi que par la présence et les traces visibles des êtres vivants qui s'y trouvent. Dans les sols en équilibre écologique autorégulant, les biocénoses sont robustes et actives au bon moment et tous ses animaux, plantes et microorganismes agissent les uns pour les autres. Notre devoir d'agriculteurs est de comprendre assez bien l'écologie du sol pour pouvoir créer ou recréer les conditions d'un équilibre robuste.

L'effet global de toutes ses activités permet au sol fertile cultivé de fournir toujours de nouveau de bons rendements. Si cela n'est pas le cas, nous devons observer très soigneusement les propriétés mentionnées ci-dessus pour voir si quelque chose n'est pas en ordre.

Les Éditeurs

Le sol en tant qu'organisme

En tant qu'agriculteur, je considère qu'il est de mon devoir de comprendre et d'entretenir la fertilité du sol. Avec le temps, mon travail m'a appris que je devais aussi considérer le sol selon son propre point de vue : le sol est un organisme vivant qui a des exigences particulières ! La question centrale qui me guide est celle-ci : comment puis-je en tant qu'agriculteur servir au mieux la fertilité naturelle du sol et assumer ma responsabilité ? Malgré toutes les connaissances disponibles, je continue d'expérimenter et de chercher toujours plus loin.

Mes sols abritent environ 40 UGB d'êtres vivants du sol à l'hectare, dont 8 UGB de vers de terres. C'est relativement élevé, mais cela a été confirmé par les scientifiques. Voilà des années que je veille à nourrir les êtres vivants du sol avec autant de soin que les animaux de la

ferme. Résidus de récoltes, racines mortes, exsudats racinaires, engrais de ferme et autres substances organiques leurs fournissent la précieuse nourriture dont ils ont besoin.



J'utilise les machines de travail du sol de manière à ne découper que sa peau, si c'est vraiment nécessaire et seulement pendant la pause hivernale et estivale, quand les vers de terre sont réfugiés dans les couches profondes du sol. Je trouve essentiel de ne pas bouleverser la structure naturelle des couches du sol.

Je veille à maintenir dans mes champs non seulement une grande diversité mais aussi des contrastes.

Je favorise tout cela avec une rotation diversifiée et des cultures associées car je veux contribuer activement aux péréquations et aux équilibres dans le sol. Cette méthode semble convenir à mes sols et nous permet de bien en vivre.

Sepp Braun, paysan bio à Freising (Allemagne)

1.4 L'inestimable contribution des organismes du sol

Les sols fertiles abritent une riche diversité d'organismes qui participent tous à des processus importants. Les vers de terre et les larves d'insectes fouillent et retournent les couches superficielles du sol dans leur quête de matière organique morte. Leurs galeries aèrent la terre, et les pores et les galeries peuvent absorber l'eau comme une éponge. Collemboles, acariens et mille-pattes décomposent la litière, des microorganismes transforment les restes d'animaux et de plantes en humus, et enfin les bactéries décomposent les résidus organiques en leurs composants chimiques tandis que les acariens prédateurs, les chilopodes, les coléoptères, les champignons et les bactéries contrôlent les populations d'organismes qui pourraient devenir nuisibles.



Un collembole. Pas besoin de se faire du souci pour la décomposition de la litière quand le sol est intact.

Les vers de terre sont les architectes des sols fertiles

Avec une seule génération et au maximum huit cocons par ver et par an, les vers de terre se reproduisent assez lentement. Leur espérance de vie de cinq à huit ans en fait cependant les animaux du sol qui vivent le plus longtemps, et ils jouent dans le sol un rôle extraordinaire.

Dans nos sols d'Europe centrale, les vers de terre produisent chaque année entre 40 et 100 tonnes de turricules par hectare, ce qui correspond à une croissance du sol de 0,5 cm dans les champs et de 1,5 cm dans les prairies. Ce précieux matériau contient en moyenne 5 fois plus d'azote, 7 fois plus de phosphore et 11 fois plus de potassium que la terre environnante.

Le mélange intensif de la matière organique avec les particules minérales du sol, les microorganismes et le mucus excrété par les vers de terre forme des structures grumeleuses stables qui contribuent à rendre le sol moins sensible à la battance, plus facile à travailler et capable de stocker davantage d'eau et d'éléments nutritifs. Voilà comment les vers de terre rendent les sols lourds plus meubles et les sols légers plus cohérents.

» Le vers de terre est un précieux « ouvrier du sol » : il accomplit fiablement son travail, ne coûte rien et ne prend jamais de vacances. Il faut donc le choyer et le gâter, et avant toute chose bien le nourrir.

Lukas Pfiffner, FiBL

Les « galeries d'habitation » des vers de terre assurent une bonne aération du sol. Ce sont surtout les galeries verticales stables des vers de terre anéciques qui améliorent nettement l'absorption et le stockage de l'eau. En cas de fortes pluies, les sols riches en vers de terre absorbent entre 4 et 10 fois plus d'eau que ceux qui n'en ont pas beaucoup, ce qui peut diminuer le ruissellement superficiel et l'érosion. Dans les sols non labourés, on trouve sous chaque mètre carré jusqu'à 900 mètres de galeries descendant jusqu'à un mètre de profondeur.

Les vers de terre incorporent dans le sol jusqu'à 6 tonnes de matière organique morte par hectare et par année. Et en même temps ils rajeunissent la couche supérieure du sol en ramenant des matières minérales du sous-sol vers la surface. Ils favorisent aussi l'établissement et la multiplication de bactéries et de champignons du sol utiles dans leurs galeries et leurs turricules. Et une fois que les feuilles mortes contaminées par des maladies ont été tirées dans la terre, les organismes pathogènes qu'elles contiennent y sont biologiquement décomposés. Plus de 90 pour cent des galeries sont colonisées par des racines de plantes qui les utilisent pour pénétrer sans résistance dans les couches profondes du sol où elles trouvent des conditions nutritives idéales.



Le nombre de cocons présents dans le sol montre comment se portent les vers de terre.



Les espèces animales qui vivent dans le sol, comme les vers de terre, sont les architectes silencieux de la fertilité du sol. Le travail du sol intensif réduit sensiblement leurs populations.

Comment ménager et favoriser les vers de terre ?

Les agriculteurs peuvent contribuer au développement des vers de terre en respectant les points principaux suivants :

Travail du sol et machinisme

- Utiliser charrues et machines à rotation rapide seulement si c'est absolument nécessaire, car elles peuvent tuer un grand nombre de vers de terre suivant le moment où on les utilise : environ 25 pour cent de pertes pour un labour et 70 pour cent avec les herse rotatives.
- Renoncer au travail (intensif) du sol pendant les périodes d'activité des vers de terre de mars-avril et de septembre-octobre.
- Travailler le sol quand il est sec et froid nuit beaucoup moins aux vers de terre parce qu'ils se trouvent alors dans les couches profondes du sol.
- Retourner la terre le moins possible ; labourer superficiellement – et avec des charrues hors raie – pour éviter les tassements dans les couches profondes du sol. Les restes de plantes doivent être incorporés superficiellement et non enterrés profondément.

- Choisir des procédés ménageants et minimaux de travail de sol ainsi que des combinaisons de machines. Éviter les machines lourdes.
- Travailler le sol seulement s'il est bien ressuyé et portant.

Rotation des cultures

- Les longues rotations culturales avec des résidus de récolte diversifiés et des cultures intercalaires ou des engrais verts pluriannuels riches en légumineuses et à racines profondes fournissent une abondante nourriture aux vers de terre.
- La couverture végétale, surtout aussi pendant l'hiver, favorise considérablement les vers de terre, et le repos du sol assuré par les prairies pluriannuelles est un véritable baume pour eux.

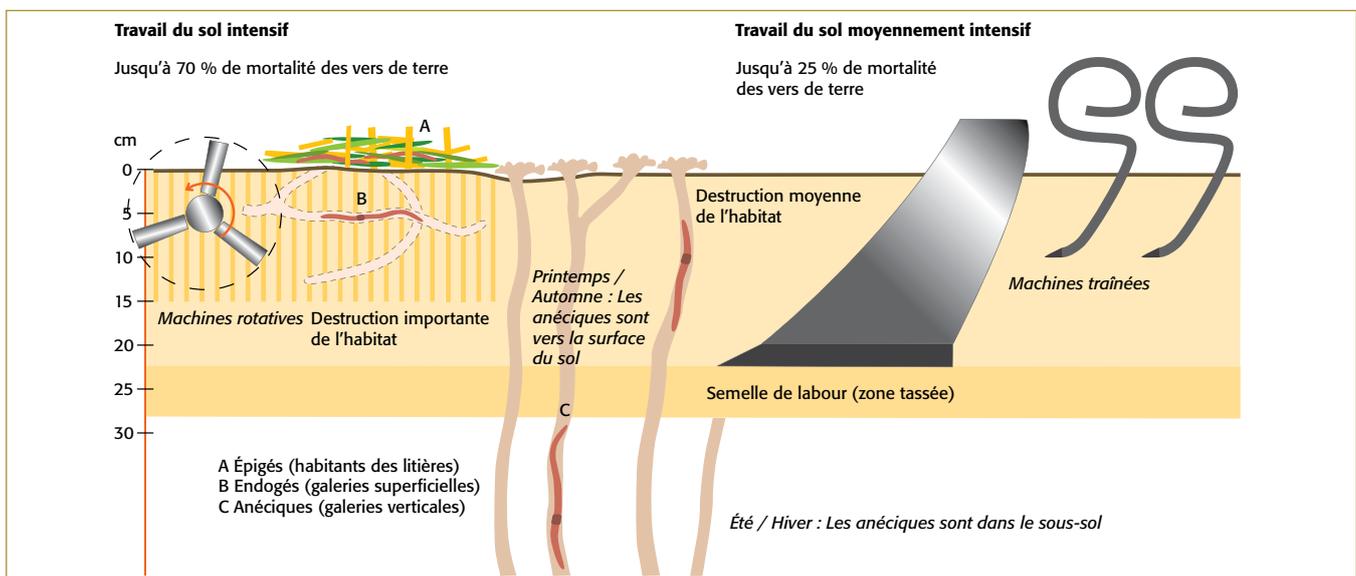
Fertilisation

- Les sols équilibrés et bien approvisionnés sont bons pour les plantes et les vers de terre.
- Le fumier composté jeune est plus favorable pour les vers de terre que le fumier composté mûr car ce dernier contient moins de nourriture.
- Les engrais organiques doivent être incorporés superficiellement.
- La dilution, voire l'aération du lisier, a une influence positive sur les vers de terre. Le lisier non dilué (ammoniac !) peut par contre nuire fortement aux vers de terre et autres auxiliaires qui vivent à la surface du sol.
- Le lisier ne doit pas être épandu sur des sols incapables de l'absorber.
- Les chaulages réguliers (en fonction du pH) sont importants car la plupart des vers de terre évitent les sols dont le pH est inférieur à 5,5.

» Le labour permet seulement d'obtenir un ameublissement provisoire de la couche arable, tandis que l'action des vers de terre est beaucoup plus profonde, durable et diversifiée : Ils bâtissent un vaste système de galeries qui assurent un approvisionnement idéal du sol en eau et en éléments nutritifs.

Lukas Pfiffner, FiBL

Influences des différentes intensités de travail du sol sur les vers de terre



La mortalité des vers de terre est d'autant plus élevée que le travail du sol est intensif. C'est au printemps et en automne que les pertes sont les plus importantes.

» Je m'étonne toujours autant que toutes ces myriades d'êtres vivants du sol sachent exactement ce qui doit être fait. Cette invraisemblable collaboration qui permet en fin de compte à la terre d'être fertile ne peut à mon avis pas être considérée dédaigneusement comme un simple hasard et mérite tout simplement un grand respect.

Martin Köchli, paysan bio à Buttwil (AG)

Bactéries et champignons – des auxiliaires sousestimés

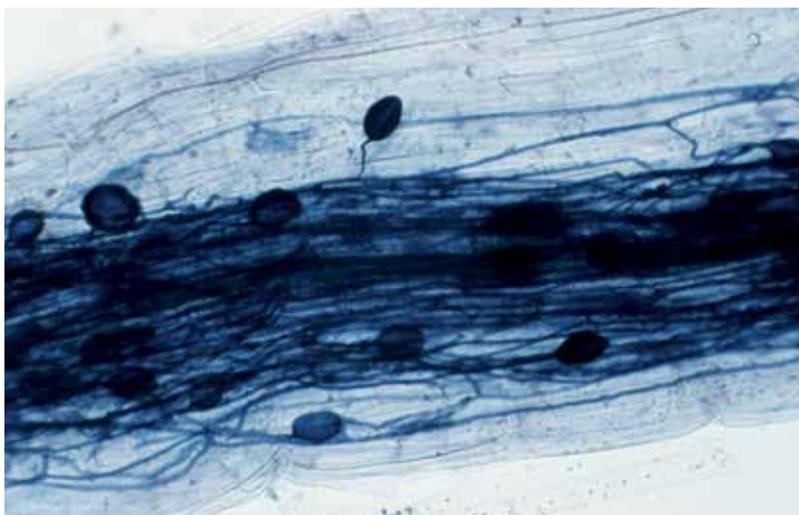
Un seul gramme de terre contient des centaines de millions de bactéries et des centaines de mètres de filaments de champignons. Les microorganismes (aussi ceux du tube digestif des animaux) sont capables de décomposer la matière organique végétale et animale en ses composants minéraux de base. Non seulement ils régulent les cycles des éléments nutritifs en décomposant la matière organique, mais certains sont aussi capables de fixer l'azote de l'air et de former des symbioses avec des plantes. Les bactéries et les champignons sont impliqués dans presque tous les processus de minéralisation qui se déroulent dans le sol.

Les champignons mycorhiziens (champignons des racines) infectent les racines des plantes pour former avec elles des symbioses. Ces dernières ouvrent aux plantes l'accès à un beaucoup plus grand volume de terre que ce qu'elles pourraient avoir toutes seules. On attribue aussi aux champignons mycorhiziens des influences positives sur la structure du sol, et ils permettent aussi des échanges de substances entre les plantes qu'ils relient les unes aux autres. Le travail du sol perturbe l'entrelacs de filaments mycéliens dans le sol, mais il s'en reforme ensuite un nouveau.

Lukas Pfiffner, Paul Mäder et Andreas Fliessbach, FiBL

1.5 Tirer profit du potentiel offert par le travail du sol en douceur

La dégradation générale du sol a déjà commencé il y a des millénaires avec la mise en culture de la terre et le travail intensif des sols souvent lié à une surexploitation par les animaux. La découverte de l'acier et l'invention de la charrue réversible actuelle ont renforcé ce processus en provoquant un mélange intensif des couches du sol. L'avènement des tracteurs a ensuite permis de labourer à des profondeurs autrefois impensables. L'érosion causée par l'utilisation intensive des sols a provoqué dans le monde entier la perte de quelque 30 pour cent des terres arables au cours des 40 dernières années.



À l'intérieur d'une racine : les hyphes d'un champignon endomycorhizien avec leurs organes de stockage arrondis (vésicules). Très fins, les hyphes colonisent aussi les pores du sol les plus fins, où ils prélèvent des éléments nutritifs et de l'eau. Les champignons mycorhiziens peuvent donc multiplier plusieurs fois la surface active des racines, augmentant d'autant leur capacité d'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Les engrais, les produits phytosanitaires et le travail du sol affaiblissent ces champignons.

Le crédo des pionniers de l'agriculture biologique était d'ameublir le sol en profondeur mais de le labourer seulement en surface pour conserver la stratification naturelle du sol. Les efforts de travail réduit du sol sont donc très anciens en agriculture biologique, et la mise en pratique de l'utilisation ménagante du sol en bio a suscité très tôt de nombreuses innovations techniques parmi lesquelles on trouve par exemple le système Kemink (ameublissement du sol et voies de passage permanentes), la charrue avec griffe fouilleuse et le décompacteur à ailettes (le sol est labouré superficiellement tandis que le sol est ameubli en profondeur). En agriculture biologique, les recherches systématiques sur le travail réduit du sol n'ont cependant commencé qu'il y a environ 20 ans.

Les essais effectués en conditions bio ont montré que le travail réduit du sol permet de faire augmenter la teneur en humus de la couche arable, de favoriser l'activité biologique et la structure du sol et d'améliorer sa capacité de rétention d'eau disponible pour les plantes, qui est un facteur de rendement important surtout pendant les périodes sèches. Les plus grands défis restent cependant les mauvaises herbes, surtout les graminées et les mauvaises herbes pérennes, de même que la rompu des prairies sans labour profond.

» Jusqu'à la conversion en agriculture biologique en 2011 je cultivais beaucoup de betterave à sucre et de pommes de terre. Presque tout l'automne était consacré à la récolte de ces deux cultures. Dès 2012, j'ai abandonné la betterave à sucre, ce qui me laisse plus de temps pour m'occuper correctement de mes sols en automne.

Antonin Etter, paysan bio à Corcelles (NE)



Ce chisel avec double rouleau à pointes est une alternative à la herse à disques. Il peut ameublir le sol en profondeur et le travailler en surface.

La nécessité de traiter le sol avec encore plus d'égards a stimulé praticiens et chercheurs à chercher de nouvelles solutions pour résoudre les problèmes posés par le travail réduit du sol. À elle seule, l'utilisation de charrues hors raie aide déjà à éviter les tassements du sous-sol. De nouvelles charrues déchaumeuses permettent de travailler le sol très superficiellement. Différentes machines qui ne retournent pas la terre, comme le chisel Écodyn, combinent par exemple des socs déchaumeurs qui travaillent toute la surface du sol avec des dents ameublissantes écartées, montées loin les unes des autres. On a même réussi des semis directs après engrais verts. L'électronique nous permet par ailleurs d'espérer des innovations intéressantes pour la régulation des mauvaises herbes.

Le changement climatique contribue lui aussi à redonner de l'importance aux systèmes visant à augmenter la teneur en humus du sol. Ces innovations donnent à l'agriculture biologique une chance de lutter contre le réchauffement climatique en séquestrant du carbone dans le sol tout en améliorant sa productivité dans les grandes cultures grâce à une meilleure exploitation des processus biologiques.

Paul Mäder, FiBL

Tester le travail réduit du sol et faire évoluer sa mécanisation

En 2009, dans le cadre du réseau suisse d'essais pratiques de travail réduit du sol coordonné par le FiBL, j'ai partagé une parcelle en deux. Une bande a dès lors été travaillée sans labour, et le reste du champ a continué d'être labouré. Sur le labour, j'ai eu beaucoup plus de rumex à arracher, et le maïs a davantage souffert du sec que sur le non-labour en 2009. En 2009, le rendement de la bande en travail réduit du sol a été meilleur que celui de la bande labourée, mais ce fut l'inverse en 2010 et 2011.

En effet, pour pratiquer le travail réduit du sol, j'ai utilisé les machines disponibles sur l'exploitation ; or ces machines n'étaient pas toujours idéales dans mes conditions. J'ai principalement travaillé avec l'Écodyn. Cette machine est fascinante, mais elle demande beaucoup de temps pour la régler correctement dans chaque situation, elle n'est pas vraiment adaptée à mes sols mi-lourds à lourds avec quelques pierres, et elle ne provoque pas un dessèchement suffisant des plantes scalpées en conditions humides, car il lui manque un rouleau hérissé à l'arrière. Quant à ma herse à bèches roulantes, elle était bien adaptée à une préparation de lit de semences sur sol labouré tout en ménageant la structure du sol ; mais elle ne convenait pas bien dans un système sans labour, car elle mélangeait insuffisamment les résidus de récolte à la terre. Dernier exemple, le semis d'une culture sans labour après le maïs grain fut très difficile. Pourtant, la paille de maïs-grain a été broyée sur la batteuse ; mais il aurait fallu avoir sous la main une machine pour la broyer une 2^{ème} fois avant la préparation du



lit de semence, afin d'éviter la formation de paquets de paille de maïs lors du semis de la culture suivante.

Je ne suis pas découragé par ces difficultés. Je vais modifier ma mécanisation pour obtenir de meilleurs résultats. J'ai acheté une charrue déchaumeuse Ecomat qui va me permettre de travailler superficiellement toutes mes parcelles et de renoncer à la charrue classique sauf pour quelques exceptions. Cette machine me permettra également de diminuer le nombre de passages pour préparer mes sols. J'ai maintenant également un nouveau tracteur suffisamment fort pour porter ma charrue déchaumeuse. Pour le désherbage de mes cultures, je me suis procuré une houe rotative, qui est mieux

adaptée que la herse-étrille s'il y a des résidus de récolte ou d'engrais verts en surface. Je veux également renoncer le plus possible à la herse rotative, qui consomme trop d'énergie à mon avis. Avec ces modifications, je pense que je pourrai assurer des rendements équivalents à ceux que j'obtenais sur labour.

J'ai fait de gros investissements dans les machines. C'était une condition indispensable pour protéger encore mieux la fertilité de mes parcelles, stocker davantage de carbone dans le sol et apporter ainsi ma contribution à la protection du climat.

André Horisberger, paysan bio à Chavannes-le-Veyron (VD)

Partie 2 : Savoir évaluer la fertilité d'un sol

2.1 Observations directes

Y a-t-il des méthodes simples qui permettent d'évaluer la fertilité des sols ? Oui, il existe quelques méthodes qui fournissent aujourd'hui comme hier de précieux renseignements sur l'état du sol. Il s'agit cependant aussi – et même avant tout – de prendre le temps d'observer plus précisément les plantes, la surface du sol, le sol et ses habitants.

Observer les plantes

La plante cultivée est la plante indicatrice la plus importante. Si elle pousse bien et est en bonne santé, le résultat sera un rendement satisfaisant et de haute qualité. Si on atteint ce résultat sans fumure azotée exagérée ni produits phytosanitaires chimiques/de synthèse, on peut tabler sur une grande fertilité du sol. L'intensité de la fertilité du sol se révèle d'autant plus nettement que les conditions météorologiques de l'année sont défavorables (à condition bien sûr que les plantes cultivées soient adaptées au site). Des adventices comme le chardon ou la camomille révèlent des carences ou des problèmes comme des tassements par exemple.

L'interprétation de la surface du sol

Rien que la surface du sol donne déjà des renseignements sur l'état de la terre qui se trouve en dessous. La présence d'une couverture végétale protectrice permet la formation d'une structure grumeleuse superficielle, ce qu'on pourrait appeler la biogenèse de la structure grumeleuse du sol. On reconnaît cette dernière à ses grumeaux – ou agrégats – ronds qui empêchent aussi une trop forte battance et érosion du sol. Les phénomènes de battance et d'érosion peuvent donc révéler que les sols sont en mauvais état. L'augmentation de la teneur en humus fait diminuer la battance et l'érosion.

Tenir compte de la vie du sol

L'activité des vers de terre et des petits animaux comme les collemboles est reconnaissable aux orifices de sortie présents à la surface du sol. On les voit surtout au printemps quand la matière organique se trouve à la surface du sol à disposition des organismes du sol qui vont l'ingérer. On peut alors voir de nombreux petits trous de vers et quelque plus gros. Donner un coup de bêche permet de voir les galeries percées dans la couche arable, et les turricules laissés par les vers de terre à la surface du sol révèlent eux aussi l'intensité de l'activité de ces ouvriers du sol.



Seuls les sols meubles permettent une bonne colonisation racinaire. Les racines pivotantes du colza, de la fèverole ou de la betterave sucrière (par exemple) qui se divisent et deviennent fourchues révèlent la présence de zones compactées ou perturbées, et l'état des racines permet aussi d'identifier les mouilles et les poches de pourriture.

La vitesse de la décomposition des restes de plantes est aussi un indicateur indirect de la fertilité du sol. Le plus simple est d'observer la décomposition de la paille : si la paille reste intacte à la surface du sol pendant toute la période de végétation, c'est un signe que la vie du sol est peu active.

Renifler le sol

Les sols fertiles sentent bon, leur odeur n'est pas répugnante. On peut à titre de comparaison renifler le sol de la forêt ou du bord du champ. Si le sol pue la pourriture, c'est que quelque chose ne va pas. Les racines ont aussi leur odeur propre, qui vient des substances (exsudats) qu'elles excrètent. Les racines des légumineuses et du chiendent ont une odeur agréable, et on trouve souvent des vers de terre à proximité.

Stefan Weller, conseiller bio de Bioland (Allemagne)

Mon outil préféré : mon couteau de poche

C'est avec lui que je vérifie comment vont mes sols, mes paillages d'engrais verts et mes semis directs. Idéalement, on devrait avoir nos sols paillés en permanence. Chaque culture et chaque engrais vert amène un paillage supplémentaire qui couvre le paillage précédent en phase d'humification. Je préfère « travailler le sol » avec le végétal qu'avec le métal ; autrement dit j'essaie de me passer le plus possible du travail du sol, même réduit. Je vise un système essentiellement basé sur les semis directs, les engrais verts, les couverts végétaux. En espérant que je n'aie pas de problèmes d'adventices vivaces à moyen terme.



Christophe Viret, paysan bio à Gollion (VD)

2.2 Quelques outils pour affiner les observations

Le test à la bêche

Le test à la bêche est une méthode artisanale qui a fait ses preuves pour évaluer la structure du sol. Le test à la bêche permet de voir avant le travail du sol quelle est la profondeur de la couche arable. Si les plantes poussent moins vite les années sèches, on dit tout de suite que le coupable est la météo. Se pourrait-il cependant aussi que les racines ne puissent pas descendre assez profondément à cause d'une couche perturbée ?

Pendant les mois d'été, l'observation des plantes cultivées permet aussi de constater l'état du sol après le semis et les influences du travail du sol. Le prélèvement s'effectue en quatre étapes et nécessite une bêche plate et une petite griffe (pour dégager les racines).

Étape 1 : On commence par choisir pour le test un emplacement représentatif de la végétation et de la surface du sol. Il faut toujours faire 2 ou 3 tests.

Étape 2 : Le coup de bêche doit être donné de manière à prélever au moins une plante de la culture. Pour que la brique de terre puisse être sortie facilement avec la bêche, on commence par creuser sur un long côté de la brique de terre un trou aussi grand que la longueur du plat de la bêche.

Étape 3 : Les petits côtés de la brique de terre sont dégagés par une série de coups de bêche.

Étape 4 : La brique de terre peut maintenant être prélevée en basculant précautionneusement la bêche en arrière. Déposer la bêche et son échantillon sur un support à hauteur de hanche facilité la suite de l'évaluation.

Important : Prendre des photos et des notes avant et pendant chaque test à la bêche; cela permet de mieux évaluer et documenter l'évolution des sols examinés.

La motte de terre pour le test à la bêche doit être prélevée avec grand soin. La brique de terre ne doit en effet pas être endommagée par le creusage. Il faut donc la maintenir sur la bêche pendant l'extraction pour éviter qu'elle se brise.



Le test à la bêche doit tenir compte des points suivants :



Est-ce qu'on trouve à la surface du sol les agrégats ronds et les trous de vers de terre qu'on recherche ?



Y a-t-il une couche intermédiaire compactée ou une semelle de labour entre l'horizon A où s'effectue le travail du sol et l'horizon B, le sous-sol non travaillé ?



Les arêtes des agrégats de l'horizon A sont-elles plutôt arrondies ou anguleuses ? Les arêtes nettement anguleuses sur la photo de gauche sont un indice que le sol a eu à combattre contre des forces puissantes comme par exemple des poids de machines très lourds, ou que la pédogenèse effectuée par la vie du sol ne se déroule pas bien.



Quelle est la forme des racines dégagées ? Sont-elles droites, rabougries, fourchues ? Y a-t-il des racines latérales et des radicelles ? Est-ce que leur longueur correspond à la saison ? Est-ce que les racines vont plus loin que le bas de la brique de terre prélevée, ce qui serait un bon signe ?

Un exemple de test à la bêche

L'exemple de test à la bêche ci-dessous a été effectué en 2010 dans un champ d'épeautre d'automne. Ce domaine agricole cultive ses sols depuis des années sans les labourer.

On ne distingue pas la surface du sol, mais la structure grumeleuse de la partie supérieure permet de juger qu'elle était en ordre à ce moment-là.

Les horizons sont très faciles à identifier. La limite du travail du sol se trouve à peu près vers la moitié de la brique de terre. On voit aussi à quelle profondeur le sol a été travaillé avant le semis de l'épeautre : à environ 15 cm de profondeur.



La structure du sol de la couche arable (l'horizon A) est très bonne. On distingue de petits agrégats arrondis et les racines de l'épeautre peuvent bien coloniser cette partie du sol comme en témoignent leur multitude et la présence de nombreuses radicules. Le sol se brise aussi facilement, ce qui permet de dire que son état est bon à très bon.

Plus on se rapproche de la limite du sous-sol non travaillé plus les agrégats sont gros et anguleux. Les racines sont visibles et vont plus loin que le bas de la brique de terre.

Les racines de l'épeautre peuvent encore coloniser ce sol. Ce sol est ferme; cela peut être interprété comme sa capacité naturelle de portance dans un système sans labour. L'état de ce sol peut être qualifié de satisfaisant à bon.

La limite entre le sol travaillé et non travaillé est bien visible. Ce qui est décisif ici, c'est que les racines continuent de pousser régulièrement et que l'eau de pluie ne stagne pas (galeries de vers de terre). Les tassements dommageables et les couches naturellement denses en profondeur ne peuvent souvent pas être différenciées sans tenir compte de la technique de travail de ce sol – surtout si le sol peut encore être colonisé par les racines.

L'évaluation de la situation avec un pénétromètre peut ne pas suffire dans ce cas.

L'évaluation doit encore tenir compte de la position de l'épeautre dans la rotation des cultures. Le résultat devrait être jugé moins bon si c'était la première culture après une prairie temporaire de graminées et de légumineuses, mais l'impression laissée par ce test à la bêche est bonne pour une deuxième ou troisième culture (avec cultures dérobées ou intercalaires).

Stefan Weller, conseiller bio de Bioland (Allemagne)

Le pénétromètre

Le pénétromètre est une tige de fer munie d'un ressort pressiométrique et d'un indicateur de pression. Cette sonde mesure la résistance à la pénétration opposée par le sol, donc en règle générale sa densité. La tige de la sonde est enfoncée dans le sol en exerçant une pression constante. Si la résistance du sol augmente, cela signifie qu'un tassement (ou une pierre) se trouve à cette profondeur. La profondeur peut être lue sur la sonde ou constatée avec un mètre. La mesure doit être répétée plusieurs fois. Cette sonde ne livre cependant pas de renseignements précis sur l'état interne du sol : il faut creuser si on suspecte des problèmes.

» J'encourage tous les agriculteurs à effectuer régulièrement des tests à la bêche pour vérifier l'état de leur sol. Il n'y a pas besoin d'être spécialiste pour interpréter un test à la bêche. Le mieux est de faire ces tests à plusieurs, par exemple dans le cadre de visites de cultures, ce qui permet de bénéficier de l'avis de collègues et de discuter des meilleures mesures à prendre pour maintenir la fertilité du sol.

Maurice Clerc, conseiller bio, FiBL, Lausanne

pH-mètre

Le pH (l'« état acido-basique » du sol) a des répercussions sur la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et influence fortement la vie du sol.

Le pH-mètre Hellige effectue des mesures fiables du pH. Les mesures ne doivent pas être faites seulement à la surface du sol. Il est conseillé de connaître le pH qui règne aussi à 10 et à 20 cm de profondeur, car il peut varier fortement d'une couche de sol à l'autre. Les apports d'engrais, les poudres de roches et les chaulages influencent le pH.



Pour mesurer le pH avec un pH-mètre Hellige, on ajoute à la terre une solution indicatrice puis on compare la couleur de la solution à une échelle colorimétrique.

Stefan Weller

Partie 3 : Maintenir et améliorer la fertilité du sol

3.1 La gestion de l'humus

L'agriculture biologique considère que l'humification peut fortement contribuer à résoudre la plupart des problèmes pédologiques. Il y a de bonnes raisons pour cela puisque, à y regarder de plus près, l'humus se révèle être le pivot et le point central de la fertilité des sols :

- › L'humus se dépose volontiers à la surface des agrégats en y formant une enveloppe. Les grosses mottes se partagent à leur tour en priorité en suivant ces surfaces (points et lignes de rupture), de telle sorte que les petits agrégats restent intacts. Les enveloppes humiques imprègnent les agrégats et les protègent contre les excès d'eau : ils se délitent moins vite quand il pleut, donc les sols sont moins battants.
- › Ces surfaces riches en humus empêchent les agrégats des sols lourds de coller trop fortement les uns aux autres, ce qui permet de les travailler même en cas de forte pénurie d'eau. Or, non seulement l'humus allège les sols lourds, mais il améliore aussi la cohésion des sols légers en « cimentant » leurs agrégats !
- › Dans les sols grumeleux et non battants, la quantité de matières fines lessivées vers les couches profondes du sol diminue et l'eau de pluie s'y infiltre plus rapidement, ce qui diminue l'érosion. Ces sols permettent aux racines des plantes de descendre plus profondément pour trouver de l'eau en profondeur pendant les périodes sèches. Ces sols possèdent donc un meilleur régime hydrique.



Le compostage rend les déchets végétaux et le fumier « semblables à de l'humus » et donc précieux pour le maintien de la fertilité du sol.

» Avant de reconvertir mon petit domaine agricole à l'agriculture biologique, j'étais très intensif, je n'avais pas de prairies temporaires dans la rotation culturale, je me rendais compte que mes sols réagissaient mal aux excès climatiques (pluies ou sécheresses prolongées). Pour compenser le manque d'humus, je vidais des sacs d'engrais chimiques sur mes sols pour corriger mes cultures. Depuis que je suis en bio, j'ai un autre regard, une autre approche sur les choses. Mes blés ne sont pas bleus mais ils vont bien : ils sont verts, un joli vert ! Et mon sol va nettement mieux.

Nicolas Baudois, paysan bio à Promasens (FR)

- › Plus d'humus signifie aussi plus de nourriture pour les bactéries, les champignons et les autres organismes du sol. Plus actifs, les microorganismes du sol répriment aussi les populations d'agents pathogènes présents dans le sol.
- › Dans le sol, les parties vertes des plantes se décomposent rapidement en humus nutritif qui nourrit les êtres vivants du sol. Les parties lignifiées des plantes et les microorganismes morts sont par contre décomposés plus lentement. Ils se lient aux minéraux argileux pour former ce qu'on appelle le complexe argilo-humique, l'humus dit durable.
- › Le fait que les sols soient riches ou pauvres en humus dépend aussi fortement des conditions locales. Les sols lourds et humides ont tendance à être plus riches en humus que les sols séchards sablonneux ou sur loess. Le plus souvent, les conséquences d'une dégradation de l'humus causée par une rotation culturale non durable ne deviennent visibles qu'après de nombreuses années. Il est donc normal que la reconstitution de l'humus par la rotation prenne aussi des années. Les apports de composts de déchets végétaux ou de fumier permettent d'accélérer le processus et de compenser partiellement les déficits humiques de certaines rotations. Mais attention, les fumiers et composts de bonne qualité ont aussi leur prix.
- › Une augmentation de la teneur en humus rend les sols plus grumeleux et plus actifs et augmente la disponibilité de l'azote. Une diminution de la teneur en humus les rend plus collants, plus rapidement déliquescents, plus sujets aux tassements et diminue la disponibilité de l'azote.

Comment peut-on augmenter la teneur en humus des sols ?

- › Les composts de déchets végétaux et de fumiers apportent au sol des molécules d'humus plus stables qui résistent bien à la décomposition et contribuent à l'augmentation de la teneur en humus.
- › Les résidus de récoltes lignifiés ne sont décomposés que lentement et favorisent surtout les champignons décomposant la lignine et à croissance lente qui diversifient la microflore du sol. Les résidus de récoltes de ce genre contribuent à la formation d'humus durable.
- › Les prairies pluriannuelles de graminées et de légumineuses qui font partie de la rotation des cultures augmentent la formation d'humus et apportent au sol une très grande masse racinaire facilement dégradable. Elles fournissent donc en premier lieu des éléments nutritifs pour les vers de terre et les microorganismes.

Le bilan humique

Le but de toute agriculture devrait être d'arriver sur chaque parcelle à un bilan humique au minimum équilibré sur l'ensemble de la rotation des cultures. Le bilan humique permet de contrôler si ce but est atteint ou non.

Les méthodes d'établissement des bilans humiques se fondent en général sur des estimations et des calculs basés sur les rotations culturales et les techniques culturales. Seules quelques méthodes comme par ex. REPRO/Hülsbergen ou Standort/Kolbe permettent de calculer valablement les bilans humiques des domaines biologiques. Elles utilisent des normes nationales. Les bilans humiques de fermes différentes ne doivent être comparés qu'avec précaution. Il est en outre recommandé de faire à intervalle régulier des analyses de l'humus qui ne mesurent pas seulement la quantité totale d'humus mais aussi la qualité de l'humus durable et la transformation de l'humus nutritif.

Alfred Berner, FiBL

3.2 Les rotations culturales qui conservent l'humus

En agriculture biologique aussi, suivre uniquement les besoins du marché conduit à ne pas respecter certaines règles des rotations culturales pour des motifs à court terme : les rotations se rétrécissent et sont moins équilibrées, et la proportion des prairies de graminées et de légumineuses diminue. En agriculture biologique, la planification des rotations culturales devrait avant tout tenir compte du sol. Choisir seulement les cultures commerciales qui ont les plus hautes marges brutes et renoncer dans une large mesure aux prairies temporaires revient

à programmer à long terme de gros problèmes de fertilité du sol et de maladies des plantes. Une bonne rotation culturale doit augmenter à long terme la teneur en humus durable ou au moins maintenir un bilan humique équilibré et empêcher le développement des maladies, des ravageurs et des mauvaises herbes.

Les prairies de graminées et de légumineuses forment l'élément central de toute rotation culturale biologique car elles permettent au sol de se reposer, et la teneur en humus augmente si elles restent en place plusieurs années. Elles empêchent les graines de mauvaises herbes de germer et répriment les maladies et les ravageurs, qui sont détruits par la forte activité des êtres vivants du sol. Plus les prairies de graminées et de légumineuses durent longtemps plus leur arrière-effet est important. Les prairies trisannuelles étouffent efficacement les chardons. À cause de leur courte durée, les engrais verts ne peuvent par contre remplacer que partiellement les prairies de graminées et de légumineuses.

Les rotations culturales longues et diversifiées avec une grande proportion de couverture végétale du sol et une diversification des dates des travaux du sol et des récoltes s'avèrent payantes à long terme.



Les prairies de graminées et de légumineuses améliorent la fertilité du sol. L'agriculture biologique ne peut pas fournir durablement de bons rendements s'il n'y a pas de légumineuses comme cultures principales dans la rotation.

» Pour moi, l'optimisation de la rotation passe par le remplacement des cultures pures par les cultures associées et le remplacement du maïs par les céréales fourragères récoltées à l'état immature. Depuis peu je cultive le colza après le pois-orge au lieu de le faire après le blé, ce qui me donne plus de temps pour déchaumer correctement la parcelle.

*Bertrand Wüthrich, paysan bio à Courtételle (JU)
et conseiller agricole*

Résidus de récolte de quelques plantes cultivées

Culture	Résidus de récolte, dt MS par ha et an
Pommes de terres, betteraves sucrières	6–10
Dérobées fourragères d'automne	9–18
Céréales, pois protéagineux, maïs, colza, féverole	10–20
Dérobées fourragères hivernantes	15–30
Sous-semis pour fauche en automne	20–40
Prairies temporaires de graminées et trèfles ou luzerne	30–65

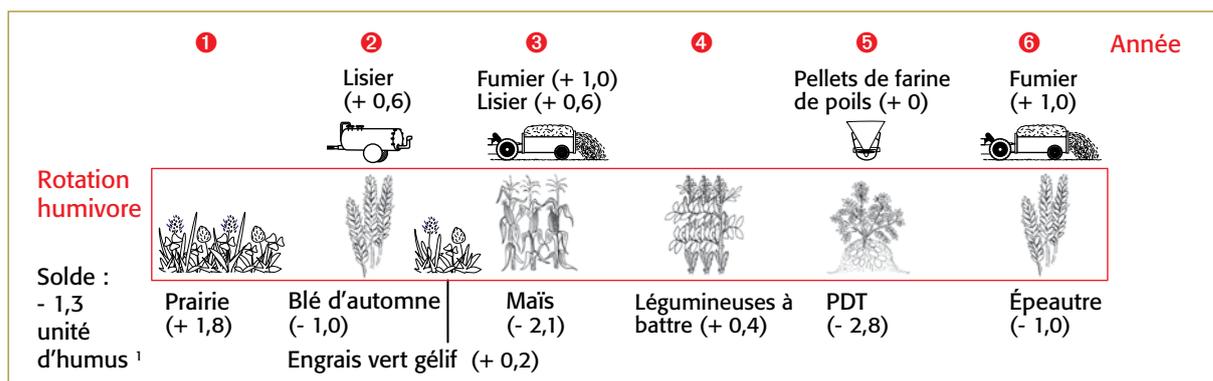
Source : Manuel « Le sol », édition Imz

Règles de rotations culturales importantes pour l'humus :

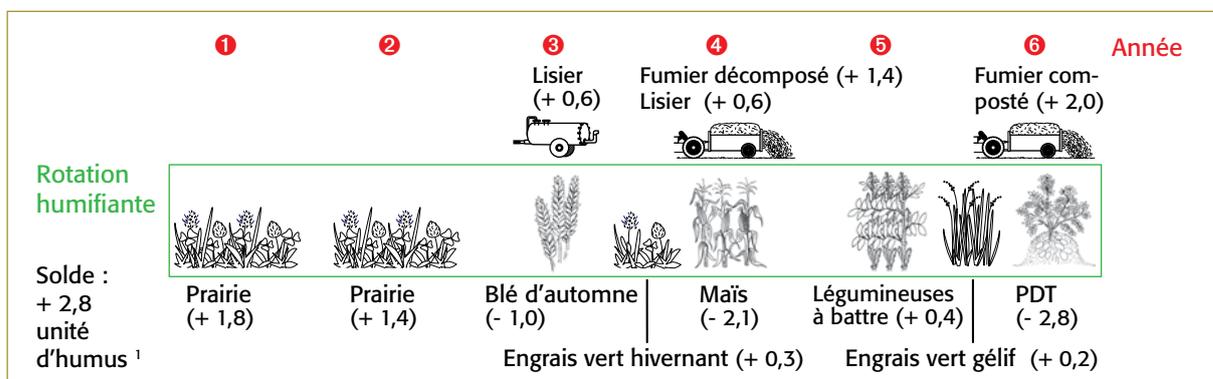
- › Au moins 20 % de prairies de graminées et de légumineuses dans la rotation pour améliorer la fertilité du sol et réprimer les mauvaises herbes.
- › Au maximum 60 % de céréales pour éviter les maladies.
- › Alternier cultures à feuilles et à tiges, cultures humifiantes et humivores, cultures d'automne et de printemps, semis précoces et tardifs – pour éviter l'épuisement du sol, les problèmes de maladies transmises par le sol et les mauvaises herbes problématiques.
- › Cultiver des engrais verts pour enrichir le sol en éléments nutritifs et en humus et pour le protéger contre l'érosion.

Exemples modèles de rotations culturales humifiantes et humivores

Dans la pratique, les rotations culturales fortement dominées par les cultures sarclées ont souvent des bilans humiques négatifs. Les exemples suivants montrent qu'il est possible d'atteindre un bilan humique équilibré voire positif même avec des rotations culturales avec des cultures fortement humivores et une charge en bétail moyenne de 0,5 à 0,8 UGB par hectare.

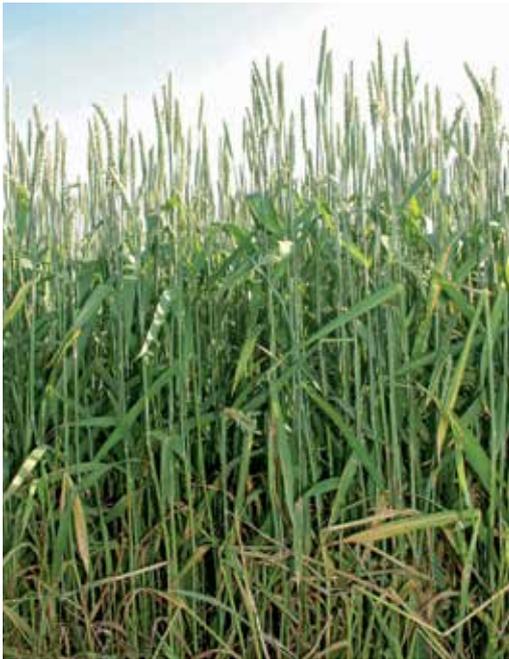


Rotation culturale humivore : Cette rotation ne comporte qu'une seule année de prairie de graminées et de légumineuses. Vu que le fumier est utilisé pour le maïs et l'épeautre, l'agriculteur doit acheter des engrais organiques pour les pommes de terre. Cette rotation consomme de l'humus car les sarclées ne sont combinées qu'à un seul engrais vert par ailleurs gélif (p. ex. moutarde).



Rotation culturale humifiante : Cette rotation comprend une prairie bisannuelle de graminées et de légumineuses qui contribue de manière décisive à l'humification. Un apport de fumier décomposé et un de fumier composté apportent au sol une grande quantité de matière organique stable, et les deux engrais verts (par ex. mélange de graminées et de légumineuses, avoine) apportent une grande quantité de matière organique fraîche. Le bilan humique de cette rotation est positif malgré deux cultures fortement humivores.

¹⁾ Base de calcul : Unités d'humus simplifiées selon Leithold et Hülsbergen, Revue Ökologie & Landbau, numéro 105, 1/1998, pages 32–35. Hypothèses : Apport de lisier : 30 m³ dilué à 1 : 1 ; Apport de fumier : 20 t.



La grande quantité de paille produite par les variétés à longues tiges contribue aussi à l'humification des sols.

La fatigue du sol est un vrai défi

Si une espèce ou un groupe d'espèces de plantes ne peut plus être cultivé normalement sur une parcelle après un intervalle de culture de trois à quatre ans, le phénomène est appelé fatigue du sol. Les exemples les plus connus concernent les pommiers, les rosiers et les légumineuses. La fatigue du sol peut être causée par l'accumulation d'agents pathogènes, par un appauvrissement déséquilibré des sols en certains éléments essentiels, par des toxines sécrétées par les plantes (allélopathie), par une mauvaise structure du sol ou encore par une combinaison de certains ou de tous ces facteurs.

La fatigue du sol peut devenir un vrai problème en bio quand elle concerne les légumineuses. Elle se manifeste par une baisse de vigueur des prairies de graminées et de légumineuses et des cultures de légumineuses à battre qui s'aggrave d'année en année et qui est causée par un déséquilibre dans le sol (développement d'agents pathogènes). De nombreuses interactions encore inconnues font actuellement l'objet de recherches scientifiques. Les thérapies sont le plus souvent individuelles et nécessitent un conseil compétent.

» Les expériences à long terme montrent que les prairies bisannuelles de graminées et de légumineuses ne peuvent pas garantir à elles seules la stabilisation de la teneur en humus, même pas dans les sols riches en humus. Il faut en plus que le maximum de résidus de récolte reste sur les champs.

Alfred Berner, FiBL

3.3 Les engrais organiques

Le fumier et le lisier provenant de la production animale ainsi que les composts et les déchets végétaux broyés issus de la production végétale sont les principaux engrais organiques de l'agriculture biologique. Mais depuis peu de temps on utilise aussi de plus en plus de substrats de fermentation (digestats) provenant des installations de production de biogaz.

Ces engrais organiques agissent sur le sol de différentes manières selon leurs caractéristiques physiques (de liquides à solides), chimiques (des minéraux simples aux molécules organiques complexes) et biologiques (matière unique ou diversifiée).

Compost

À cause de sa transformation, le compost contient de la matière organique stabilisée utile pour la formation de l'humus et apporte à la terre un mélange d'éléments nutritifs riche en phosphore. Toujours plus d'études montrent que le compost fait davantage progresser la vie du sol et sa fertilité que ce qui est possible avec d'autres engrais organiques : le compost améliore le sol. Alors que le compost de fumier assure une bonne fumure azotée, le compost de déchets verts ne contient pas beaucoup d'azote.

Dans la pratique, composter ensemble des déchets végétaux de la commune et son propre fumier a fait ses preuves, aussi économiquement ; les taxes de compostage des déchets végétaux peuvent payer les frais d'une retourneuse de compost et du travail. Chaque pays a ses propres bases légales qu'il faut respecter.

Lorsque des composts jeunes et riches en lignine sont épandus pour des cultures à croissance rapide, cela peut provoquer – surtout au printemps – des blocages temporaires de l'azote dans le sol. Dans ce genre de cas, les composts plus mûrs, qui contiennent déjà un peu de nitrate, sont plus adéquats. Une fumure complémentaire avec une source d'azote organique facilement disponible comme du lisier peut empêcher ce risque.

La fabrication d'un compost de haute valeur biologique qui ne pollue pas l'environnement et renforce les plantes demande de bonnes connaissances et de l'expérience.



À quoi faut-il faire attention lors du compostage de déchets végétaux ou de fumier ?

- Le compost ne doit pas être détrempé (pas d'eau qui sort du poing lorsqu'on presse). Le recouvrir si nécessaire.
- Le compost ne doit pas se dessécher. Si nécessaire, l'arroser lors du brassage.
- Le brassage du compost favorise sa transformation.
- L'adjonction de terre (10 %) favorise la formation de molécules d'humus stable.
- Une température de fermentation d'au moins 50 °C favorise l'hygiène et détruit les graines de mauvaises herbes.

Le lisier

Le lisier contient beaucoup d'azote ammoniacal rapidement disponible et de matière organique rapidement minéralisable qui contribuent peu à l'humification des sols. La rapidité d'action et la souplesse d'utilisation du lisier pendant la période de croissance est son grand avantage agronomique.

Le lisier doit si possible être épandu par temps humide sur des sols absorbants pour diminuer le plus possible les pertes d'éléments nutritifs ainsi que la pollution de l'air et de l'eau. L'épandage de grandes quantités de lisier provoque la formation d'ammoniac qui peut brûler les vers de terre se trouvant près de la surface du sol. Si elle est bien développée, la vie dans le sol peut néanmoins absorber des doses modérées d'environ 25 m³ par hectare de lisier dilué pour les incorporer dans la chaîne alimentaire et donc les réintroduire dans le cycle de la matière organique.



Les vaches jouent le plus souvent un rôle capital dans le cycle des substances impliquées dans la fertilité du sol. Ce faisant, la digestion, le lait et le fumier des vaches nourries avec des fourrages grossiers diversifiés se différencient nettement de ceux des vaches dont l'alimentation contient énormément de protéines.

Le fumier

En tant que mélange de matières végétales et animales, le fumier est un engrais plus équilibré que le lisier, mais sa qualité dépend fortement du stockage. Le fumier décomposé et le compost de fumier mûr sont meilleurs pour la structure du sol et les rendements que le fumier frais ou le fumier (putride) en tas, mais n'apportent pas de nourriture aux vers de terre.

Et même si on ne regarde que l'azote, le fumier composté s'avère être le meilleur engrais vu qu'il ne provoque ni blocage de l'azote dû à la paille peu décomposée ni dommages dus aux grosses mottes de fumier. En cas de stockage prolongé, la qualité du fumier composté se rapproche de celle du compost. Le fumier de stabulation libre est un cas spécial qui nécessite la plupart du temps un ameublissement mécanique avant de pouvoir être décomposé puis épandu.

Évaluer correctement l'action de l'azote

L'efficacité azotée d'un engrais ne dépend pas seulement de sa teneur en azote mais aussi du rapport entre le carbone et l'azote (rapport C/N). Le lisier a p. ex. un rapport C/N de 7 (« étroit »), la paille un rapport C/N de 50 à 100 (« large ») et le rapport C/N du compost se situe souvent entre 20 et 30. La fumure azotée agit rapidement lorsque le rapport C/N se situe autour de 10, et plus le rapport C/N augmente plus les engrais organiques agissent à long terme et contribuent à l'humification du sol. La vitesse de l'absorption de l'azote dépend aussi fortement de la disponibilité générale de l'azote dans le sol, donc p. ex. de l'azote provenant des excréments racinaires des légumineuses, de la température et de l'humidité du sol ainsi que de la diversité et de la vitalité de la vie dans le sol.

➤ Dans le cadre de la ferme pilote de Mapraz (près de Genève), en grandes cultures biologiques sans bétail ni apport extérieurs de fumure depuis 2001, le bilan humique d'une rotation culturale avec seulement un an de prairie temporaire sur 6 ans de cultures est tout juste positif, grâce à la restitution de toutes les pailles qui apportent près de 2 tonnes d'humus par hectare et année. L'augmentation de la durée de la prairie temporaire à deux ans au lieu d'une année améliore le bilan humique de 2 tonnes d'humus supplémentaires. Dans ce système, l'apport de la quantité maximale de compost de déchets verts autorisée en Suisse en fonction du bilan du phosphore (= 9 tonnes par hectare et année pour Mapraz), permettraient d'améliorer encore le bilan humique de 4 tonnes d'humus par hectare et année.

Josy Taramarcz, conseiller bio, Agridea Lausanne

Utiliser des digestats comme engrais ?

La possibilité d'utiliser les digestats comme engrais existe depuis l'invention des digesteurs à biogaz. Les digestats sont souvent constitués des mêmes substrats de départ que les composts (lisier, fumier, matières végétales etc.) et contiennent autant d'éléments nutritifs et de matière organique. Les effets de ces engrais sont cependant très différents à cause des différents processus de décomposition (compostage et fermentation méthanifère): le compost se forme en présence d'oxygène lors d'une fermentation aérobie, et sa matière organique est stabilisée si la décomposition a été assez avancée. Les digestats par contre sont produits en conditions anaérobies, c.-à-d. par des fermentations qui se déroulent dans un milieu dépourvu d'oxygène et qui sont analogues à de la pourriture, et ils sont encore en plein processus de décomposition lors de la sortie du digesteur. Leur utilisation comme engrais doit donc tenir compte des points suivants :

- Les digestats liquides contiennent énormément d'ammonium (NH_4^+) qui se transforme facilement en ammoniac (NH_3) au contact de l'air lors de l'épandage. Les digestats liquides doivent donc être épandus – éventuellement après dilution – par temps frais, humide et sans vent sur des sols absorbants avec un épandeur à tuyaux souples, avec un distributeur à tuyaux semi-rigides muni de socs ou avec un épandeur muni d'un système d'enfouissement du lisier.
- Il faut éviter les conditions anaérobies provoquant la formation de gaz hilarant (N_2O) !
- Les digestats humides mais solides peuvent agir comme engrais rapides, mais leur contribution à l'humification durable est moindre et ils n'améliorent que peu la structure du sol. Si le digestat se dessèche, il perd son ammoniac ! Les digestats encore humides peuvent être refermentés en conditions aérobies pour produire du compost de bonne qualité. Pour éviter les pertes d'ammoniac, ces digestats doivent être mélangés avec des matières ligneuses prédécomposées.
- Les digestats ne doivent être appliqués que quand le milieu peut assimiler les éléments fertilisants apportés.

En agriculture biologique, l'utilisation des digestats comme engrais n'est autorisée que sous certaines conditions (tenir compte des cahiers des charges des différentes fédérations !).

Alfred Berner et Jacques Fuchs

» Les digestats liquides apportés de manière correcte peuvent booster les cultures, surtout au printemps. Apportés en trop grande quantité, ils peuvent toutefois dégrader les sols.

Jacques Fuchs, FiBL



Les digestats solides peuvent être transformés en engrais de haute valeur en leur faisant subir une postfermentation aérobie.

Teneurs en éléments nutritifs principaux (kg/t de matière fraîche) de quelques engrais organiques

	C _{organique}	N _{organique}	N _{minéral}	P	K
Fumier de stabulation libre ¹	175	4.0	1.3	1.0	9.0
Fumier en tas ¹	150	4.1	0.8	1.4	5.5
Fumier composté ¹	106	4.6	1.0	2.0	6.6
Compost de déchets verts	214	6.7	0.3	0.1	4.2
Digestat solide	235	5.7	0.3	0.1	4.2
Lisier complet dilué 1:1 ¹	35	0.9	1.2	0.4	6.6
Digestat liquide	61	2.0	2.0	0.9	3.3

¹ Engrais de ferme de bétail laitier

Source : DBF-GCH, CH, 2009

L'azote organique devient disponible pour les plantes à moyen et long terme tandis que l'azote minéral peut être absorbé rapidement par les plantes ou les microorganismes – mais ce dernier est aussi facilement perdu. Le tableau donne les valeurs moyennes. La teneur en phosphore des engrais organiques varie particulièrement fortement en fonction de l'alimentation des animaux.

Est-ce que les fermes bio ont des problèmes de carences en phosphore ?

Dans les fermes sans apports d'éléments nutritifs extérieurs, le phosphore peut devenir un facteur limitant dans les fourrages ou les engrais. Les apports de fumier ou de compost de provenance extérieure seraient une possibilité pour éviter les carences en phosphore sans devoir compléter la fumure avec des phosphates bruts du commerce. Cultiver des légumineuses et favoriser l'activité des microorganismes du sol pourrait aussi mobiliser de grandes quantités de phosphore bloqué dans le sol. Les fermes qui ont des problèmes de carences en phosphore dans les cultures ou les élevages malgré un bilan du phosphore équilibré ont souvent des sols avec des pH élevés. En effet, les pH élevés perturbent l'absorption du phosphore par les plantes.

3.4 Les engrais verts et les prairies temporaires

Il y a beaucoup de bonnes raisons pour cultiver des engrais verts et des prairies temporaires : Ils contribuent à l'amélioration de la qualité du sol, diminuent les maladies de rotation et aident à fixer des éléments nutritifs présents dans l'air ou à en mobiliser du sol. Pour les domaines avec pas ou peu de bétail, les engrais verts sont une des plus importantes possibilités de nourrir le sol et de fabriquer de l'humus.

Aucun engrais vert ne peut cependant satisfaire en même temps toutes les exigences et tous les souhaits. Différents mélanges ou espèces seules entrent en ligne de compte suivant l'objectif que l'engrais vert doit atteindre. Les mélanges avec des graminées sont en général indiqués quand l'engrais vert doit aussi servir de fourrage. Il y a aussi de bons mélanges sans graminées pour les engrais verts non fourragers.



But : amélioration de la structure du sol, humification.

Il y a des plantes pour tous les objectifs

But : amélioration de la structure du sol, humification

Les prairies temporaires à base de graminées et de légumineuses qui restent en place pendant au moins un an et demi conviennent le mieux pour l'humification des sols, car leurs racines colonisent intensivement le sol sur toute sa profondeur.

L'idéal est de faucher régulièrement le mélange (év. pour vendre le fourrage) et d'incorporer la dernière coupe en tant que mulch. D'un autre côté, la colonisation racinaire du sol plus intensive et la plus lente décomposition de la paille des graminées favorisent plus fortement l'humification. Les mélanges avec luzerne sont les meilleurs pour les sites secs. Les prairies temporaires doivent rester en place plus d'une année pour avoir une influence positive durable sur le sol, mais cela augmente le risque d'attaque de ver fil de fer dans les cultures suivantes.

But : protection contre l'érosion pendant l'hiver

Pour la protection contre l'érosion, le mieux est de semer au bon moment un engrais vert hivernant, comme par exemple un mélange de graminées et de légumineuses ou un raygrass après céréale, ou du seigle fourrager (aussi mélange de vesce et de seigle) ou un chou de Chine après pomme de terre ou maïs.

Les engrais verts et le climat

Les engrais verts gélifs ou hivernants avec une grosse masse verte peuvent émettre beaucoup de gaz à effet de serre (surtout du protoxyde d'azote) dans l'atmosphère pendant les cycles hivernaux de gel et de dégel. Les engrais verts hivernants semés avant le début septembre (selon la région climatique) devraient donc être fauchés en octobre, la fauche enlevée du champ est valorisée par exemple comme fourrage ensilé.

But : fournir de l'azote à la culture suivante

Les meilleurs apports d'azote sont fournis par des légumineuses pures, par exemple des pois ou de la féverole ou, pour les plus longues durées ou les semis après moisson, des mélanges de trèfles et de luzerne.

Les peuplements denses de légumineuses qui restent en place jusqu'à la floraison peuvent apporter entre 70 et 140 kg par ha d'azote à la culture suivante. La vesce d'été et les trèfles d'Alexandrie ou de Perse conviennent bien pour les enherbements courts d'environ 3 mois en cours de saison. Les chaumes des prairies de graminées et de légumineuses apportent un gain de 50 kg N par hectare.

Les légumineuses à battre, comme par exemple le lupin, peuvent non seulement fixer de l'azote mais aussi mobiliser du phosphore pour les cultures suivantes.

But : conserver l'azote pour la culture suivante

Les espèces à croissance rapide comme l'avoine fourragère, le seigle fourrager, la moutarde ou la navette sont les meilleures pour conserver l'azote pour la culture suivante.

Le radis oléifère a la particularité de pénétrer dans les couches profondes du sol et d'y récupérer l'azote qui y avait migré. On peut par contre perdre de nouveau beaucoup d'azote si les espèces gélives ne sont pas labourées avant l'hiver ou si la culture suivante est mise en place avant l'hiver.

De nombreuses nouvelles espèces sont actuellement proposées pour les cultures intercalaires. En font partie le sorgho du Soudan, l'avoine rude ou la guizotia oléifère (*Guizotia abyssinica*), qui germent vite et étouffent bien les mauvaises herbes, et dont certaines résistent très bien à la sécheresse. L'expérience montrera lesquelles font leurs preuves.

Les quantités d'azote apportées par les légumineuses

Après la fauche d'un mélange de graminées et de légumineuses ou d'une légumineuse pure, le reliquat azoté peut être estimé approximativement de la manière suivante :

- Chaumes de mélange de graminées et de légumineuses : + 50 kg N/ha
- Mélange de graminées et de légumineuses avant la montaison des graminées : 15–25 kg N/ha par kg/m² de masse fraîche, ce qui donne environ 20–100 kg N/ha pour une masse fraîche de 1–4 kg/m².
- Mélange de graminées et de légumineuses après la montaison des graminées (p. ex. avoine ou seigle fourrager) : 0–20 kg N/ha, indépendamment de la quantité parce que le rapport C/N est généralement très large.
- Légumineuses pures avant la floraison : environ 30–35 kg N/ha par kg/m² de masse fraîche. Les peuplements denses qui arrivent à la hauteur du genou atteignent environ 3–4 kg/m², donc 80–140 kg N/ha.



Ce sol silteux d'un domaine maraîcher biologique a visiblement des problèmes de structure. Il se trouve dans une région avec peu de production animale et n'a donc pas reçu d'engrais de ferme. Pour améliorer la structure de ses sols, le domaine achète maintenant de la paille et cultive des engrais verts. Cela va aussi lui permettre de stopper l'érosion hydrique et éolienne.

➤➤ Pour avoir l'influence la plus positive possible sur le climat, je pense que l'optimisation des cultures de la rotation et des engrais verts est plus importante que le recours exclusif au travail réduit du sol. Je développe le travail réduit du sol et le recours aux engrais verts sans me précipiter. Je ne m'interdis pas le recours occasionnel à la charrue ou au chisel.

Bertrand Wüthrich, paysan bio à Courtételle (JU)
et conseiller agricole

Les engrais verts et leurs effets

Type d'engrais vert/ de mélange	Humification	Apport d'azote pour la culture suivante	Ameublissement profond	Protection contre l'érosion pendant l'hiver	Prévention des ravageurs et maladies ¹	Étouffement des adventices	Remarques
Prairie de graminées et de légumineuses jusqu'à 1.5 an	●●●○	●●●○	●●○○	●●●●	●○○○	●●●○	Étouffe les chardons et les lisérons, favorise les rumex. Risque de ver fil de fer dans la culture suivante. Bonne colonisation racinaire profonde avec la luzerne.
Graminées pures (<9 mois)	●●●○	●○○○	●●○○	●●●○	●●●○	●●●○	Ne sont pas hôtes des nématodes cécidogènes des racines et de nombreuses maladies de rotation des cultures sarclées et maraîchères.
Mélanges de trèfles et de luzerne (<9 mois)	●●●○	●●●●	●●●○	●●●○	●○○○	●○○○	Sont de bons engrais verts entre les céréales et le maïs. Longues durées d'utilisation possibles.
Lupin, féverole (jusqu'à la floraison)	●○○○	●●●●	●●●○	●○○○	●○○○	●○○○	Sensibles à de nombreuses espèces de nématodes, peu de problèmes de ver fil de fer dans la culture suivante. Les lupins ont besoin de chaleur. Peu adéquats s'il y a des légumineuses comme cultures principales.
Pois, vesces (jusqu'à la floraison)	●○○○	●●●●	●○○○	●○○○	●○○○	●●○○	Les pois ont besoin de peu de chaleur et peuvent hiverner. Les vesces selon le type. Les pois ne conviennent pas s'il y en a comme culture principale, les vesces seulement sous certaines conditions.
Phacélie (jusqu'à la floraison)	●○○○	●○○○	●○○○	●○○○	●○○○	●●●○	Aucun lien de parenté avec les autres cultures. « Gain d'azote » par empêchement du lessivage.
Radis oléifère	●○○○	●○○○	●●●○	●○○○	●●●○	●●●○	Pas pour les rotations avec crucifères, ameublissement profond seulement en cas de temps de séjour prolongé. « Gain d'azote » par empêchement du lessivage. Effet d'assainissement (nématodes) selon les variétés.

Légende : ○○○○ = Aucun effet ; ●●●●● = Effet très fort ; ¹ Focalisation sur les maladies à large spectre d'hôtes et sur les nématodes.

But : ameublissement profond

Entrent ici en ligne de compte les radis oléifères et les luzernières pluriannuelles.

Le sol doit d'abord être ameubli en profondeur avec un chisel adéquat pour que les racines des plantes de l'engrais vert pénètrent plus facilement dans les couches profondes du sol et puissent y stabiliser les nouveaux pores (colonisation par le vivant). Pour être efficaces, les radis oléifères ont eux aussi besoin d'une durée de culture d'au moins 3 mois. Comme d'autres légumineuses à enracinement profond, le lupin et la féverole peuvent être utilisés pour une colonisation racinaire profonde du sol.

But : prévention des maladies et des ravageurs

Les engrais verts doivent contribuer à diminuer la pression des maladies et des ravageurs pour la culture suivante, donc il ne faut pas semer des espèces étroitement apparentées avec les cultures principales (par ex. pas de moutarde si la rotation comprend du colza ou des choux). Les pois ne doivent pas être cultivés trop souvent dans la rotation culturale. Il en va de même pour les autres légumineuses, mais dans une moindre mesure. Les engrais verts à base de légumineuses à battre n'ont donc pas leur place dans les rotations culturales qui en ont comme cultures principales.

Il faut particulièrement veiller aux maladies et aux ravageurs qui attaquent de nombreuses plantes-hôtes différentes comme la sclérotiniose, le rhizoctone et certaines espèces de nématodes.

Les engrais verts très sensibles à certaines maladies (par ex. le tournesol à l'égard de la sclérotiniose) doivent être évités si la rotation comprend d'autres cultures principales sensibles (colza, tournesol).

Les engrais verts hivernants peuvent permettre de contourner les problèmes de rotations des cultures. Par exemple, les nématodes cécidogènes des racines ne peuvent pas se multiplier sur les pois et les vesces d'hiver si ces cultures sont labourées assez tôt.

But : étouffement des mauvaises herbes

Les mauvaises herbes propagées par des semences peuvent être étouffées par des engrais verts à croissance rapide. Les mélanges qui supportent une coupe de nettoyage après la levée dès qu'ils ont 10 à 15 cm de hauteur sont souvent encore meilleurs parce qu'ils forment ensuite des peuplements très denses et très fournis. Le meilleur moyen d'étouffer les mauvaises herbes pluriannuelles comme les chardons et les liserons est de mettre en place des mélanges pluriannuels de graminées et de légumineuses.

Martin Koller, FiBL

3.5 Favoriser les adventices au lieu de lutter contre les mauvaises herbes ?

La plupart des adventices sauvages proviennent à l'origine de berges de rivières ou d'endroits spéciaux où la terre était continuellement remuée. Elles ne sont arrivées en Europe centrale qu'avec les céréales dont elles envahissaient les champs en tant que « mauvaises herbes ». Elles se sont au fil du temps adaptées à certaines conditions pédologiques et lumineuses. Elles sont donc souvent spécialisées, et certaines arrivent même à tirer profit de conditions aussi extrêmes que des sols compactés.

L'Europe compte jusqu'à 650 espèces d'adventices. Des associations végétales différentes se forment selon le degré d'acidité du sol et la culture en place (céréales ou sarclées).



Ce magnifique bleuet amène des auxiliaires dans les grandes cultures et les cultures maraîchères. Il contribue donc à l'auto-régulation de l'écosystème.

Suite à l'utilisation des herbicides, à la fertilisation azotée intensive, au nettoyage des semences, aux techniques agricoles ingénieuses et aux variétés très productives de plantes cultivées, les conditions de vie de ces adventices se sont massivement détériorées, et aujourd'hui 40 % (D) à 80 % (CH) de ces espèces se trouvent sur la « liste rouge ». Après tant d'années d'agriculture conventionnelle, il arrive que le stock grainier soit si maigre que de nombreuses espèces typiques du site manquent encore à l'appel plusieurs années après la reconversion.

» **Tout ce qui pousse sur la terre a sa propre raison d'être et contribue par ses propres forces à l'accomplissement de l'ensemble de la création. Rien n'est sans raison, rien n'est inutile de ce qui pousse sur la terre. [...] souvent ce qui t'es nuisible fournit aux oiseaux et aux animaux sauvages une indispensable nourriture.**

Ambroise, évêque de Milan, 339-397 après J.-C.

Comment favoriser les adventices menacées ?

Les mesures suivantes peuvent contribuer à conserver les adventices menacées :

- › Travailler le sol superficiellement.
- › Introduire régulièrement des périodes de jachère.
- › Choisir des interlignes larges ou semer les cultures à la volée.
- › Retarder le déchaumage et faire pâturer des moutons ou des bovins.
- › Réintroduire des anciennes cultures typiques de la région comme le lin, le sarrasin ou le millet.
- › Limiter les cultures fourragères pluriannuelles (mais conflit d'objectifs avec la fertilité du sol !)



Constituée de caméline et d'un trèfle court, cette flore adventice d'un champ d'avoine ne deviendra pas des « mauvaises herbes ». Par contre, les plantes sauvages comme le chardon des champs, le chiendent ou le liseron des champs doivent être soigneusement maintenues sous contrôle en agriculture biologique.

Diversifier l'utilisation – aussi pour le sol

Les adventices constituent les ressources vitales de nombreux auxiliaires, favorisent les espèces pollinisatrices et détournent les ravageurs des cultures. Les adventices favorisent aussi la structure grumeleuse du sol car elles assurent entre les cultures une colonisation racinaire et une protection contre l'ensoleillement direct. Et sur les champs qui restent longtemps sans végétation, comme par exemple le maïs, elles peuvent protéger le sol contre l'érosion.

De l'adventice à la mauvaise herbe problématique

Les plantes sauvages ont toujours été combattues parce qu'elles concurrencent les plantes cultivées pour l'eau, les éléments nutritifs, la lumière et l'espace. Les espèces durablement établies dans les champs cultivés se sont adaptées à cette lutte, mais de nombreuses espèces ne posent pas de problèmes parce qu'elles n'ont qu'une faible force de concurrence.

Il y a cependant des espèces capables – surtout quand les conditions de croissance sont mauvaises – de supplanter les plantes cultivées. Les plantes qui peuvent se reproduire rapidement par les racines ou les rhizomes comme le chardon, le liseron, le rumex ou le chiendent représentent un grand défi pour les grandes cultures biologiques.

Rotations culturales équilibrées, travail du sol soigneux et bonnes conditions de démarrage et de croissance pour les plantes cultivées contribuent souvent de manière décisive à reléguer les plantes sauvages au rang de flore adventice pouvant dans l'ensemble avoir des effets positifs sur la fertilité du sol et les récoltes.

Le travail du sol stimule les adventices !

Même léger et superficiel, tout travail du sol stimule la germination des plantes sauvages. En cas de forte levée d'adventices, il est possible de les réguler en pratiquant des déchaumages superficiels répétés ou plusieurs phases de faux-semis. Ce

n'est qu'une fois que les possibilités mentionnées ci-dessus ont été réfléchies à fond et qu'elles sont bien harmonisées les unes en fonction des autres qu'il faut décider si les mauvaises herbes doivent être contrôlées avec des machines spéciales ou par d'autres moyens.

Lukas Pfiffner, FiBL, et Herwart Böhm, vTI (Allemagne)



Combien d'adventices supporte – ou demande – un blé ?

» De nombreuses recherches prouvent le rôle important des grandes cultures biologiques pour la protection de la flore agreste menacée. Le nombre d'espèces de plantes sauvages est deux à trois fois plus élevé dans les champs bio que dans les champs traités avec des herbicides. Même en agriculture biologique, les cultures intensives, les sous-semis, les cultures fourragères pluriannuelles, les systèmes perfectionnés de « régulation des adventices » et le déchaumage immédiat influencent négativement la diversité de la flore.

Lukas Pfiffner, FiBL

3.6 Le tassement du sol et les moyens de l'éviter et d'y remédier

Tassement du sol – Les dégâts faits au sol par les machines

Les tassements du sol surviennent quand la pression exercée sur le sol par les véhicules est plus grande que sa portance. Qu'ils soient argileux ou sablonneux, tous les sols peuvent être compactés. Les tassements préjudiciables apparaissent très vite dans les sols argileux tandis que les sols limoneux fertiles sur loess semblent supporter plus d'erreurs. Ils subissent cependant aussi des tassements, mais les pertes de rendements qu'ils provoquent ne se remarquent souvent que les années avec des conditions météorologiques extrêmes. Dans les sols sablonneux, de petites proportions de silt ou d'argile suffisent pour augmenter la sensibilité aux tassements.



Ce sol extrêmement compacté a été soussolé avant un semis de luzerne.



Prairie de graminées et de légumineuses avec une colonisation racinaire qui pénètre jusqu'à 2 mètres de profondeur.

Que faire en cas de tassement du sol ?

Il peut arriver que l'ameublissement mécanique du sous-sol lui fasse perdre encore plus de structure et que cela aggrave le tassement que l'on voulait supprimer. Pour que cela n'arrive pas, il faut tenir compte des points suivants :

- Les sous-solages ne doivent être effectués que lorsque le sol est sec à la profondeur de travail.
- Stabiliser la structure ameublie en semant si possible lors du même passage des espèces végétales pluriannuelles à enracinement profond (par ex. mélange de graminées et de légumineuse, luzerne).
- Modifier les méthodes de travail de manière à ne plus refaire les mêmes erreurs.

Le compactage des sols signifie en premier lieu que le réseau d'alimentation en oxygène et en eau est détruit. Les sols absorbent alors moins bien l'eau, qui au lieu de pénétrer en profondeur ruisselle alors en surface. Les conditions de vie des organismes du sol et des racines se détériorent parce que les échanges gazeux – et donc l'oxygène – manquent. Même les sols géologiquement profonds deviennent écologiquement superficiels à cause des tassements, parce que les racines ne peuvent plus atteindre les couches profondes du sol.

« Avoir le courage d'attendre permet d'éviter de commettre des erreurs »

C'est l'humidité du sol qui détermine le plus fortement sa portance, parce que l'eau agit comme lubrifiant entre les particules de terre. La structure du sol n'est plus portante quand il y a trop d'eau. Attendre que le sol soit bien ressuyé et portant exige d'avoir les nerfs solides, mais cela en vaut la peine à long terme. Une rotation culturale prévoyante et un choix adéquat de variétés qui laissent un peu de marge de manœuvre pour les dates des semis et des récoltes peut s'avérer très utile dans ce contexte. En automne, les cultures dérobées retirent de l'eau du sol et le rendent plus portant pour les semis d'automne.

» Les sols sont parfois tellement tassés par des machines trop lourdes que la vie ne peut quasiment plus s'y infiltrer. Il faut alors intervenir avec des techniques chères et commencer par réparer grossièrement les dégâts. Le tout doit ensuite être stabilisé par une intense colonisation racinaire de toutes les couches du sol pour retrouver un équilibre. Et c'est nous, les hommes, qui en portons la responsabilité.

Sepp Braun, paysan bio à Freising (Allemagne)

» Nous avons bien sûr dû commencer par apprendre ce qu'un sol lourd signifie réellement. Quand on prend une bêche, qu'on extrait une tranche de sol et qu'on a de l'eau, il est parfaitement clair qu'il ne faut pas le travailler mais le laisser tranquille. Il peut sembler sec en surface, mais ça ne signifie de loin pas encore qu'on peut intervenir dans ce champ. Il faut donc aussi développer sa perception intuitive du phénomène.

Uwe Brede, paysan bio à Hessen (Allemagne)

Les sols sont plus portants si on y intervient moins souvent et moins profondément. Dans les sols non travaillés, l'activité des vers de terre et des microorganismes développe un réseau de pores ininterrompu qui assure une circulation suffisante de l'air et de l'eau. Cette constatation peut toutefois provoquer des conflits avec les procédés de désherbage mécanique.

La pression interne des pneus correspond à quelques détails près à la pression sur la surface du sol jusqu'à une profondeur de 10 cm environ. Cela montre bien que la pression des pneus doit être basse. Le mieux est d'utiliser des pneus radiaux modernes qui permettent de travailler à très basse pression dans les champs. Les remorques équipées de pneus de camion n'ont donc absolument rien à faire dans les champs !

Pour savoir jusqu'où on peut réduire la pression des pneus, il faut connaître la charge par roue (charge de l'essieu à la pesée divisée par deux) puis trouver dans le tableau des pressions des pneus fourni par le fabricant la pression minimale recommandée pour la charge par roue mesurée et la vitesse d'avancement. Cette méthode augmente la transmission de la force de traction et diminue le patinage et donc le lissage superficiel du sol.

Il faut aussi savoir que plus la charge par roue est élevée plus la pression agit profondément dans le sol, et cela de manière presque totalement indépendante de la surface de contact des roues avec le sol et de la pression des pneus. Les pneus larges peuvent donc protéger contre les tassements superficiels mais pas contre les tassements du sous-sol lorsque la charge par roue est très élevée. Travailler avec des remorques, des machines et des tracteurs plus légers permet donc de mieux ménager le sol. Et cela permet d'utiliser des pneus gonflés à des pressions inférieures à 1 bar.

Il faut encore savoir que plus on roule souvent sur un sol plus il se tasse sous les voies de passage. Diminuer le plus possible le nombre de passages pour tenir compte des besoins du sol permet donc à la fois d'améliorer sa fertilité et d'économiser de l'argent.

Melanie Wild, Markus Demmel et Robert Brandhuber, LfL Bayern (Allemagne)



Comme leur nom l'indique, les charrues horsraie permettent de rouler hors de la raie de labour. La terre, qui n'est pas encore ouverte par la charrue, subit moins de dégâts de circulation, et cette méthode permet d'éviter le patinage et la formation d'une semelle de labour. Les règles pratiques habituelles pour éviter les tassements du sol doivent cependant aussi être respectées quand on utilise une charrue horsraie.



Ce sol silteux très compact situé dans un terrain en pente est du point de vue purement physique moyennement tassé. Ce tassement est-il dû aux passages de véhicules ou peut-on l'interpréter comme une « bonne portance naturelle pour les véhicules » ? Après des dizaines d'années de forte érosion, on travaille ici depuis 10 ans sans labour mais avec du glyphosate. Ce sol est perméable aux vers de terre et donc à l'eau, l'érosion est stoppée. Cependant, cette couche dense et la faible activité biologique de ce sol sont à l'origine d'un déficit de pores moyens et d'une capacité de stockage de l'eau relativement faible.



A



B



C

L'ensemencement de trois couches de sol (0–20 cm [A], 20–30 cm [B] et 30–60 cm [C]) sous une prairie de 700 ans simule bien l'effet de l'érosion: Tandis que la structure du sol et la levée de la culture dans la couche supérieure sont bonnes, la levée et la structure des couches inférieures sont pauvres sous l'effet de l'eau et du croûtage. On peut donc bien s'imaginer la perte en fertilité du sol après que la couche supérieure du sol ait été perdue par l'érosion.

3.7 L'érosion du sol et les moyens de l'éviter

Toutes les interventions mécaniques dans le sol diminuent la cohésion de la terre et diminuent la quantité d'énergie qu'il faut fournir pour lessiver des particules de terre. Les sols qui viennent d'être travaillés et qui n'ont pas de couverture végétale sont vulnérables aux impacts des gouttes de pluie et au ruissellement de surface même s'ils sont faiblement en pente.

L'agriculture biologique apporte en principe des conditions favorables à la diminution de l'érosion hydrique et éolienne : faible proportion de cultures à larges interlignes particulièrement sensibles à l'érosion, prairies de graminées et de légumineuses qui couvrent bien le sol et dont les restes stabilisent les agrégats du sol après la rompue. Il reste cependant des périodes sans couverture végétale, et la « table rase » obtenue grâce au labour reste encore et toujours la pratique la plus courante.

Robert Brandhuber, Markus Demmel et Melanie Wild, Lfl. Bayern (Allemagne)

Exigences en matière de protection contre l'érosion

En Suisse, les critères pour les cultures intercalaires font partie des exigences définies pour les « Prestations écologiques requises » ou des cahiers des charges des labels bio.

» En réalité, le but premier de notre pratique agricole devrait être que le sol soit couvert en permanence. Or même en agriculture biologique on n'en a pas encore assez tenu compte. Il faudrait par exemple repenser les semis tardifs de céréales en automne : le sol reste très longtemps nu et les céréales n'utilisent pas les éléments nutritifs disponibles avant l'hiver. Nous devrions aussi remplacer de plus en plus les cultures pures par des cultures associées.

Bernd Ewald, conseiller bio, IBLA (Luxembourg)

Techniques efficaces contre l'érosion :

- › Planter des haies en travers de la pente. Diviser une pente érosive de 200 mètres de longueur en deux pentes de 100 mètres de longueur diminue d'un tiers l'érosion du sol.
- › Mettre en place des zones tampons sous forme de larges bandes herbeuses comportant si possible des arbres et des buissons.
- › Travailler si possible perpendiculairement à la pente.
- › Dans les champs fortement menacés par l'érosion, renoncer totalement aux cultures à interlignes larges (par ex. le maïs) ou qui nécessitent un travail du sol fréquent (par ex. les légumes).
- › Couvrir le sol avec des cultures intercalaires et des semis de couverture.



» Plus la structure du sol est mauvaise et plus les plantes ont besoin de force pour faire pénétrer leurs racines dans le sol, plus elles sont faibles et donc potentiellement sensibles aux maladies et aux ravageurs. Les milieux qui règnent dans les sols compactés favorisent en outre certains piétins. Je le vois souvent avec les pois, qui sont très sensibles aux tassements du sol. Les piétins sont nettement plus fréquents et graves quand les sols sont trop denses, et ils apparaissent déjà quand les plantes sont encore jeunes. La structure du sol et la santé des plantes peuvent être en étroite relation l'une avec l'autre. Les céréales sont en général moins sensibles que les pois.

Harald Schmidt, SÖL (Allemagne)



La détérioration de la structure superficielle d'un sol est un signal d'alarme que tout agriculteur conscient de ses responsabilités devrait prendre au sérieux ! Une bonne couverture végétale et une biomasse bien nourrie dans la partie supérieure de la couche arable sont les conditions de base de toute agriculture durable. Photos : Un sol agricole sans (en haut) et avec (en bas) fumure organique photographié après une forte pluie (essai à long terme DOC du FiBL à Therwil CH). Les sols nourris de matières organiques et biologiquement actifs sont à même de mieux absorber l'eau de pluie et de conserver une bonne structure superficielle malgré l'impact des gouttes de pluie, ce qui leur offre une meilleure protection contre la battance et l'érosion.



Les semis de couverture sont une mesure efficace contre l'érosion : La végétation qui couvre le sol amortit l'impact des gouttes de pluie et les racines proches de la surface du sol améliorent la cohésion de la terre.

Partie 4 : L'avenir de la culture du sol

4.1 Tenir compte du climat

L'agriculture et le réchauffement climatique sont fortement interdépendants. En effet, d'un côté l'agriculture est menacée par le réchauffement climatique : dans le monde entier, l'augmentation des sécheresses, des précipitations extrêmes et de l'érosion posent des problèmes à la production alimentaire. Et de l'autre côté l'agriculture est responsable de 10 à 15 % des émissions totales de gaz à effet de serre – et si on tient compte de l'industrie des intrants (engrais, pesticides) et de la mise en culture des terres par défrichage de forêts, cette proportion grimpe même jusqu'à 30 %.

» Après 60 ans d'agriculture biologique marqués par toute une série d'apprentissages successifs, j'ai constaté que le taux d'humus de mes sols n'avait que faiblement augmenté. Pourtant, au cours de toutes ces années, nous avons appris à labourer le moins souvent et le moins profondément possible. La prochaine étape que mon fils et mon beau-fils sont en train de mettre en place est donc le travail réduit du sol. C'est un important défi, mais c'est une bien meilleure solution que le rachat de certificats de CO₂ en contre-partie du droit de polluer.

Beat Waber, paysan bio à Colombier (VD)

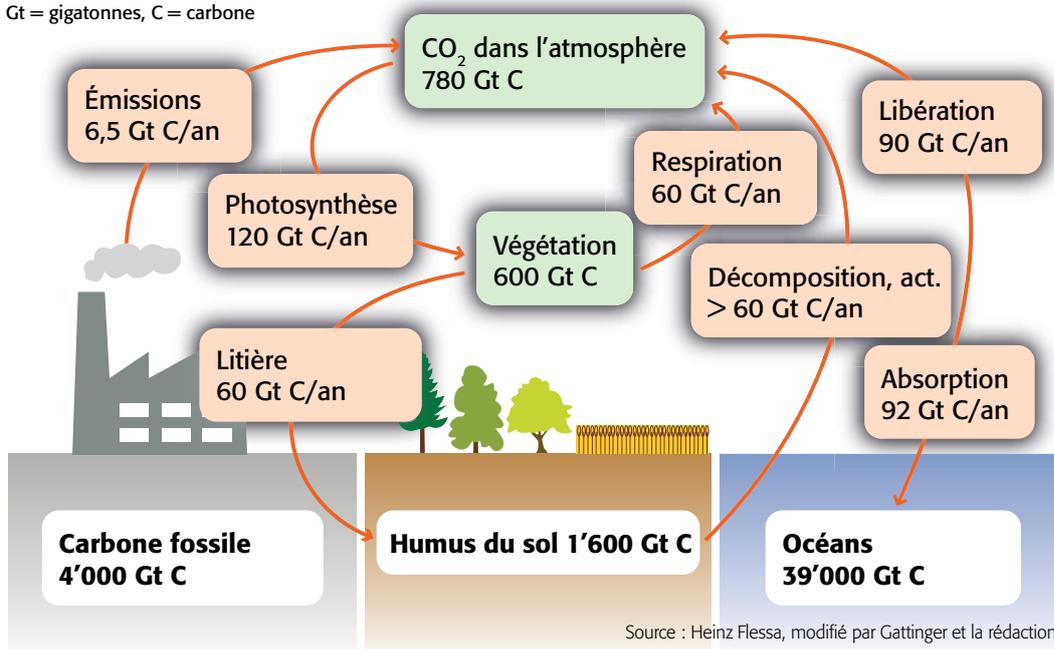
L'importance des sols dans le cycle mondial du carbone

La photosynthèse permet aux plantes de former des molécules carbonées organiques en consommant du CO₂ atmosphérique. À moins de sortir des champs sous forme de récoltes, ces molécules finissent ensuite dans le sol sous forme de restes de racines, d'excrétions racinaires et de litière végétale. La pédosphère (l'ensemble des sols) est le plus grand puits de carbone de la terre vivante (la biosphère) après les mers et les océans ! L'humus et la vie du sol de la Terre contiennent quelque 1'600 milliards de tonnes de carbone (Mrd t de C), soit nettement plus que l'atmosphère (780 Mrd t de C) et la végétation (600 Mrd t de C – surtout sous forme de bois) prises ensemble. Dans le sol, le carbone des restes de plantes et des engrais organiques est en partie transformé en humus et en partie expiré sous forme de CO₂. L'humus est constitué d'environ 60 % de carbone. Avec une teneur en C de 1 % (ce qui correspond à environ 1,7 % d'humus), la couche arable du sol séquestre environ 45 t de C à l'hectare.

La vitesse de transformation et de décomposition de la matière organique varie de quelques jours ou semaines pour les matières végétales fraîches à quelques années ou décennies pour la paille, le fumier ou le compost mûr, et même jusqu'à des siècles voire des millénaires pour l'humus très complexe. Plus les molécules d'humus sont reliées entre elles et aux minéraux argileux et plus elles sont incorporées à des agrégats du sol structurellement stables, plus elles sont protégées contre les processus de décomposition.

Le rôle du sol dans le cycle du carbone

Gt = gigatonnes, C = carbone



La formation et la dégradation de l'humus jouent un rôle important dans les flux de carbone important dans les flux de carbone importants pour le climat. La teneur en CO₂ de l'atmosphère augmente actuellement de 3,3 Gt C par an. L'échange de C avec le calcaire, qui est de loin le plus gros réservoir de carbone, est beaucoup plus lent et n'est donc pas représenté ici.

Le potentiel de séquestration du carbone dans les sols de l'agriculture biologique

Des comparaisons des systèmes faites au niveau mondial montrent que les systèmes agricoles biologiques peuvent lier environ 500 kg de carbone de plus par hectare et par année que les systèmes usuels. Les sols stockent davantage de carbone pendant les 10 à 30 premières années après la reconversion, puis un autre équilibre se met en place. Cependant, même en agriculture biologique, l'humus présent ne peut pas être conservé définitivement si les rotations culturales sont fortement simplifiées – et à fortiori s'il n'y a plus de prairies de graminées et de légumineuses parmi les cultures principales. Le travail du sol intensif stimule lui aussi la dégradation de l'humus, sans compter qu'il consomme beaucoup de pétrole.

De vastes études menées en Europe montrent que la plupart des sols émettent actuellement plus de carbone qu'ils n'en fixent, notamment parce que l'augmentation des températures moyennes qui est déjà survenue provoque une accélération de la dégradation de l'humus et donc s'auto-amplifie. Mais ces études montrent aussi que, dans la pratique, seule une minorité de domaines agricoles utilisent leur potentiel d'humification !

Méthane et protoxyde d'azote

Le méthane (CH_4) possède un effet de serre 20 à 40 fois plus puissant que le CO_2 . Les sols vivants et bien aérés retirent du méthane de l'atmosphère et le décomposent. On trouve de l'autre côté la production de méthane due aux engrais de ferme. Le compostage (par ex. du fumier) produit beaucoup moins de méthane que les autres engrais de ferme.

Le protoxyde d'azote (N_2O) possède même un effet de serre 310 fois plus puissant que le CO_2 . Les sols en produisent quand ils manquent d'oxygène – même pendant une courte période. Plus les quantités et les concentrations d'azote apporté par les engrais sont élevées, plus le sol peut produire de N_2O . Il faut donc non seulement éviter les trop grandes concentrations d'azote minéralisé (N_{min}) dans la solution du sol, mais aussi garantir une bonne aération et perméabilité naturelle des sols. Des études ont montré que les engrais organiques riches en ammonium ont un gros potentiel de pertes de N_2O . Les engrais de ce genre, comme par exemple le lisier de porc ou le lisier méthanisé, peuvent être aussi nocifs que du nitrate d'ammoniaque. Le grand art de l'agriculture consiste donc à ajuster les apports d'azote et la minéralisation des molécules azotées organiques aux besoins réels des plantes. Retourner assez tôt et peu profondément les prairies de graminées et de légumineuses et les faire suivre immédiatement par une autre culture aide à limiter les émissions de N_2O produites pendant l'hiver après les cycles de gel et de dégel à cause des restes de plantes « non digérés ».

*Andreas Gattinger, Kurt-Jürgen Hülsbergen,
Adrian Müller, Andreas Fliessbach et Hartmut Kolbe*



Les surfaces vertes ont tendance à absorber du CO_2 tandis que les surfaces brunes ont tendance à en rejeter.

4.2 Améliorer la stabilité de l'écosystème agricole

En Europe, le changement climatique engendré par l'homme provoquera une modification des conditions météorologiques et une augmentation des épisodes extrêmes. L'agriculture biologique peut s'y préparer afin de pouvoir produire des récoltes suffisantes même les mauvaises années.

Il s'agit avant tout de pouvoir s'en sortir avec trop ou trop peu d'eau, car cela a en production végétale des conséquences sur la résistance aux maladies et aux ravageurs. La résistance à la verse de certaines cultures pourrait aussi devenir critique à cause de l'augmentation des tempêtes orageuses.

1. Le plus important pour les situations de crise est une vie du sol très active et diversifiée. Un bon réseau d'êtres vivants dans le sol aide les plantes à recevoir assez d'éléments nutritifs et d'eau même en cas de pénurie, mais aussi, quand elles sont affaiblies, à trouver de l'aide contre les maladies et les ravageurs auprès du système immunitaire de l'organisme sol-plante.
2. Une structure du sol perméable n'empêche pas seulement les manques d'oxygène mais protège aussi contre les inondations et diminue les risques d'érosion hydrique superficielle et par ruissellement ou ravinement. L'agriculture biologique a aussi besoin de machines légères qui diminuent les risques de tassement du sol.

» Les systèmes de cultures associées qui forment de nombreux « étages » dans et sur le sol sont non seulement les systèmes agricoles les plus efficaces par unité de surface pour garantir l'approvisionnement alimentaire, mais aussi ceux qui mettent en œuvre la plus grande biodiversité.

Rapport mondial sur l'agriculture, 2009

3. La couverture complète du sol diminue les pertes d'eau, et les bosquets comme les haies ou l'agroforesterie freinent les vents desséchants et l'ombre fournie par les arbres ou les autres cultures peut être un avantage pour certaines cultures (sauf s'il fait très humide) parce qu'elles ne doivent pas fermer leurs stomates pour se protéger contre l'évaporation.
4. L'humus peut stocker jusqu'à 3 à 5 fois son poids en eau. Une augmentation de 1 % de la teneur en humus permet au sol de stocker 40 mm de pluie de plus sous une forme phyto-disponible. Le travail réduit du sol enrichit la couche arable en humus, ce qui augmente sa perméabilité et sa capacité de rétention d'eau.
5. Le sol doit rester le profondément pénétrable par les racines, donc on doit éviter la formation de couches infranchissables. Cela permet surtout aux plantes à enracinement profond comme la luzerne, le radis oléifère ou le tournesol de mieux survivre aux périodes sèches.
6. Les variétés sélectionnées en conditions biologiques doivent s'en sortir avec plus d'adventices et de germes pathogènes que celles qui poussent avec des engrais et des produits chimiques. Elles sont donc davantage sélectionnées sur leur résistance aux maladies et leur capacité à s'imposer. Un autre critère de sélection est bien sûr la résistance à la verse.
7. La résistance à la sécheresse dépend de divers aspects de sélection (épaisseur des parois cellulaires, stomates etc.), mais aussi de l'équilibre entre les éléments nutritifs disponibles pendant la croissance. Ne pas saliniser les sols avec des fertilisants va de soi en agriculture biologique.
8. Les cultures associées augmentent la stabilité des rendements parce que certaines plantes s'imposent mieux en fonction des conditions météo et peuvent compenser les diminutions de rendement des plantes plus faibles. Diversifier les cultures peut stabiliser le rendement global d'un domaine agricole.

L'adage « Le sol est l'estomac de la plante » remonte à l'époque d'Hippocrate. D'autres qualifient le sol de « tête » naturellement créative de l'agriculture, tandis que d'autres encore parlent de « château de la Terre-Mère ». Toutes ces expressions attirent l'attention sur une vérité.



Résumé : plus la fertilité du sol est élevée et plus elle s'autoentretient, plus les plantes sont à même de tolérer le stress et de résister aux conditions météorologiques extrêmes. Toutes les recommandations de cette brochure servent donc aussi à mieux garantir les rendements des mauvaises années, mais pour cela il faut encore des variétés et des machines adaptées aux caprices du temps.

*Sepp Braun ; Groupe Sol du FiBL et
Service de conseil de Bioland*

4.3 Idées pour l'agronomie biologique du futur

L'agriculture biologique a déjà beaucoup atteint au cours du développement qui a fait d'elle ce qu'elle est aujourd'hui. Les organismes sol-plante menés en bio sont d'eux-mêmes plus fertiles et plus stables que les systèmes nourris artificiellement, fortement technologiques et qui ont une faible autorégulation.

Mais plus les surfaces occupées par une seule espèce ou par peu d'espèces dans la rotation culturale sont grandes, plus l'écosystème agricole se trouve loin de l'équilibre mouvant qu'on peut observer dans les prairies et forêts naturelles. La nature n'aime pas les monocultures. Toutefois, l'agriculture lutte à grand renfort d'énergie externe contre la biodiversité que la nature veut à toute force réintroduire dans les champs cultivés ; par exemple en utilisant du carburant pour la lutte mécanique contre les adventices spontanées et pour la structuration artificielle des sols. Pour être cohérents et pouvoir faire autrement et plus conformément aux véritables besoins de la fertilité des sols, tous les acteurs de l'agriculture biologique doivent se montrer novateurs et visionnaires. Voici quelques idées :

Premièrement : accorder moins d'attention aux rendements ponctuels et plus aux rendements globaux

Vu que les rendements ponctuels extrêmement élevés d'une culture ne peuvent être obtenus qu'avec des variétés très unilatéralement améliorées, très sensibles et qui nécessitent beaucoup de soins, l'agriculture durable doit abandonner l'idéal industriel des rendements ponctuels maximaux. On peut par contre viser un rendement à la fois optimal pour l'ensemble du système et suffisamment robuste à l'égard des épisodes météorologiques extrêmes. Cela nous conduira peut-être vers des cultures associées produisant à la fois des denrées alimentaires et fourragères et des sources d'énergie, sans oublier d'autres « prestations récoltées » comme la protection du climat, la réutilisation des ressources et le maintien d'un cycle durable de l'eau au niveau régional.

Deuxièmement : améliorer et différencier notre collaboration avec les êtres vivants du sol

Nous pouvons approfondir notre partenariat agricole avec les vers de terre, les champignons mycorhiziens, les bactéries rhizobiennes et bien d'autres êtres vivants du sol, et nos techniques agricoles doivent aussi apprendre à les respecter.

Il est possible de favoriser leurs conditions de vie en sélectionnant des pratiques agricoles comme la culture de plantes-hôtes, les cultures associées, les prairies de graminées et de légumineuses, le travail du sol en douceur et la sélection de variétés adaptées. Il faut aussi vérifier s'il faut dans certains cas inoculer des bactéries radicicoles (comme c'est déjà la norme pour le soja), des champignons mycorhiziens ou d'autres microorganismes spécifiques.

Troisièmement : l'agriculture biologique a besoin de variétés différentes

Au lieu des variétés actuelles, qui ne peuvent pas survivre sans « solitude », nous avons besoin de variétés « socialement compétentes » qui se comportent bien même dans des conditions plus proches de la nature. Peut-être que les céréales à longue paille trouveront d'elles-mêmes une nouvelle place au soleil, avec des épis beaucoup plus grands que maintenant mais des peuplements moins denses ? Il y aura peut-être des variétés pluriannuelles, un bon seigle vivace, peut-être en culture associée avec une strate inférieure de légumineuses, ou même avec du cumin ou des panais ... ?

Quatrièmement : des machines conformes à la nature

L'agriculture du futur n'a pas besoin d'être opposée à la technique. On peut en effet très bien utiliser des machines et des appareils qui respectent la Nature et la Création – et donc qui ne les combattent pas ou ne sont pas contraires aux avantages de l'agriculture biologique. Concrètement, cela peut par exemple signifier : Véhicules légers au lieu de « tanks agricoles » ? Moissonneuses-batteuses qui récoltent aussi les graines d'adventices au lieu de les souffler sur les champs ? Peut-être même des machines de désherbage ou de récolte sélectives capables, grâce à des capteurs et à un pilotage électronique, de s'y retrouver dans une culture associée ?

Cinquièmement : cultiver le sol nécessite formation et culture

Ce n'est pas la technique mais l'homme qui est responsable que l'agriculture soit durable ou non. La nature fertile du sol a besoin d'une nature humaine fertile – et les sols cultivés ont besoin d'hommes cultivés. Cela complète bien la maxime « sols sains – plantes saines – animaux et hommes sains ». Cela nous conduira-t-il à son tour vers plus de travail de formation et de vulgarisation que de



Avoine et caméline forment une culture associée simple. Les cultures associées recèlent encore un énorme potentiel de développement.

contrôle et de respect de cahiers des charges et de directives ? Un travail de formation et de vulgarisation qui se préoccuperait de nouveau plus de nos valeurs et de nos visions et moins des conditions économiques, commerciales et sociétales ? Avec plus d'échanges mutuels et de conseils pour le développement de la vie et de la ferme avant un conseil technique et économique adéquat ?

Sixièmement : le développement durable nécessite un renouvellement des forces et des ressources

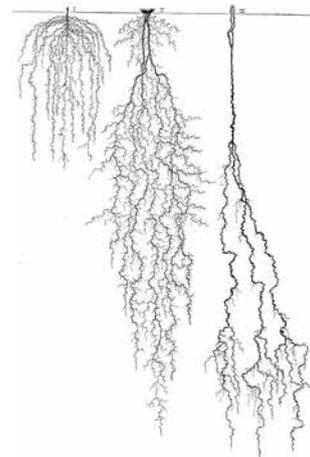
Les hommes et les sols s'épuisent quand ils donnent plus qu'ils ne reçoivent. L'exploitation ne peut pas être durable. Assurer un développement durable signifie aussi renforcer de nouveau les cycles locaux, régionaux et globaux et rester ouvert à des modifications des systèmes. L'avenir montrera si nous compostons des excréments humains ou enfouirons dans le sol les cendres et le charbon produits par le chauffage à bois de la ferme. Ce qui est sûr, c'est qu'il sera important que les travaux des champs n'utilisent que des ressources énergétiques qui remplissent réellement les critères de durabilité.

Perspective : les visions sont d'abord individuelles puis sociétales

Notre agriculture a encore beaucoup à faire si elle veut se maintenir pour des siècles et des millénaires. Il faudra continuer d'avoir le courage d'être visionnaire et d'avoir la force de faire des essais et de tirer parti des échecs pour rendre notre agriculture réellement durable et porteuse d'avenir.

Le fait que le nouveau développement de la gestion du sol en agriculture biologique ne pourra pas se faire via un renforcement des exigences des cahiers des charges correspond à l'essence même de la fertilité des sols et à une image positivement créative de l'humanité. Ce développement aura en effet besoin de liberté et de développement individuel ainsi que d'échanges et d'entraide mutuels.

Sepp Braun, Paul Mäder et Nikola Patzel



L'agriculture biologique est une question de surface – mais aussi de profondeur.

Autres informations et conseils

Des informations supplémentaires sur tous les chapitres de cette brochure de base ainsi que sa version informatique se trouvent sur www.bioactualites.ch. Le site internet fournit des informations sur les questions importantes de la fertilité et de la culture du sol ainsi que des informations actuelles sur les manifestations et les résultats des recherches dans ce domaine.

Contacts :

FiBL

Maurice Clerc (grandes cultures, culture réduite du sol)
maurice.clerc@fibl.org, tél. 021 619 44 75

Martin Lichtenhahn (maraichage, grandes cultures)
martin.lichtenhahn@fibl.org, tél. 032 313 44 60

Autres conseillers bio voir sur www.bioactualites.ch > Adresses

Impressum

Éditeurs :

Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL

Ackerstrasse 21 / Postfach 219, CH-5070 Frick
tél. +41 (0)62 8657-272, fax -11
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Bio Suisse

Peter Merian-Strasse 34, CH-4052 Bâle
tél. +41 (0)61 204 66 66, fax -11
bio@bio-suisse.ch, www.bio-suisse.ch

Auteurs :

Alfred Berner (FiBL), Herwart Böhm (vTI), Robert Brandhuber (Lfl Bayern), Josef Braun (paysan bio, Bioland), Uwe Brede (paysan bio), Jean-Louis Colling-von Roesgen (paysan bio), Markus Demmel (Lfl Bayern), Hansueli Dierauer (FiBL), Bernd Ewald (IBLA), Andreas Fließbach (FiBL), Jacques Fuchs (FiBL), Andreas Gattinger (FiBL), Jürgen Heß (Uni Kassel-Witzenhausen), Kurt-Jürgen Hülsbergen (TU München), Martin Köchli (paysan bio, Bioforum), Hartmut Kolbe (Lfl Bayern), Martin Koller (FiBL), Paul Mäder (FiBL), Adrian Müller (FiBL), Nikola Patzel (FiBL), Lukas Pfiffner (FiBL), Harald Schmidt (SÖL), Stefan Weller (Bioland), Melanie Wild (Lfl Bayern)

Collaboration pour l'édition

Suisse Romande :

Nicolas Baudois (Promasens), Martin Bossard (Bio Suisse), Maurice Clerc (FiBL), Antonin Etter (Corcelles), André Horisberger (Chavannes-le-Veyron), Thomas Pliska (Bio Suisse), Josy Tamarcaz (Agridea Lausanne), Christophe Viret (Gollion), Beat Waber (Colombier), Bertrand Wüthrich (Courtételle)

Version originale :

Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit – Die Beziehung zum Boden gestalten.
FiBL, Bio Suisse, Bioland, Bio Austria, IBLA.
2012. ISBN 978-3-03736-208-2

Éditeurs de la version originale :

Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, Bio Austria, Bioland Beratung GmbH, Bio Suisse, IBLA Luxembourg.

Rédaction de la version originale :

Nikola Patzel et Gilles Weidmann (FiBL) en collaboration avec Annegret Grafen (Bioland), Stephanie Klaedtke et Steffi Zimmer (IBLA Luxembourg)

Relecture de la version originale :

Max Braun, Michaela Braun, Jean-Louis Colling-von Roesgen, Marc Emering, Thomas Fisel, Ernst Frischknecht, Christa Größ, Stephan Jaun, Tom Kass, Amand Keiser, Martin Köchli, Stefan Kimmelman, Andreas Koopmann, Jürgen Lütjens, Paul Mäder, Peter Neessen, Dieter Petsch, Alfred Schaller, Bernhard Schreyer, Ingrid Schuler-Knapp, Walter Sorms, Ann-Kathrin Spiegel, Henning Untiedt, Christian Vögeli, Manfred Weller, Stefan Weller, Markus Wiggert, Klaus-Peter Wilbois, Birgit Wilhelm

Mise en page :

Claudia Kirchgraber (FiBL)

Crédits photographiques :

Thomas Alföldi (FiBL): S. 7 (3), 10 (1), 13 (2), 18, 25 (1), 29; Amt für Umwelt Kanton Solothurn: S. 6 (1); Michaela Braun (Bioland-Beratung): S. 23 (1), 24 (2), 31 (1); Maurice Clerc (FiBL): S. 5, 11; Christophe David (ISARA, Lyon): S. 27 (3); Hansueli Dierauer (FiBL): S. 17 (1); Otto Ehrmann (Bildarchiv Boden): S. 1, 2, 4, 7 (1), 30; Heinz Flessa (vTI)/Andreas Gattinger/Claudia Kirchgraber (FiBL)/Red.: S. 28; Andreas Fließbach (FiBL): 27 (1), 27 (2); Jacques Fuchs (FiBL): S. 14, 17 (2), 19; Fritz Häni (privat): 7 (2); Theo Haslbeck (Landwirt Geiselhöring): S. 24 (1); Martin Koller/Alfred Berner/Claudia Kirchgraber (FiBL): S. 16; Martin Koller (FiBL): S. 20, 21 (2); Lore Kutschera (†): 31 (2); Paul Mäder (FiBL): S. 9; Nikola Patzel (FiBL): S. 21, 25 (2), 26; Lukas Pfiffner (FiBL): S. 23 (2); Lukas Pfiffner/Claudia Kirchgraber (FiBL): S. 8; Katharina Schertler (Bioland-Beratung): S. 22; Soil Association: S. 3 (5); Strotmann/dlz agrarmagazin: S. 6; Josy Tamarcaz (Agridea Lausanne): S. 10 (2); Manfred Weller (Bioland-Beratung): S. 12 (3, 6); Stefan Weller (Bioland-Beratung): S. 12 (1, 2, 4, 5), 13 (1); www.oekolandbau.de, ©BLE, Dominik Menzler: S. 15; zVg: S. 3 (1, 3, 4, 6).

ISBN 978-3-03736-232-7

N° de commande au FiBL : 1587

Prix : 9.00 CHF y. c. TVA (plus frais d'envoi)

Adresse de commande :

Auprès du FiBL

Toutes les indications contenues dans cette brochure ont été rassemblées et rédigées par les auteurs en toute conscience puis vérifiées avec le plus grand soin par eux et les éditeurs. Il est cependant impossible d'exclure absolument toute erreur, donc toutes ces indications sont données sans aucune forme d'engagement ou de garantie des auteurs ou des éditeurs, qui n'assument donc aucune forme de responsabilité ni de garantie pour d'éventuelles inexactitudes.

1^{ère} édition, 2013 © FiBL, Bio Suisse

Cet ouvrage et toutes ses parties sont protégés par le droit d'auteur. Toute utilisation est illicite sans l'autorisation des éditeurs. C'est en particulier valable pour les reproductions, traductions, microfilmages ainsi que pour l'enregistrement et le traitement par des systèmes électroniques et informatiques.

Cet ouvrage est téléchargeable gratuitement sur internet depuis www.shop.fibl.org.

Paraît comme supplément du magazine « bio actualités ».