

Indicateur agro-environnemental de la couverture du sol dans les exploitations agricoles

Lucie Büchi¹, Alain Valsangiacomo², Enguerrand Burel^{1,3} et Raphaël Charles^{1,4}

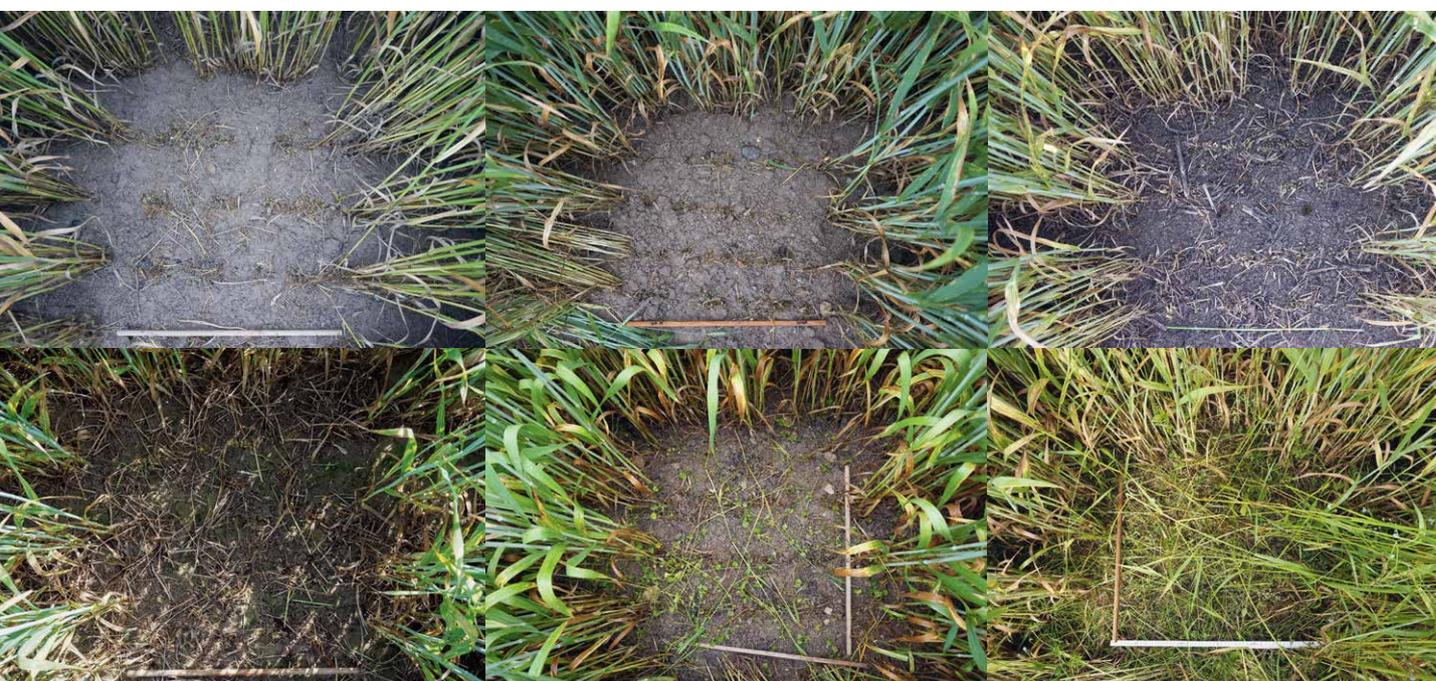
¹Agroscope, 1260 Nyon, Suisse

²Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

³Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère UMR 5126, 32000 Auch, France

⁴Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, 1001 Lausanne, Suisse

Renseignements: Lucie Büchi, e-mail: lucie.buchi@agroscope.admin.ch



Le taux de couverture du sol varie beaucoup suivant le précédent cultural, la culture et son mode de conduite. Ces images illustrent la couverture du sol observée pour différentes parcelles.

Introduction

Depuis plusieurs années, des programmes de monitoring agro-environnemental ont été mis en place en Europe et dans le monde, afin d'évaluer l'impact de l'agriculture sur l'environnement. Dans cette optique, différents ensembles d'indicateurs agro-environnementaux ont été développés, aussi bien par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE 2013) que par l'Union européenne (Eurostat 2016), la *Food and Agriculture Organization* et les Nations Unies. Des programmes nationaux ont aussi vu le jour dans de nombreux pays. En Suisse, l'Office fédéral de l'agricul-

ture (OFAG) a défini six thématiques principales devant faire l'objet d'un suivi à l'aide d'indicateurs: azote, phosphore, énergie/climat, eau, sol et biodiversité/paysage (tabl. 1).

Depuis quelques années, la protection de la ressource sol fait partie des objectifs prioritaires en Suisse. La politique agricole a instauré des contributions pour des techniques d'exploitation préservant le sol (OFAG 2016a). Le Fonds national suisse de la recherche a sollicité la communauté scientifique avec la mise en place du programme national de recherche sur la Ressource sol PNR68 (SNF 2016). La couverture du sol offerte par la végétation et les résidus de récolte constitue l'une des forces motrices

largement reconnue pour la protection du sol. Toutefois, basée sur de simples indices ou des données génériques à l'échelle des cultures principales, la quantification de la couverture du sol est peu représentative des variations effectives dans la pratique. Un indicateur de couverture du sol se doit d'être le reflet des pratiques agricoles pour pouvoir être évalué et amélioré.

L'état de la couverture du sol varie durant les saisons au gré du développement de la végétation (fig. 1), des travaux des champs et de la présence de résidus végétaux en surface. Cette couverture est directement liée au choix des espèces cultivées et à leur organisation dans la rotation, à leur dynamique de développement saisonnier, du semis jusqu'à la récolte, et aux modalités de gestion de l'interculture. Les pratiques culturales, par exemple le travail du sol, déterminent également l'état de la couverture du sol. L'ensemble de ces facteurs conduit à une variation de la protection du sol qu'il est intéressant d'évaluer et de documenter. La gestion de l'état de la surface du sol a de nombreux impacts sur l'environnement. Ainsi, une couverture du sol élevée réduit les risques d'érosion et de pertes d'éléments minéraux ou organiques (nutriments, pesticides, métaux lourds) par ruissellement et lixiviation, améliore la structure du sol et sa fertilité, aide à lutter contre les adventices et promeut la biodiversité (Thorup-Kristensen *et al.* 2003; Scholberg *et al.* 2010; Justes *et al.* 2013).

Cette étude présente un indicateur de couverture du sol, intégrant des données issues de simulations du modèle de culture STICS (Brisson *et al.* 2009), ainsi que les résultats de son application aux données issues du dépouillement centralisé des indicateurs agro-environnementaux (DC-IAE).

Résumé ■ Cette étude présente un indicateur agro-environnemental de la couverture du sol développé dans le cadre du monitoring agro-environnemental mis en place par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG). Cet indicateur est construit de façon à refléter les pratiques agricoles telles que le type de cultures, la rotation des cultures et les pratiques culturales. Il intègre à la fois des données techniques et des données issues de simulations faites à l'aide d'un modèle de culture. Cet outil a été appliqué aux données issues du Dépouillement centralisé des indicateurs agro-environnementaux (DC-IAE), ce qui représente en moyenne 226 exploitations sur cinq années. Les résultats montrent qu'une exploitation de grandes cultures n'atteint en moyenne que 62% de couverture du sol, nettement moins que les presque 100% d'une exploitation herbagère. Certaines cultures présentent une couverture du sol lacunaire, le blé d'automne en particulier, qui n'atteint en moyenne que 44% de couverture. Toutefois, certaines pratiques culturales telles que la mise en place de cultures intermédiaires pendant la période d'interculture et la gestion des résidus de culture permettent d'améliorer considérablement le taux moyen de couverture du sol.

Tableau 1 | Ensemble des indicateurs agro-environnementaux développés dans le cadre du monitoring agro-environnemental de l'OFAG (2016b)

	Forces motrices	Effets sur l'environnement	Etat de l'environnement
Azote	Bilan N de l'agriculture	Emissions azotées potentielles Emissions d'ammoniac	Nitrates dans les eaux souterraines
Phosphore	Bilan P de l'agriculture	Teneur en phosphore des sols	Phosphore dans les lacs
Energie / climat	Consommation d'énergie	Efficience énergétique Emissions de gaz à effet de serre	
Eau	Utilisation de produits phytosanitaires Utilisation de médicaments vétérinaires	Risque d'écotoxicité aquatique	Produits phytosanitaires dans les eaux souterraines Médicaments vétérinaires
Sol	Couverture du sol	Risque d'érosion Bilan d'humus Bilan de métaux lourds	Teneur en polluants Qualité du sol
Biodiversité / paysage	Surfaces de promotion de la biodiversité Projets qualité du paysage	Effets potentiels des activités agricoles sur la biodiversité	Espèces et milieux agricoles Programme observation du paysage suisse

Pois fourrager



Avoine rude



Figure 1 | Evolution du taux de couverture du sol en fonction de la croissance de la culture pour le pois fourrager et l'avoine rude (JAS = nombre de jours après le semis).

Matériel et méthode

Un indicateur a été développé pour caractériser les deux principales phases de la couverture du sol au niveau de la parcelle agricole: la phase d'interculture et la phase de culture (fig. 2). Pour ces deux phases, le taux de couverture du sol a été estimé à différents moments clés. Le résultat final est exprimé en un taux de couverture du sol, correspondant au rapport entre le nombre de jours couverts SCD (*soil cover days*) et le nombre total de jours écoulés, en suivant la méthodologie développée au Canada (Huffman *et al.* 2000, 2012). Les SCD correspondent à un nombre de jours couverts à 100% et sont obtenus, pour une période donnée, en multipliant le taux de couverture par le nombre de jours présentant ce taux de couverture (par exemple 2 jours couverts à 50% = 1 jour couvert à 100% = 1 SCD).

La phase d'interculture prend en compte les résidus de la culture précédente, leur incorporation par les travaux du sol, leur décomposition au cours du temps, ainsi que la présence éventuelle d'une culture intermédiaire et sa gestion (fig. 2: #1, #2, #6). Les taux de couverture attendus liés à ces aspects-là ont été rassemblés à partir de données issues de différents services techniques agricoles américains, consignés en détails par Büchi *et al.* (2016).

La phase de culture considère la présence de résidus de la culture précédente au moment du semis de la culture principale, ainsi que leur taux de décomposition, et la croissance de la culture du semis à la récolte (fig. 2: #3,

#4, #5). Le modèle de simulation de culture STICS (Brisson *et al.* 2009) a permis de prendre en compte de façon dynamique la croissance de la culture, en fonction des spécificités pédoclimatiques. Un total de 96 228 scénarios de culture (11 cultures et 3 dates de semis par culture, 12 régions climatiques, 3 textures de sol et 3 profondeurs, 27 années culturales) ont été simulés à l'aide de ce modèle et ont permis d'évaluer le taux de couverture offert par chaque culture, dans chaque situation.

L'indicateur présenté ici a été ensuite appliqué aux données issues du Dépouillement centralisé des indicateurs agro-environnementaux (DC-IAE). Les données utilisées couvrent cinq années de 2010 à 2014 et comprennent en moyenne 226 exploitations pour un total de 5328 parcelles en moyenne par année. Le nombre de jours couverts SCD est calculé séparément pour les phases d'interculture et de culture, puis les deux valeurs sont additionnées pour l'ensemble de la période allant de la récolte de la culture principale précédente à la récolte de la culture principale suivante. Pour la phase de culture, la simulation STICS se rapprochant le plus de la parcelle en termes d'emplacement géographique, type de sol et type de culture a été choisie comme référence de calcul des SCD, en tenant compte du taux de couverture par les résidus de la culture précédente au moment du semis. Seules les parcelles entrant dans la catégorie «Terres assolées et prairies» ont été évaluées.

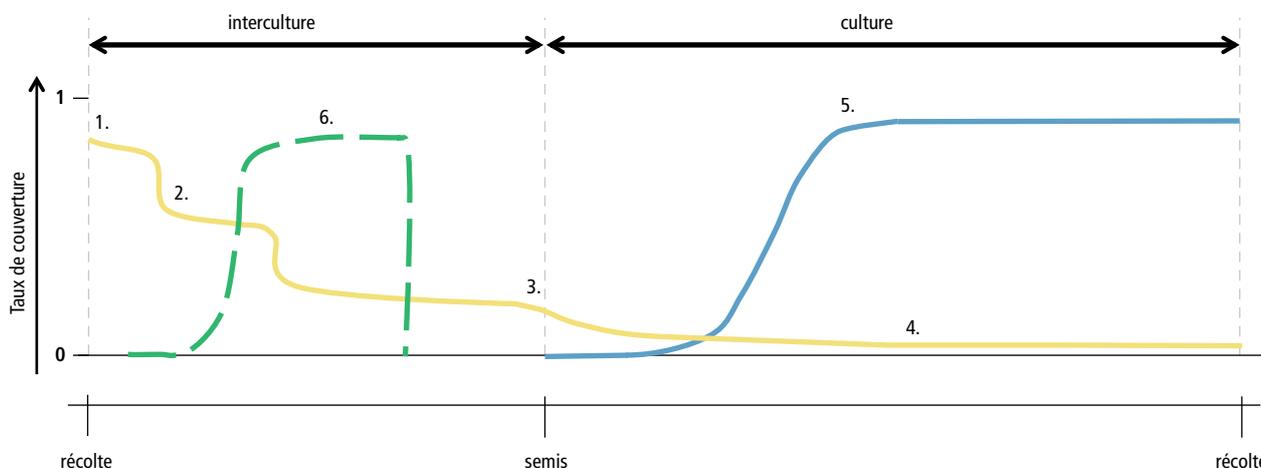


Figure 2 | Evolution schématique du taux de couverture du sol entre la récolte de la culture précédente et la récolte de la culture principale. Facteurs clés: #1: taux de couverture par les résidus après récolte; #2: incorporation des résidus suite au travail du sol; #3: taux de couverture par les résidus au moment du semis de la culture principale; #4: décomposition des résidus; #5: dynamique du taux de couverture en fonction du développement de la culture; #6: présence éventuelle d'une culture intermédiaire.

Le taux de couverture moyen d'une exploitation correspond à la moyenne des valeurs de l'ensemble des parcelles de l'exploitation, pondérées par leurs surfaces respectives. Pour étudier le taux de couverture au niveau des exploitations, elles ont été regroupées en trois différents types, suivant la typologie FAT9953 de Meier (2000). Le premier correspond à des exploitations de grandes cultures (>70% de la surface en grandes cultures), le second à des exploitations à dominance herbagère (<25% grandes cultures) et avec bétail (lait commercialisé, vaches allaitantes, etc.), et le dernier type à des exploitations combinées. La couverture du sol des exploitations a aussi été étudiée en fonction des régions agricoles. La région de plaine correspond à la zone de plaine, la région de collines aux zones de collines et montagne 1, et la région de montagne aux zones de montagne 2, 3 et 4, selon la définition officielle suisse (OFS 2016).

Résultats et discussion

Couverture du sol à l'échelle de l'exploitation

Le taux de couverture moyen par exploitation varie fortement en fonction du type d'exploitation considéré. Une exploitation herbagère offre une couverture proche de 100%, car elle inclut majoritairement des prairies, couvrant le sol en permanence (fig. 3). Cette situation est typique par exemple de l'exploitation laitière. En revanche, la couverture du sol d'une exploitation de grandes cultures atteint en moyenne un taux de couverture de 62%, mais avec des fortes variations selon les exploitations. En effet, les terres ouvertes sont partiellement dénudées durant l'interculture, ainsi que durant

l'installation de la nouvelle culture. Les exploitations combinées montrent un taux intermédiaire de 84%. Les variations interannuelles sont relativement faibles, ce qui montre la robustesse de l'indicateur pour cette typologie d'exploitation.

La couverture du sol des exploitations agricoles varie aussi selon la région considérée. De manière attendue, la forte présence de terres ouvertes dans les exploitations de plaine conduit à une couverture plus faible, toutefois avec une très grande variabilité (fig. 4). Les trois-quarts

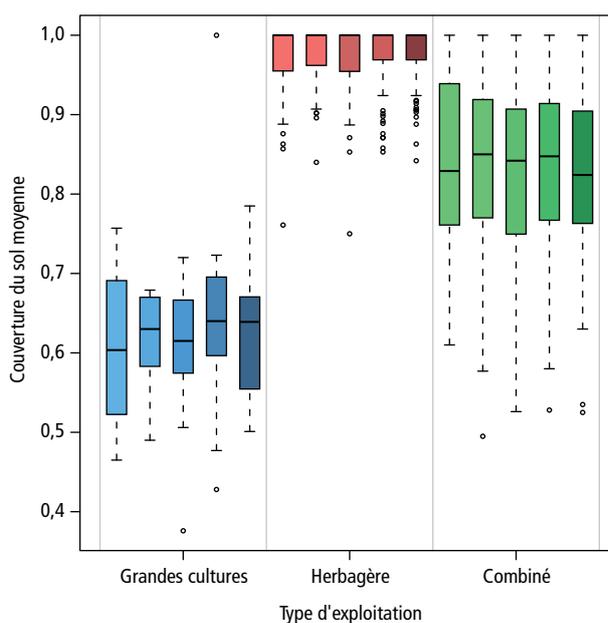


Figure 3 | Taux de couverture du sol moyen par exploitation en fonction du type d'exploitation, pour les années 2010, 2011, 2012, 2013 et 2014 (dans l'ordre, pour chaque catégorie).

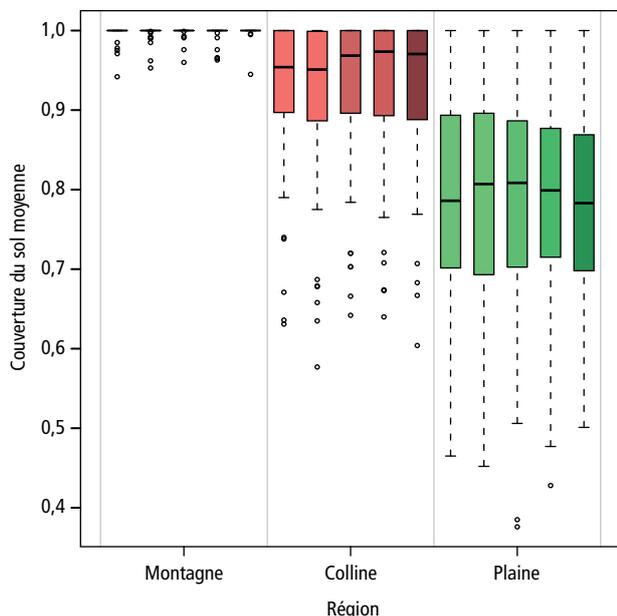


Figure 4 | Taux de couverture du sol moyen par exploitation en fonction de la région, pour les années 2010, 2011, 2012, 2013 et 2014 (dans l'ordre, pour chaque catégorie).

des exploitations en région de collines atteignent un taux de couverture égal ou supérieur à 89%, proche de celui des exploitations exclusivement herbagères de la région de montagne (100%).

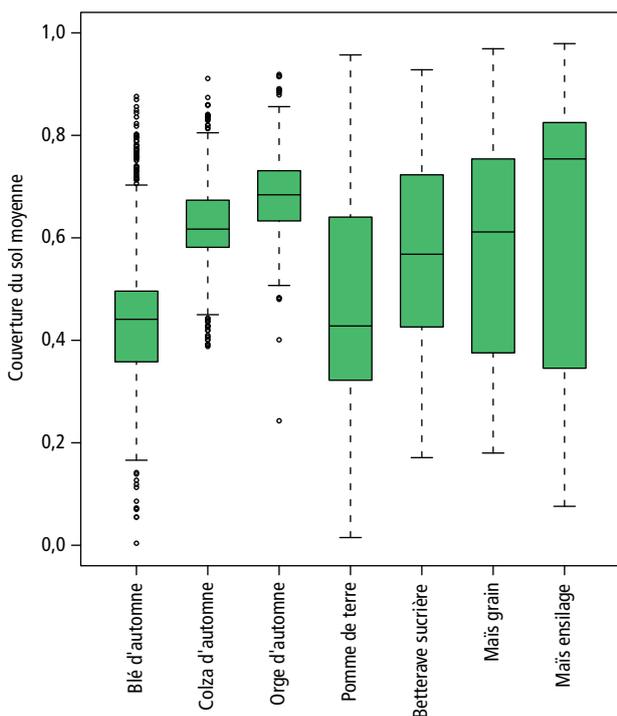


Figure 5 | Taux de couverture du sol moyen par parcelle en fonction de la culture principale.

Couverture du sol à l'échelle de la parcelle

La variation de la couverture du sol des parcelles de terre ouverte provient notamment de la part des différentes cultures dans la rotation (fig. 5). Le blé d'automne possède l'une des plus faibles couvertures, le sol étant peu couvert durant la moitié de la période entre la récolte du précédent et la récolte du blé (taux de couverture moyen de 44%). Certaines pratiques culturales avant le semis du blé (par exemple utilisation de couverts végétaux, semis direct) permettent tout de même d'améliorer la couverture du sol, mais elles ne concernent qu'une part modeste des parcelles. En effet, 4% seulement des parcelles de blé atteignent un taux égal ou supérieur à 70%. Cette valeur est similaire à la couverture offerte par une culture d'automne précoce comme l'orge d'automne. Avec une période de semis relativement courte et correspondant à une époque où la végétation est encore active, l'orge ainsi que le colza montrent de faibles variations entre parcelles.

Parmi les cultures de printemps, c'est la pomme de terre qui offre la plus faible couverture du sol, cette couverture variant toutefois selon la place de cette culture dans la rotation. Pour la pomme de terre et plus encore pour le maïs ensilage, la protection du sol est meilleure lorsque ces cultures sont installées après une prairie détruite au printemps plutôt qu'après une culture inter-

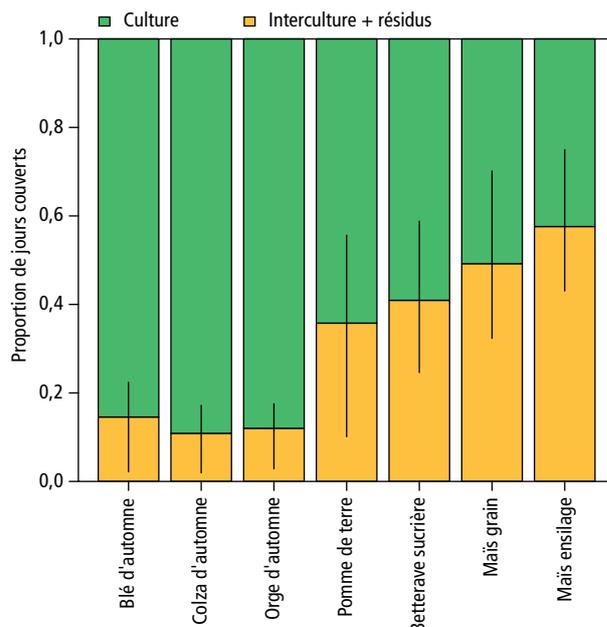


Figure 6 | Proportion moyenne de jours couverts SCD par parcelle pour la phase de culture et la phase d'interculture (y compris les éventuels résidus de la culture précédente) en fonction de la culture principale. Moyenne des cinq années. Les segments verticaux représentent la variabilité des valeurs (distance entre les 1^{ers} et 3^{es} quartiles).

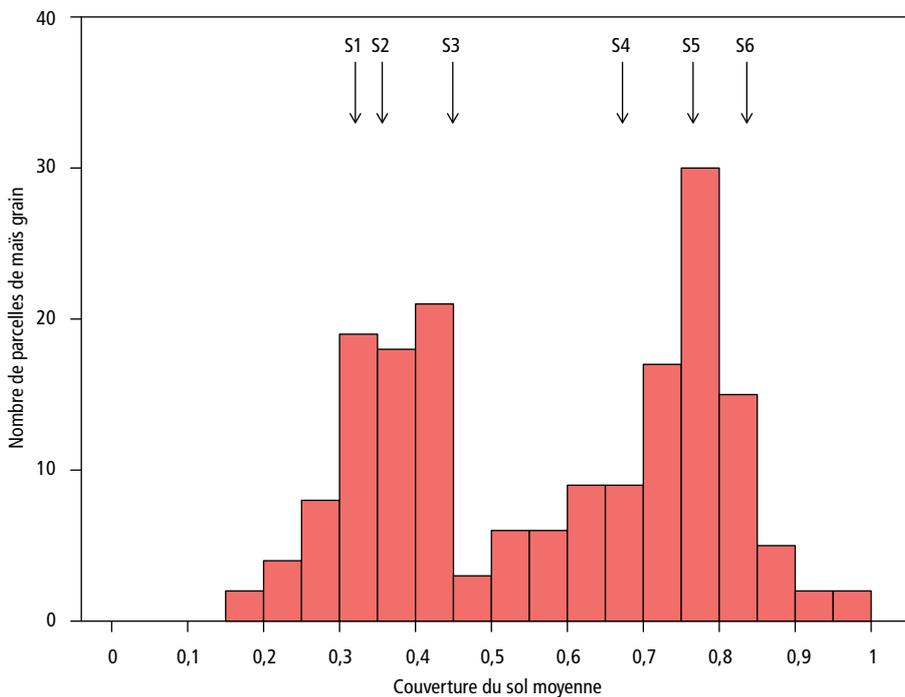


Figure 7 | Histogramme du taux de couverture du sol par parcelle de toutes les parcelles de maïs grain (toutes années confondues, n=176). Les flèches indiquent le taux de couverture atteint par les six différents scénarios simulés de pratiques culturales.

médiaire, semée durant l'été précédent et détruite à l'entrée de l'hiver ou au printemps.

Sur l'ensemble d'un cycle, la végétation des cultures d'automne procure l'essentiel de la couverture, tandis que pour les cultures de printemps, les périodes d'interculture et de culture contribuent presque à part égale à la couverture du sol (fig. 6). Les cultures de printemps montrent beaucoup plus de variabilité entre parcelles que celles d'automne (fig. 5). Cette différence est principalement due à la grande variabilité de la contribution de la phase d'interculture au nombre de jours couverts pour les cultures de printemps (fig. 6).

Influence des pratiques culturales

La grande variabilité de couverture du sol des cultures de printemps est particulièrement visible dans le cas du maïs grain (fig. 7). La distribution du taux de couverture montre clairement deux groupes distincts de parcelles, avec un taux de couverture moyen de 35% et de 75%.

Afin de mettre en évidence les facteurs clés de l'interculture qui influencent le taux de couverture du sol, les valeurs observées pour le maïs grain ont été comparées à celles obtenues par six scénarios simulés de différentes pratiques culturales (fig. 7). Tous les scénarios simulent un maïs grain en culture principale (semé le 1^{er} mai et récolté le 15 octobre) après un précédent de blé d'au-

tomne (récolté le 20 juillet). Dans le 1^{er} scénario (S1), aucune culture intermédiaire n'est mise en place durant l'interculture. Les autres scénarios intègrent une culture intermédiaire non légumineuse (par ex. moutarde) avec différentes dates de semis et de destruction. Dans les scénarios S2 (semis tardif) et S3 (semis précoce), la culture intermédiaire est détruite avant l'hiver. Dans les scénarios S4 (semis tardif), S5 (semis précoce) et S6 (semis précoce), la culture intermédiaire est laissée en place jusqu'au semis du maïs. La culture intermédiaire est détruite par un labour dans tous les scénarios sauf dans S6 où un semis sous litière est simulé. Le taux de couverture du sol correspondant à chaque scénario a ensuite été calculé. Le taux de couverture atteint par les scénarios simulés montre l'importance d'une culture intermédiaire laissée en place jusqu'au printemps. Une telle culture intermédiaire permet au maïs grain d'atteindre un taux de couverture égal ou supérieur à 70% (fig. 7). La destruction des cultures intermédiaires avant l'hiver réduit le taux de couverture à une valeur inférieure à 50% alors que l'absence de culture intermédiaire réduit la couverture à moins de la moitié des valeurs atteintes par les meilleures pratiques.

La confrontation des valeurs observées et simulées montre que le premier groupe de parcelles correspond aux scénarios sans couvert végétal ou avec un couvert

détruit avant hiver, tandis que le deuxième groupe se trouve vers les scénarios présentant un couvert végétal passant l'hiver. La présence ou non d'un couvert ainsi que sa date de destruction est donc un facteur important de variation de la couverture du sol pour le maïs grain et les cultures de printemps en général.

Conclusions

L'indicateur présenté ici permet de quantifier la couverture du sol des exploitations agricoles et des parcelles selon leur mode de conduite. Le type d'exploitations influence grandement la couverture du sol. Par contre, les variations annuelles sont relativement limitées, car les structures et les cultures en place au sein de chaque exploitation changent peu d'une année à l'autre. Les parcelles les moins couvertes se situent logiquement dans les régions de grandes cultures et montrent de fortes variations qui offrent autant d'opportunité d'amélioration. Le choix des cultures, par leur organisation dans la rotation et par les techniques culturales pratiquées, influence beaucoup la couverture du sol. La gestion de l'interculture est aussi un facteur déterminant pour les

cultures de printemps, ainsi que pour le blé d'automne. Toutefois, le mode de conduite des cultures intermédiaires est un facteur clé, notamment en ce qui concerne leur date d'installation et leur modalité de destruction avant la culture suivante. Le blé d'automne est souvent majoritaire dans la rotation et offre parfois une assez longue période entre la récolte du précédent et son semis, propice à un choix de techniques permettant d'assurer une bonne protection du sol. La nouvelle approche proposée ici offre une méthode objective et consolidée pour évaluer la couverture du sol et sa protection. Grâce aux valeurs clés extraites des nombreux scénarios calculés, il est désormais possible de disposer d'un indicateur quantitatif, répétable dans le temps et facile à appliquer à l'échelle d'une parcelle, d'une exploitation ou d'un territoire. ■

Remerciements

Les auteurs remercient Pierluigi Calanca (Agroscope) et l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse pour l'accès aux données météo journalières. Cette étude a été partiellement financée par l'Office fédéral de l'agriculture ainsi que par le Fonds national suisse de la recherche scientifique dans le cadre du Programme national de recherche PNR68 «Utilisation durable de la ressource sol», subside 406840-143063.

Riassunto

Indicatore agro-ambientale della copertura del suolo nelle aziende agricole

Questo studio presenta un indicatore agro-ambientale della copertura del suolo sviluppato nell'ambito del programma di monitoraggio agro-ambientale dell'Ufficio federale dell'agricoltura (UFAG). Questo indicatore tiene conto delle pratiche agricole come il tipo di coltura, la rotazione e le pratiche colturali, ed integra sia dati tecnici che dati provenienti da simulazioni eseguite con un modello colturale. L'indicatore è stato applicato ai dati provenienti dall'analisi centralizzata degli indicatori agro-ambientali (AC-IAA), che provengono da mediamente 226 aziende agricole su cinque anni. I risultati mostrano che le aziende a vocazione campicola raggiungono in media soltanto il 62% di copertura del suolo, nettamente meno delle aziende dedite principalmente alla pastorizia, che raggiungono una copertura di quasi il 100%. Alcune colture presentano una scarsa copertura del suolo: il frumento autunnale, in particolare, non raggiunge in media che il 44% di copertura. Tuttavia, alcune pratiche colturali quali l'introduzione di colture intercalari e la gestione dei residui colturali permettono di migliorare considerevolmente il tasso medio di copertura del suolo.

Summary

Agri-environmental indicator for soil cover on Swiss farms

This study presents an indicator for soil cover, developed within the framework of the Federal Office for Agriculture agri-environmental monitoring programme. The indicator takes aspects such as crop type as well as cultivation practices such as rotation and tillage into account, incorporating technical data as well as data from crop model simulations. The indicator was applied to a dataset obtained from the Swiss agri-environmental data network (SAEDN), which represented an average of 226 farms over five different years. The results show that, at farm level, arable farming achieves an average of only 62% soil cover, compared to nearly 100% soil cover for grassland farming. At field level, some crops do not allow sufficient cover to be achieved – in particular winter wheat, with a mean soil cover of just 44%. Despite this, certain crop-management practices, such as the introduction of cover crops during the pre-sowing period or good residue management, allow the improvement of overall soil cover.

Key words: soil protection, conservation agriculture, farm network survey, agri-environmental monitoring.

Bibliographie

- Brisson N., Launay M., Mary B. & Beaudoin N., 2009. Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model. Editions Quae, Versailles.
- Büchi L., Valsangiacomo A., Burel E. & Charles R., 2016. Integrating simulation data from a crop model in the development of an agri-environmental indicator for soil cover in Switzerland. *European Journal of Agronomy* **76**, 149–159.
- Eurostat, 2016. Indicateurs agro-environnementaux. Accès: <http://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/agri-environmental-indicators> [01.09.2016].
- Huffman E., Eilers R. G., Padbury, G., Wall G. & MacDonald K. B., 2000. Canadian agri-environmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **81**, 113–123.
- Huffman E., Coote D. R. & Green M., 2012. Twenty-five years of changes in soil cover on Canadian Chernozemic (Mollisol) soils, and the impact on the risk of soil degradation. *Canadian Journal of Soil Sciences* **92**, 471–479.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J. P., Souchère V., Tournebise J., Réchauchère O., Savini I., Barbier M. & Leiser H., 2013. Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable. Editions Quae, Versailles.
- Meier, B., 2000. Neue Methodik für die Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten an der FAT. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Switzerland.
- OCDE, 2013. OECD Compendium of Agri-environmental Indicators. Accès: http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-compendium-of-agri-environmental-indicators_9789264186217-en [01.09.2016].
- OFAG, 2016a. Contribution pour des techniques d'exploitation préservant le sol. Accès: <http://www.blw.admin.ch/themen/00006/01720/01722/index.html?lang=fr> [01.09.2016].
- OFAG, 2016b. Agrarumweltmonitoring. Accès: <https://www.blw.admin.ch/dam/blw/de/dokumente/Nachhaltige%20Produktion/Umwelt/Agrarumweltmonitoring/Flyer%20%C3%BCber%20Agrarumweltmonitoring.pdf> [01.09.2016].
- OFS, 2016. Définitions: Zones (agriculture). Accès: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/07/11/def.html> [01.09.2016].
- Scholberg J. M. S., Dogliotti S., Leoni C., Cherr C. M., Zotarelli L. & Rossing W. A. H., 2010. Cover crops for sustainable agrosystems in the Americas. In: Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews (Ed. E. Lichtfouse). Springer, Netherlands, 23–58.
- SNF, 2016. Programme national de recherche «Utilisation durable de la ressource sol» PNR 68. Accès: <http://www.pnr68.ch> [01.09.2016].
- Thorup-Kristensen K., Magid J. & Jensen L. S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* **79**, 227–302.