

Sol et climat

Impact sur le climat de l'exploitation biologique des sols

L'agriculture joue un rôle important dans le changement climatique. D'une part, ses émissions de gaz à effet de serre contribuent au réchauffement mondial; d'autre part, elle dispose d'un fort potentiel d'atténuation du changement climatique. Dans le même temps, les répercussions négatives des changements climatiques pèsent sur l'agriculture. L'agriculture biologique représente une opportunité d'adapter l'agriculture au changement climatique. Les terres cultivées en bio émettent moins de gaz à effet de serre nuisible pour le climat que les champs conventionnels. Les micro-organismes plus diversifiés et plus actifs présents dans les sols bio peuvent en outre contribuer à une meilleure adaptabilité des cultures biologiques à des situations de stress dues au climat. Grâce à la gestion de l'humus, les exploitations biologiques peuvent maintenir et augmenter la quantité de carbone stockée dans le sol. Le travail réduit du sol peut entraîner un enrichissement supplémentaire des sols en carbone.



L'agriculture: actrice majeure du changement climatique

Augmentation du carbone dans l'air

Le carbone contenu dans l'atmosphère est, avec d'autres gaz à effet de serre (GES), responsable du fait que la température moyenne annuelle sur Terre est de +15 °C et que la vie, sous sa forme connue, y est possible. Plus il y a de GES, plus la surface terrestre et l'atmosphère se réchauffent. Au cours des 250 dernières années, les émissions anthropiques de GES ont entraîné une augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, qui est passée de 280 ppm à actuellement 405 ppm. Cela s'est accompagné d'une augmentation de la température moyenne annuelle mondiale de 1 °C (jusqu'en 2017). En Suisse, dans la même période, on a même enregistré une hausse de 2 °C!

Émissions importantes dans l'agriculture

Au niveau mondial, l'agriculture est directement

responsable de 11,2 % des émissions de GES^[1]. Or, si l'on ajoute à cela les émissions liées à la production des intrants agricoles tels que les engrais et produits phytosanitaires chimiques et celles dues au défrichage de la forêt vierge pour la production d'aliments pour animaux, entre 21 et 37 % des émissions mondiales de GES proviennent de l'agriculture voire du système alimentaire mondial^[2]. En 2018, en Suisse, l'agriculture représentait 12,8 % du total des émissions de GES^[3]. La Figure 2 (page 3) montre la répartition des émissions de l'agriculture suisse en 2015^[4]. Le graphique prend en compte également les émissions dues aux changements d'affectation des terres, aux carburants et combustibles ainsi qu'aux consommations intermédiaires pour la production d'engrais, etc. Officiellement, on n'attribue à l'agriculture que les parts en vert.

Gaz à effet de serre: la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃), le méthane (CH₄) et le gaz hilarant (N₂O) sont les principaux GES de l'atmosphère terrestre. Le CO₂, le CH₄ et le N₂O sont fortement influencés par l'activité humaine, tandis que les concentrations en vapeur d'eau et en ozone sont stables à long terme, voire ne peuvent être influencées qu'indirectement par les hommes. Le N₂O représente 46 % des émissions mondiales de GES dues à l'agriculture, le CH₄ 45 % et le CO₂ 9 %.

Les hydrofluorocarbures sont les seuls GES qui ne sont produits que par l'activité humaine. Leurs concentrations dans l'atmosphère sont faibles, mais, en raison de leur potentiel de réchauffement extrêmement fort (jusqu'à 14 800 fois plus élevé que celui du CO₂), ils ont un impact significatif sur le climat. Le CO₂ provient des processus de dégradation et de respiration de la biomasse vivante ainsi que des combustions dans le cadre de l'activité humaine; le CH₄ résulte principalement des processus de dégradation dans les sols en l'absence d'air (riziculture humide et marais) et de processus anaérobies au sein des estomacs des ruminants; quant au N₂O, il

se forme surtout pendant et juste après l'épandage d'engrais de ferme azotés.

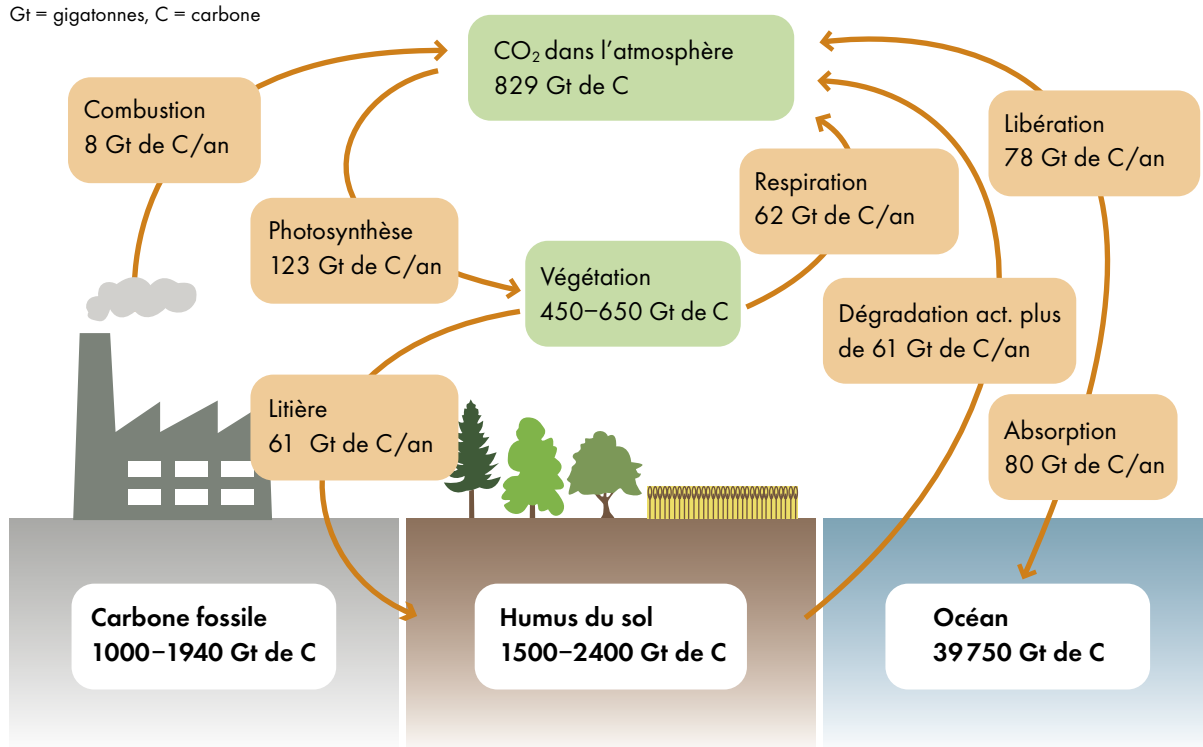
Équivalents CO₂: les différents GES (CO₂, CH₄ et N₂O) n'ont pas le même potentiel de réchauffement. Afin de pouvoir comparer l'effet de tous les GES et étant donné que le CO₂ est de loin le GES le plus important, tous secteurs confondus, son potentiel est considéré équivaloir à 1. Le CH₄ a donc un potentiel de réchauffement de l'atmosphère 24 fois plus élevé que le CO₂ et le N₂O un potentiel 298 fois plus élevé que le CO₂. Les différentes durées de vie des GES dans l'atmosphère sont également prises en compte dans le calcul de ce potentiel.

Gigatonne (Gt): la gigatonne est une unité très répandue pour mesurer les quantités de GES. Une gigatonne équivaut à 1 000 000 000 tonnes et correspond donc à 1×10^{15} grammes ou 1 milliard de grammes. Il existe également un autre terme pour désigner le même ordre de grandeur, à savoir le pétagramme (Pg).

Nous utilisons les termes «humus» et «matière organique du sol» comme synonymes, sur la base de la teneur en carbone organique du sol multipliée par 1,72.

Fig. 1: Représentation simplifiée du cycle mondial du carbone

Gt = gigatonnes, C = carbone



La formation et la dégradation de l'humus jouent un rôle crucial dans les flux de carbone, importants pour le climat. Actuellement, le taux de CO₂ dans l'atmosphère augmente chaque année de 3,3 Gt de C. L'échange de C avec les roches carbonatées, de loin le plus grand réservoir de carbone, est beaucoup plus lent et n'est donc pas mentionné ici. Source: graphique d'après Heinz Flessa, adapté par le FiBL, données IPCC^[2]

Le sol: un important réservoir de CO₂

En 2018, 34 gigatonnes d'équivalents CO₂ ont été émises dans le monde entier, surtout par la combustion d'agents énergétiques fossiles. Dans le contexte du cycle mondial du carbone, ces émissions annuelles sont en réalité faibles (Fig. 1 p. 2). Au total, on compte en effet 75 millions de gigatonnes de carbone sur Terre. La grande majorité (99,94 %) de ce carbone est cependant séquestré dans les calcaires. Seulement 0,05 % est fixé dans les océans et 0,0037 % dans les sols. Ces derniers contiennent deux fois plus de carbone que l'atmosphère et la biomasse terrestre mises ensemble, lesquelles représentent respectivement 0,001 % (Fig. 1). Pour comparer l'impact de différentes sources d'émission et de différents GES, les émissions sont souvent exprimées en équivalents CO₂ (éq. CO₂).

Les hommes ne peuvent influencer que les taux de carbone dans l'atmosphère, le sol et la végétation. À cet égard, l'agriculture joue un rôle important pour atténuer le changement climatique. Grâce à l'enrichissement en humus, les sols peuvent stocker du carbone. De légers changements de la quantité de carbone dans le sol ont un impact important sur le climat.

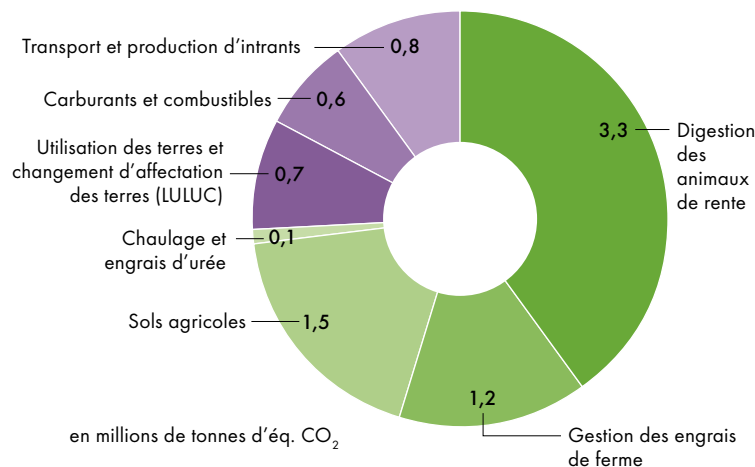
Par ailleurs, l'agriculture offre bien d'autres possibilités pour influencer la dynamique du changement climatique anthropique. Ainsi, la production agricole pourrait être adaptée au changement et rester capable d'agir.

Agriculture biologique: respectueuse du climat

Des essais de longue durée tels que l'essai DOC à Therwil (CH) et l'essai de travail du sol à Frick (CH) ainsi que des études bibliographiques (méta-analyses) et les résultats du projet iSQAPER de l'UE (Horizon 2020), tout comme des comparaisons inter-exploitations effectuées par Agroscope permettent de tirer les conclusions suivantes quant à l'impact de l'agriculture biologique sur le climat:

- Les exploitations bio disposant de prairies temporaires ainsi que de fumier et de lisier issus de l'élevage offrent des conditions favorables au maintien ou à l'augmentation du taux d'humus dans le sol.
- Le travail réduit du sol peut davantage accroître la teneur en humus du sol même en agriculture biologique.
- Grâce à de faibles apports d'azote et à une meilleure fertilité des sols, les émissions de gaz hila-

Fig. 2: Émissions totales de gaz à effet de serre de l'agriculture suisse en 2015 tous secteurs confondus



L'inventaire national des gaz à effet de serre inclut dans le secteur de l'agriculture les émissions dues à la digestion des animaux de rente (méthane émis par les ruminants), à la gestion des engrais de ferme, aux sols agricoles (engrais et utilisation de sols marécageux) ainsi qu'au chaulage et à l'utilisation d'urée comme engrais^[4].



Grâce à l'augmentation de la teneur en humus, l'agriculture biologique contribue activement à améliorer la fertilité des sols, leur capacité de rétention d'eau et leur structure. Elle garantit ainsi la productivité des sols à long terme, augmente la disponibilité d'eau pour les cultures et réduit la perte de sol par érosion.

rant de l'agriculture biologique sont inférieures de 40 % à celles de l'agriculture conventionnelle.

- Grâce à la présence de communautés microbiennes plus diversifiées et plus actives dans le sol, en cas de stress hydrique, les terres cultivées en bio minéralisent l'azote plus efficacement et sont donc mieux adaptées au changement climatique.
- Dans l'essai DOC, les techniques culturales biologiques ont nécessité 19 % d'énergie de moins par unité de rendement que les techniques conventionnelles. Par rapport à la surface, la réduction d'énergie obtenue était même de 30 à 50 %.

Meilleure fixation du carbone dans l'humus

Une vaste étude bibliographique a permis de démontrer que les sols cultivés en bio fixent entre 170 kg et 450 kg de carbone de plus par hectare et par an dans l'humus par comparaison aux sols conventionnels^[5]. Cette différence résulte surtout de la mise en place de prairies temporaires sur plusieurs années et de la fumure organique.

Un taux élevé d'humus augmente l'infiltration de l'eau et la capacité du sol à la stocker ainsi que la stabilité des agrégats de terre, ce qui prévient l'érosion des sols^[6]. Par ailleurs, la partie dynamique de l'humus améliore la santé des plantes par des mécanismes biologiques^[7,8].

D'une durée de 40 ans, l'essai DOC réalisé près de Bâle est à ce jour le plus long essai au monde comparant des systèmes de culture biologiques et conventionnels^[9,10]. Les analyses de 2000 échantillons de sol, prélevés sur toute sa durée, montrent que:

- la teneur en humus augmente légèrement en cas de culture biodynamique avec apport de compost;
- la teneur en humus diminue nettement en cas de culture conventionnelle avec fumure minérale uniquement;
- la teneur en humus reste presque stable en cas de culture conventionnelle avec fumure organo-minérale ainsi qu'en cas de culture organo-biologique.

Les rendements moyens des systèmes biologiques, sur six périodes de rotation culturale et toutes cultures confondues, sont inférieurs de 20 % par rapport au système conventionnel, mais ils sont obtenus avec nettement moins d'engrais et sans pesticides chimiques de synthèse.

Le travail réduit du sol comme potentiel

Renoncer à la charrue n'est pas seulement un argument en faveur de la protection du sol; le travail réduit du sol peut également protéger le climat. En agriculture biologique, le fait de remplacer dans une large mesure le labour profond par un travail du sol plus superficiel, le plus souvent sans retournement de la terre, permet d'élever la teneur en humus nettement au-dessus du niveau de la culture biologique avec charrue^[11]. Dans l'essai de travail du sol du FiBL à Frick, mené sur 13 ans, la teneur en humus dans les 50 cm supérieurs du sol a pu être augmentée de 8 %. Sur toute la durée de l'essai, qui impliquait le travail réduit du sol, la teneur en humus a augmenté d'environ 700 kg de C par hectare et par an^[12,13]; les émissions de gaz à effet de serre sont, quant à elles, restées constantes.

Une étude portant sur 60 exploitations, effectuée dans le cadre du Programme national de recherche «PNR 68 Ressource sol» et visant à com-



Comparaison directe: à gauche, travail traditionnel du sol avec la charrue; à droite, travail réduit du sol avec le cultivateur.



La teneur en humus dans le sol peut être augmentée aussi bien grâce à la culture biodynamique qu'au travail réduit du sol.

parer les champs de fermes biologiques avec ceux d'exploitations conventionnelles et *no-till*, montre que la culture biologique favorise la formation d'humus autant que la mise en pratique du *no-till* en agriculture conventionnelle^[14]. Les exploitations *no-till* renoncent complètement à la charrue, mais elles utilisent le Round up, un herbicide chimique contenant du glyphosate, pour lutter contre les adventices. Les champs des fermes biologiques présentent une vie dans le sol plus active et plus complexe que ceux des exploitations *no-till* et conventionnelles^[15].

Des émissions plus faibles de gaz hilarant en agriculture biologique

Une analyse de la littérature disponible au niveau mondial au sujet des émissions de N_2O au champ montre que les émissions de N_2O par unité de surface des terres cultivées en bio sont inférieures à celles des champs conventionnels, tandis que les émissions par unité de rendement sont légèrement supérieures^[16]. D'après cette méta-analyse, une augmentation du rendement de 9 % suffirait à réduire les émissions de N_2O par unité de rendement de la production biologique au niveau de celles de la production conventionnelle.

Une étude du FiBL menée dans le cadre de l'essai DOC^[16] montre que les émissions de N_2O par unité de surface des sols biologiques et biodynamiques sont en moyenne inférieures de 40 % à celles des sols conventionnels. Cette observation s'explique par des apports d'azote plus faibles et

une meilleure qualité des sols dans les systèmes de culture biologiques. Les émissions de N_2O sont particulièrement basses en culture biodynamique, où l'on a mesuré des émissions de N_2O inférieures d'un tiers à celles de la culture conventionnelle même par unité de rendement^[17].



Détermination des émissions de gaz à effet de serre en grandes cultures : à l'aide de chambres manuelles, qui sont régulièrement fixées sur un anneau enfoncé dans le sol, on peut recueillir les gaz à effet de serre émis par le sol, les prélever peu de temps après avec une seringue (voir illustration) et les mesurer ensuite au laboratoire avec un chromatographe en phase gazeuse.

Meilleure adaptabilité des sols bio

Le changement climatique implique sans doute une augmentation des événements de fortes précipitations et des périodes de sécheresse. Des recherches du FiBL montrent que les sols biologiques sont plus adaptés à ces défis que les sols conventionnels.

Ainsi, en raison de leurs teneurs en humus plus élevées, les sols bio de l'essai DOC présentent une meilleure stabilité des agrégats^[18]. Ces sols sont donc mieux protégés contre l'érosion consécutive à des événements de fortes précipitations.

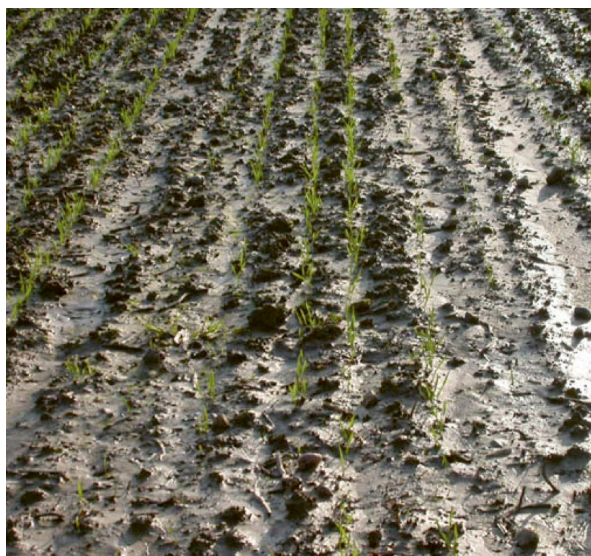
Dans une étude bibliographique, il a été prouvé que l'activité microbienne est nettement plus élevée dans les sols bio que dans les sols conventionnels, entre autres en ce qui concerne l'activité protéasique^[19]. La protéase est une enzyme qui catalyse la première étape de la minéralisation de l'azote organique. Dans une expérimentation en pots avec du sol issu de l'essai DOC, des chercheuses et chercheurs du FiBL ont pu démontrer qu'en cas de sécheresse, les sols de la culture organo-biologique ont minéralisé 30 % d'azote de plus d'un engrais vert que les sols de la culture conventionnelle^[20]. Cette meilleure performance de minéralisation a été attribuée à la diversité accrue des micro-organismes dans les sols biologiques. Une étude récemment publiée confirme ces résultats: grâce à des communautés microbiennes plus diversifiées, l'exploitation extensive entraîne une meilleure adaptation des terres

assolées et des herbages au stress hydrique^[21]. D'autres études du FiBL ont montré que des inoculants à base de bactéries ou de champignons ont considérablement augmenté les rendements dans les systèmes à faible niveau d'intrants, en particulier dans les climats méditerranéen et subtropical aride^[22,23,24].

Meilleure efficacité énergétique pour la production biologique

L'efficacité dans l'utilisation des ressources disponibles est un indicateur important de la durabilité d'un système de production. Afin de calculer l'efficacité énergétique, on prend en compte non seulement les apports énergétiques directs (p. ex. carburant pour le tracteur), mais aussi les apports énergétiques indirects, nécessaires à la fabrication des intrants achetés (p. ex. engrais ou produits phytosanitaires).

Dans l'essai DOC, les méthodes de culture biologiques ont nécessité un peu plus d'énergie pour l'infrastructure et les machines comparativement à la culture conventionnelle (p. ex. pour le sarclage et le hersage), mais nettement moins d'énergie pour les engrais et les pesticides. Sur 20 ans, les méthodes biologiques ont en moyenne nécessité 19 % d'énergie de moins par unité de rendement^[25]; par unité de surface, la réduction d'énergie atteignait 30 à 50 %.



Les sols bio avec une teneur en humus plus élevée et une meilleure stabilité des agrégats peuvent mieux faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes provoqués par le changement climatique. À titre de comparaison, voici deux photos de l'essai DOC: à gauche, une culture conventionnelle sans apport de fumier; à droite, une culture biodynamique avec apport de fumier composté.

Conclusions

Mieux exploiter les potentiels d'atténuation du changement climatique

Pour conclure, l'exploitation biologique des sols réduit l'impact de l'agriculture sur le climat et les systèmes de culture biologiques sont mieux adaptés au changement climatique.

Le travail réduit du sol (sans utilisation d'herbicides) s'avère prometteur pour rendre l'agriculture biologique encore plus respectueuse du climat. Néanmoins, des recherches approfondies sont nécessaires pour rendre la régulation des adventices encore plus efficace^[11,26]. À cet égard, les techniques de l'agriculture de précision, en particulier, offrent un grand potentiel.

L'avantage relatif de l'agriculture biologique en matière d'impact sur le climat dépend de la fumure azotée, mais aussi, fortement, de la productivité à la surface. En raison de rendements plus faibles, l'agriculture biologique nécessite une surface plus grande. C'est pourquoi son développement par des variétés améliorées (sélection), par une protection biologique des plantes plus efficace et par le recyclage des nutriments issus de zones urbaines (comme le compost et le digestat) joue un rôle central. Par ailleurs, des chercheuses et chercheurs du FiBL ont démontré que l'expansion de l'agriculture biologique comporte des avantages certains sur le plan écologique, car les terres assolées existantes sont mieux protégées contre l'érosion. Dans le monde entier, chaque année, 10 millions d'hectares de terres assolées sont définitivement perdus par érosion éolienne et hydrique. La poursuite du développement de l'agriculture biologique est donc également essentielle pour la protection des sols^[27].

Cependant, pour une protection efficace des sols, d'autres mesures s'imposent telles que la réduction des pertes alimentaires et de la production d'aliments pour animaux sous forme de céréales, de maïs et de soja dans les champs (voire une diminution de la consommation de viande), afin d'augmenter la part de l'agriculture biologique sans pour autant devoir éteindre la surface mondiale de terres assolées^[28]. Dans l'ensemble, l'agriculture biologique apporte dès à présent une contribution importante à la protection du climat et elle est mieux adaptée au changement climatique en cours.

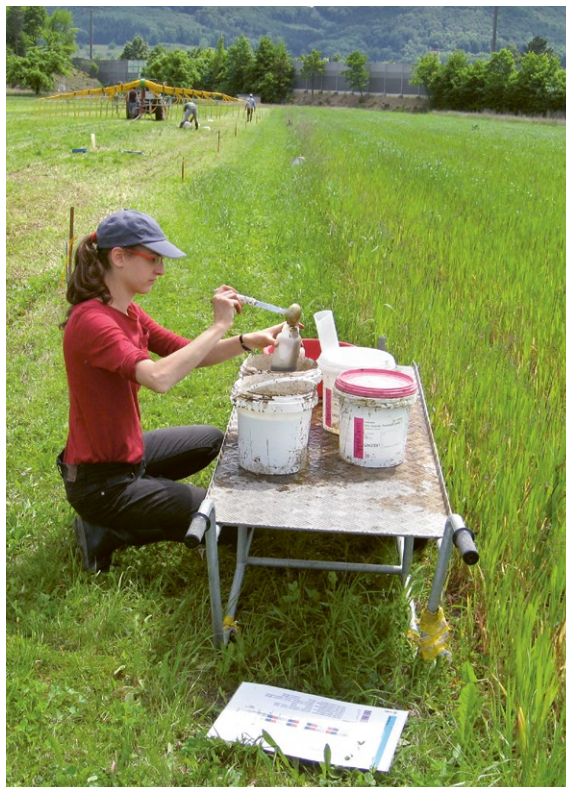
Points à approfondir

Dans plusieurs domaines, des études plus approfondies s'avèrent nécessaires.

Concernant l'humus et la qualité des sols, plusieurs projets sont actuellement en cours: sur la stabilisation de l'humus, sur la fumure idéale pour la formation d'humus et sur la teneur en humus optimale d'un sol donné en tenant compte de la nutrition des plantes.

S'agissant des émissions de GES, il est nécessaire d'effectuer des mesures sur l'ensemble de la rotation des cultures, pendant le stockage et l'épandage des engrais de ferme ainsi que pour quantifier la production de méthane dans l'élevage.

Dans le domaine politique, les recherches portent sur les outils idéaux pour la promotion de l'agriculture à la lumière de la sécurité alimentaire, de la protection du climat, de la biodiversité et de l'efficacité dans l'utilisation des ressources.



Recherches du FiBL: épandage d'engrais de ferme dans le cadre de l'essai exact mené à Frick et détermination subséquente des émissions de gaz à effet de serre.

Références

- 1 Tubiello et al. (2015). The Contribution of Agriculture, Forestry and other Land Use activities to Global Warming, 1990-2012. *Global Change Biology* 21, 2655-2660.
- 2 IPCC, (2019). *Climate Change and Land - Summary for Policymakers*.
- 3 FOEN (2020). *Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2018: National Inventory Report and reporting tables (CRF). Submission of April 2020 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol.* Federal Office for the Environment, Bern.
- 4 AgroCleanTech, (2019). Übersicht der landwirtschaftlichen Treibhausgase inkl. Vorleistungen, Treib- und Brennstoffen und Bodenkohlenstoff (LULUC) 2015. https://www.agrocleantech.ch/images/Klimaschutz/Treibhausgasemissionen_Landwirtschaft/THG_2015_Kreisdiagramm_gross.png.
- 5 Gattinger et al. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Science*, 109: 18226-18231.
- 6 Bünemann, et al. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105-125.
- 7 Bongiorno et al. (2019a). Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators* 99, 38-50.
- 8 Bongiorno et al. (2019b). Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 133, 174-187.
- 9 Mäder et al. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
- 10 Fliessbach et al. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
- 11 Cooper et al. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36: 22.
- 12 Krauss et al. (2017). Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture Ecosystems & Environment* 239, 324-333.
- 13 Krauss et al. (2020). Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming – a synthesis of 15 years. *Scientific Reports* volume 10, Article
- 14 Büchi, L., Walder, F., Banerjee, S., Colombi, T., van der Heijden, M.G.A., Keller, T., Charles, R., Six, J., 2022. Pedoclimatic factors and management determine soil organic carbon and aggregation in farmer fields at a regional scale. *Geoderma* 409, 115632.
- 15 Banerjee et al. (2019). Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *The ISME journal*, doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2.
- 16 Skinner et al. (2014). Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 468–469: 553-563.
- 17 Skinner et al. (2019). The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific reports*, 9(1), 1702.
- 18 Siegrist et al. (1998). Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69, 253-264.
- 19 Lori et al. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity – A meta-analysis and meta-regression. *PLoS one* 12, e0180442.
- 20 Lori et al. (2018). Distinct nitrogen provisioning from organic amendments in soil as influenced by farming system and water regime. *Frontiers in Environmental Science*, 1-14.
- 21 Lori et al. (2020). Compared to conventional, ecological intensive management promotes beneficial proteolytic soil microbial communities for agro-ecosystem functioning under climate change-induced rain regimes. *Scientific Reports* volume 10, Article number: 7296
- 22 Mäder et al. (2011). Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat-rice and wheat-black gram rotations in India. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(3), pp.609-619.
- 23 Schütz et al. (2018). Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization—A global meta-analysis. *Frontiers in plant science*, 8, p.2204.
- 24 Mathimaran et al. (2020). Intercropping transplanted pigeon pea with finger millet: Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria boost yield while reducing fertilizer input. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, p.88.
- 25 Nemecek et al. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural systems*, 104(3), 217-232.
- 26 Armengot et al. (2015). Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 339-346.
- 27 Bai et al. (2018). „Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China.“ *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265: 1-7.
- 28 Muller et al. (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature communications*, 8(1), 1290.

Impressum

Éditeur: Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL
Ackerstrasse 113, case postale 219, CH-5070 Frick
Tél. 062 865 72 72, info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Auteurs et auteurs: Paul Mäder, Markus Steffens, Maïke Krauss, Andreas Fliessbach, Hans-Martin Krause, Colin Skinner, Martina Lori, Giulia Bongiorno, Matthias Klais, Christine Arncken, Hansueli Dierauer, Else Bünemann, Adrian Müller, Urs Niggli, Andreas Gattinger

Rédaction: Vanessa Gabel (FiBL), Jeremias Lütold (FiBL)

Maquette: Brigitta Maurer (FiBL)

Traduction: Sonja Wopfner (sonja.wopfner@outlook.com)

Photos: Thomas Alföldi (FiBL Suisse): page 3, p. 5(1), Hansueli Dierauer (FiBL Suisse): p. 4, Andreas Fliessbach (FiBL Suisse): p. 6, Matthias Klais (FiBL Suisse): p. 1, Else Bünemann (FiBL Suisse): p. 5 (2), Alfred Berner (FiBL Suisse): p. 7

N° de commande FiBL 1182 ISBN PDF 978-3-03736-364-5

La présente fiche technique peut être téléchargée gratuitement depuis la boutique du FiBL (shop.fibl.org).

© FiBL 2022