

Promotion de la biodiversité du sol pour optimiser les cycles d'éléments nutritifs

Autrice et auteurs: Dijana Vukovic, Franz Bender, Marcel van der Heijden

Version: 1 / Août 2025

Les organismes du sol sont essentiels à la santé des sols et à l'efficacité des cycles d'éléments nutritifs. Certains organismes du sol améliorent l'absorption, la disponibilité et le stockage d'éléments nutritifs tels que l'azote (N) et le phosphore (P) et aident ainsi à minimiser leurs pertes. Les pratiques agricoles qui préservent certains groupes spécifiques d'organismes du sol, telles que l'abandon des pesticides de synthèse, la réduction du travail du sol, les prairies artificielles annuelles ou pluriannuelles et la rotation des cultures, favorisent la vie du sol et renforcent les cycles naturels des éléments nutritifs.

Tableau 1: Éléments clés de la mesure

Domaine d'application	Grandes cultures, cultures maraîchères, surfaces herbagères
Niveau de mise en oeuvre	Agricultrices et agriculteurs
Échelle d'action	Champ
Rentabilité	Variable/incertaine, aucune généralisation possible
Effet visé	Azote (N), phosphore (P)
Sous-catégorie visée	Nitrate (NO ₃ ⁻), protoxyde d'azote (N ₂ O), azote (N ₂), phosphate (PO ₄ ⁻)
Temps de mise en oeuvre	A long terme
Effet/Potentiel de réduction	Variable

Principe d'action

Les organismes du sol remplissent diverses fonctions essentielles aux cycles naturels des éléments nutritifs. Certains micro-organismes décomposent la matière organique et la transforment en éléments nutritifs assimilables par les plantes (Van Veen & Kuikman, 1990). D'autres vivent en étroite symbiose avec les plantes et améliorent considérablement leur approvisionnement en éléments nutritifs (Rapport agricole, 2017). Il s'agit notamment des champignons mycorhiziens qui étendent le système racinaire des plantes grâce à leur mycélium et améliorent leur approvisionnement en éléments nutritifs, en particulier en phosphore (P) (van der Heijden et al., 2008). De plus, les champignons mycorhiziens augmentent la résistance des plantes au stress et aux agents pathogènes (Adamec & Andrejiová, 2018). Les bactéries qui fixent l'azote vivent également en symbiose avec les racines des plantes, où elles transforment le N₂ atmosphérique en une forme utilisable par les plantes (Rapport agricole, 2017). Elles peuvent fixer plus de 300 kg d'azote (N) par hectare et par an, ce qui dépasse les quantités habituelles d'azote apportées par une fertilisation minérale annuelle (Nyfeler et al., 2011). Les organismes du sol de plus grande taille décomposent la matière organique et contribuent, en creusant des galeries, à améliorer la structure du sol, favorisant ainsi une répartition homogène des éléments nutritifs (Le Bayon & Binet, 2006).



Selon de récentes études, une plus grande biodiversité dans le sol améliore la disponibilité de l'azote et du phosphore pour les plantes tout en réduisant les pertes d'azote par les émissions et le lessivage (Bender et al., 2015 & 2023). Une activité biologique du sol performante peut donc contribuer à réduire les besoins en engrais et les pertes d'éléments nutritifs dans l'agriculture (Thiele-Bruhn et al., 2012). Diverses pratiques peuvent être mises en œuvre pour favoriser la biodiversité des sols sur les surfaces agricoles. Étant donné que l'utilisation de pesticides et d'engrais minéraux influence la composition des communautés biologiques des sols, la conversion à l'agriculture biologique peut être bénéfique (Thiele-Bruhn et al., 2012). Diverses études montrent que certains pesticides diminuent la fertilisation naturelle des sols, car ils réduisent la fréquence et la capacité d'absorption des éléments nutritifs des champignons mycorhiziens utiles (Riedo et al. 2021; Edlinger et al. 2022). D'autres mesures favorisent la biodiversité des sols, par exemple un travail réduit du sol, mesure qui préserve sa structure et protège ainsi les habitats (Wittwer et al., 2021). De plus, l'introduction de la rotation des cultures et la mise en place de cultures mixtes contribuent à augmenter la diversité des microbes et autres organismes présents dans le sol (van der Heijden & Wagg, 2013; Guo et al., 2024). De nombreuses études montrent qu'une couverture du sol tout au long de l'année a un effet positif sur la vie du sol et les processus importants qui s'y déroulent (Koudahe et al., 2022).

Avantages/Synergies

- Meilleure absorption des éléments nutritifs: une plus grande biodiversité des sols favorise l'absorption de N et de P par les plantes, ce qui a des effets positifs sur leur productivité (Bender et al., 2015/2023).
- Suppression des maladies: une grande diversité biologique dans les sols empêche l'accumulation d'agents pathogènes (Jayaraman et al., 2021).
- Protection contre l'érosion: un travail réduit du sol favorise la stabilité de la structure du sol et réduit l'érosion (Seitz et al., 2019).
Fixation de l'azote: une rotation des cultures bien planifiée, des cultures mixtes et des couvertures végétales (prairies temporaires) intégrant des légumineuses peuvent réduire les besoins en engrais azotés, car l'azote atmosphérique est fixé par des bactéries qui fixent l'azote (Nyfeler et al., 2011 ; Zhao et al., 2022). De plus, les prairies temporaires favorisent également d'autres organismes utiles vivant dans le sol, tels que les vers de terre et les champignons mycorhiziens (Jossi et al., 2001; Koudahe et al., 2022).

Inconvénients/Limitations/Conflits d'intérêts

- Une transition difficile: le passage à des méthodes de cultures durables peut être complexe. Les agricultrices et agriculteurs doivent acquérir de nouvelles connaissances, technologies et infrastructures, ce qui nécessite des investissements financiers et du temps (Gomes & Reidsma, 2021).
- Rendements plus faibles: la transition vers l'agriculture biologique peut s'accompagner d'une baisse des rendements et entraîner une incertitude économique (Wittwer et al., 2021; Ferjani et al., 2010).
- Recherche insuffisante: les effets de certains organismes du sol et de leurs interactions sur la dynamique des éléments nutritifs n'ont pas encore été suffisamment étudiés. Il est important de noter que tous les organismes du sol ne sont pas utiles, divers agents pathogènes peuvent également y vivre. La biodiversité microbienne dans les systèmes agricoles peut être très élevée, notamment en raison de la présence d'agents pathogènes ou d'organismes opportunistes. Il est donc essentiel de favoriser les organismes vivants du sol qui remplissent des fonctions utiles telles que l'absorption des éléments nutritifs, le stockage du carbone et la réduction du lessivage.

Interactions

Pour favoriser efficacement la biodiversité des sols, il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre toutes les mesures simultanément. Une combinaison judicieuse de différentes approches peut s'avérer plus avantageuse. Dans l'agriculture biologique, par exemple, qui exclut l'utilisation d'herbicides, les agricultrices et agriculteurs dépendent davantage du labour, ce qui rend difficile la réduction du travail du sol (Bioaktuell, 2019). L'agriculture biologique se combine toutefois bien avec la rotation des cultures et les cultures mixtes. De plus, l'inoculation d'organismes utiles tels que les champignons mycorhiziens arbusculaires pourrait jouer un rôle important, car l'absence de pesticides et d'engrais de synthèse est susceptible de favoriser le succès de ces inoculations. Cependant, le succès réel de l'inoculation ne peut encore être prédit de manière fiable. Les champignons mycorhiziens ont été associés à une réduction des pertes de phosphore dans plusieurs études (Asghari et al., 2005; Bender et al., 2015). De plus, ces champignons ont le potentiel d'augmenter les rendements de certaines cultures. Une étude de Lutz et al. (2023) montre que l'inoculation de champignons mycorhiziens dans 54 champs de maïs a entraîné dans deux tiers des cas une augmentation des rendements pouvant atteindre 40 %.

Mise en œuvre: charges/déroulement/application/faisabilité

La faisabilité et les coûts varient selon la mesure et l'exploitation. Il est conseillé aux agricultrices et agriculteurs de collaborer avec des services de conseil agricole afin de développer des stratégies adaptées et de tenir compte des exigences individuelles. Certaines mesures, comme l'abandon des pesticides de synthèse, peuvent représenter un défi, car les agricultrices et agriculteurs doivent envisager d'autres approches pour lutter efficacement contre les ravageurs et les maladies. La mise en place de la rotation de cultures, de cultures mixtes et de prairies temporaires est généralement considérée comme faisable, mais nécessite une planification et une adaptation aux conditions locales. L'inoculation de micro-organismes utiles est une méthode prometteuse pour exploiter de manière ciblée la vie du sol. Ces inoculations peuvent inclure des champignons mycorhiziens ainsi que d'autres

micro-organismes qui suppriment les maladies et renforcent les plantes. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour vérifier le succès de l'établissement et l'efficacité de ces inoculum dans différentes situations.

Conditions d'application

- **Connaissances:** les agricultrices et agriculteurs doivent disposer de connaissances sur la biodiversité des sols et son importance pour les cycles d'éléments nutritifs.
- **Accessibilité des ressources:** il est nécessaire d'avoir accès à des alternatives biologiques pour lutter contre les maladies, à des semences de qualité élevée et à des engrais organiques.
- **Infrastructure technologique:** des équipements modernes permettant de réduire le travail du sol sont nécessaires.
- **Soutien financier:** des programmes de soutien et des incitations financières favorisent la transition vers des méthodes durables.

Évaluations

Rentabilité

Cette fiche technique présente une multitude de mesures/approches possibles, dont la combinaison judicieuse permet de promouvoir la biodiversité des sols. Il n'existe pas d'évaluation quantitative précise de la rentabilité de ces mesures dans le contexte suisse. C'est pourquoi l'évaluation est principalement qualitative et se concentre sur certains aspects de la rentabilité. Elle ne prétend donc pas être exhaustive.

La conversion à des pratiques agricoles durables peut entraîner des coûts initiaux élevés, mais il est possible de bénéficier de paiements directs supplémentaires (Bioaktuell, 2023). En outre, l'amélioration à long terme de la vie du sol peut conduire à une meilleure disponibilité des éléments nutritifs et à une résistance accrue des plantes face aux ravageurs et aux maladies (de Sousa & Moreira, 2024), ce qui est susceptible de réduire les coûts liés aux produits phytosanitaires et aux engrais. Des pratiques telles que les cultures mixtes contribuent à minimiser le risque de pertes de récoltes et à favoriser la stabilité des revenus (Awaad & El-Naggar, 2018). En outre, les agricultrices et agriculteurs qui se convertissent à l'agriculture biologique peuvent obtenir une plus grande valeur ajoutée grâce à l'accès aux marchés biologiques (Moosmann et al., 2023). Dans l'ensemble, les mesures visant à promouvoir la biodiversité des sols pourraient apporter aux agricultrices et agriculteurs des avantages non seulement écologiques, mais aussi économiques, bien que ceux-ci soient difficiles à quantifier en raison de leur complexité.

Potentiel de réduction

Les résultats d'un essai avec un lysimètre (Bender et al., 2023) montrent qu'un biote du sol plus diversifié entraîne une augmentation de 20 % de l'absorption d'azote et de 58 % du phosphore par les plantes. De plus, le lessivage de l'azote a diminué de 65 % et les émissions de N_2O et de N_2 de 97 %. Cependant, il n'est pas encore possible d'estimer dans quelle mesure ces effets sont transposables à des systèmes agricoles réels. Le potentiel de réduction est toutefois très variable et dépend de facteurs tels que le champ concerné, les conditions environnementales et la composition des communautés d'organismes du sol.

Critères de qualité/de réussite

La diversité et l'abondance des micro-organismes dans le sol peuvent être évaluées à l'aide d'analyses moléculaires (p. ex. séquençage de l'ADN). Il serait également possible d'étudier la colonisation des racines des plantes par des champignons mycorhiziens, ce qui serait un indicateur d'un meilleur approvisionnement en P. Quant au lessivage du P et aux émissions de N_2 , ils ne peuvent être testés sur le terrain sans le déploiement de moyens scientifiques considérables. Toutefois, il est possible d'estimer le lessivage du N et les émissions de N_2O .

Perspectives des parties prenantes

- **Agricultrices et agriculteurs:** pour de nombreux agriculteurs et agricultrices, la rentabilité économique joue un rôle central. Si certains voient la possibilité de tirer profit à long terme d'une meilleure fertilité des sols, d'autres pourraient avoir du mal à accepter les investissements initiaux et les efforts dus à la conversion. L'accès aux marchés bio pourrait toutefois constituer une option intéressante pour certains afin d'augmenter leurs revenus.
- **Politique et autorités:** la promotion de pratiques agricoles durables dans le cadre de la protection de la biodiversité suscite de l'intérêt auprès des décideurs politiques et des autorités. Ils pourraient proposer des incitations financières ou des subventions afin d'en accroître l'acceptation par les agricultrices et agriculteurs et de soutenir leur mise en œuvre à grande échelle.
- **Consommatrices et consommateurs:** pour de plus en plus de consommatrices et consommateurs, il est important d'acheter des aliments issus d'une production durable. L'agriculture biologique, qui va souvent de pair avec une plus grande biodiversité du sol, parle aux consommatrices et consommateurs soucieux de l'environnement et prêts à payer plus cher pour des denrées alimentaires produites dans le respect de l'environnement.

Conclusions

La promotion de la biodiversité des sols joue un rôle déterminant dans l'optimisation des cycles de l'azote et du phosphore dans l'agriculture. Une biodiversité accrue des sols permet non seulement d'améliorer la disponibilité des éléments nutritifs, mais aussi de réduire leurs pertes dues au lessivage et aux émissions. Les pratiques agricoles qui protègent et favorisent la biodiversité offrent des avantages écologiques et potentiellement économiques à long terme. Or, la transition vers des méthodes durables nécessite des investissements et des adaptations qui peuvent toutefois être facilités par un soutien et des conseils ciblés.

Informations complémentaires

Contenues dans...

Recherche Agronomique Suisse (2023). Un appauvrissement de la vie dans le sol diminue l'utilisation efficiente des éléments nutritifs par les cultures et augmente leurs pertes dans l'environnement. Recherche Agronomique Suisse. <https://www.agrarforschungschweiz.ch/fr/2023/12/un-appauvrissement-de-la-vie-dans-le-sol-diminue-lutilisation-efficiente-des-elements-nutritifs-par-les-cultures-et-augmente-leurs-pertes-dans-lenvironnement/>

Bender, F., Peter, N., & van der Heijden, M. (2022). Des sols sains grâce à la biodiversité biologique: Protéger les sols et favoriser leurs organismes afin d'améliorer les conditions de production végétale. Agroscope Fiche technique N° 158. Agroscope, Zurich. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/50124>

Bibliographie

Adamec, S., & Andrejiová, A. (2018). Mycorrhiza and stress tolerance of vegetables: A review. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 2, 30–35.

Rapport agricole. (2017). Biodiversité du sol. <https://2017.agrarbericht.ch/de/umwelt/biodiversitaet/bodenbiodiversitaet>

Asghari, H. R., Chittleborough, D. J., Smith, F. A., & Smith, S. E. (2005). Influence of arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis on phosphorus leaching through soil cores. *Plant and Soil*, 275, 181–193.

Awaad, H., & El-Naggar, N. (2018). Role of intercropping in increasing sustainable crop production and reducing the food gap in Egypt. In A. M. Negm & M. Abu-hashim (Eds.), *Sustainability of agricultural environment in Egypt: Part I*, Band 76, S. 1–15. Springer.

Bender, S.F. & van der Heijden, M.G.A., (2015). Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1404–1412. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12351>

Bender, S.F., Schulz, S., Martínez-Cuesta, R., Laughlin, R.J., Kublik, S., Pfeiffer-Zakharova, K., Vestergaard, G., Hartman, K., Paradé, E. et al., (2023). Simplification of soil biota communities impairs nutrient recycling and enhances above- and belowground nitrogen losses. *New Phytologist*, 240, 2020–2034. <https://doi.org/10.1111/nph.19252>

Bioaktuell (2019). Alternativen zum Pflug. <https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/bodenbearbeitung/alternativen-zum-pflug>

Bioaktuell (2023). Kosten und Beiträge bei der Umstellung auf biologische Landwirtschaft. <https://www.bioaktuell.ch/grundlagen/umstellung/allgemein/kosten-und-beitraege>

de Sousa, R. N., & Moreira, L. A. (2024). Plant nutrition optimization: Integrated soil management and fertilization practices. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114848>

Edlinger, A., Garland, G., Hartman, K., et al. (2022). Agricultural management and pesticide use reduce the functioning of beneficial plant symbionts. *Nature Ecology & Evolution*, 6, 1145–1154.

Ferjani, A., Reissig, L. & Mann, S. (2010). Ein- und Ausstieg im Biolandbau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. ISBN 978-3-90-5733-17-4. ART, Ettenhausen. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/22681>

Gomes, A. & Reidsma, P., 2021. Time to transition: Barriers and opportunities to farmer adoption of soil GHG mitigation practices in Dutch agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 706113.

Guo, T., Yao, X., Wu, K., Guo, A., & Yao, Y. (2024). Response of the rhizosphere soil microbial diversity to different nitrogen and phosphorus application rates in a hullless barley and pea mixed-cropping system. *Applied Soil Ecology*, 195, 105262.

Jayaraman, S., Naorem, A. K., Lal, R., Dalal, R. C., Sinha, N. K., Patra, A. K., & Chaudhari, S. K. (2021). Disease-suppressive soils—beyond food production: A critical review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 1437–1465.

Jossi, W., Valenta, A., Zihlmann, U., Dubois, D., Tschachtli, R., & Pfiffner, L. (2001). Einfluss unterschiedlicher Anbausysteme auf die Regenwurmfauna. *Agrarforschung*, 8(2), 60–65.

Koudahe, K., Allen, S. C., & Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(3), 343–354.

- Koudahe, K., Allen, S. C., & Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(3), 343–354.
- Le Bayon, R. C., & Binet, F. (2006). Earthworms change the distribution and availability of phosphorus in organic substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(2), 235–246
- Moosmann, S., Holinger, M., Kretzschmar, U., Ineichen, L., Rees, C., Weidmann, G., Dierauer, H., Hürner, M., Hartung, S., Brunner, F., & Müller, A. (2023). Fiche technique: Reconversion au bio. Une aide à la décision et à la démarche (Édition Suisse, N° 3002). Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL.
- Nyfelner, D., Huguenin-Elie, O., Suter, M., Frossard, E., & Lüscher, A. (2011). Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140, 155–163.
- Riedo, J., Wettstein, F. E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T. D., Walder, F., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Widespread Occurrence of Pesticides in Organically Managed Agricultural Soils-the Ghost of a Conventional Agricultural Past?. *Environmental science & technology*, 55(5), 2919–2928.
- Seitz, S., Goebes, P., Puerta, V. L., Pujol Pereira, E. I., Wittwer, R., Six, J., van der Heijden, M. G. A., & Scholten, T. (2019). Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4).
- Thiele-Bruhn, S., Bloem, J., de Vries, F. T., Kalbitz, K., & Wagg, C. (2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 523–528
- van der Heijden, M. G. A., & Wagg, C. (2013). Soil microbial diversity and agro-ecosystem functioning. *Plant and Soil*, 363(1), 1–5.
- van der Heijden, M. G., Bardgett, R. D., & van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310.
- Van Veen, J.A., Kuikman, P.J. (1990). Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry* 11, 213–233.
- Wittwer, R. A., Bender, S. F., Hartman, K., Hydbom, S., Lima, R. A. A., Loaiza, V., Nemecek, T., Oehl, F., Olsson, P. A., Petchey, O., Prechsl, U. E., Schlaeppli, K., Scholten, T., Seitz, S., Six, J., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Science Advances*, 7(34). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg6995>
- Zhao, Y., Tian, Y., Li, X., Song, M., Fang, X., Jiang, Y., & Xu, X. (2022). Nitrogen fixation and transfer between legumes and cereals under various cropping regimes. *Rhizosphere*, 22, 100546.

Impressum

Éditeur	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zurich www.agroscope.ch
Series Editor	Frank Liebisch
Téléchargement	www.agroscope.ch/pertes_éléments_nutritifs
Copyright	© Agroscope 2025

Exclusion de responsabilité

Agroscope décline toute responsabilité pour d'éventuels dommages en lien avec la mise en œuvre d'informations contenues ici. La jurisprudence suisse actuelle est applicable.