



Résumé analytique à l'intention des groupes cibles

Numéro de projet	406840_143062
Titre	Système d'alerte précoce : Outil régional de monitoring des sols pour des cycles durables des substances dans les sols agricoles
Responsable du projet	Armin Keller, Observatoire national des sols, Agroscope
Autres responsables du projet	Michael Schaepman, Remote Sensing Laboratories, Université de Zurich Rainer Schulin, Institut für Terrestrische Ökosysteme, EPF Zürich Stefan Mann, Economie agricole, Agroscope

Contribution à la synthèse thématique :

<input type="checkbox"/> Sol et production alimentaire	<input type="checkbox"/> Sol et environnement	<input type="checkbox"/> Ressource sol et développement territorial	<input checked="" type="checkbox"/> Informations du sol, méthodes et instruments	<input type="checkbox"/> Vers une politique durable des sols
--	---	---	--	--

Lieu et date : Zurich, le 23 février 2017

Contexte

L'exploitation agricole a un impact sur le cycle des substances et donc sur certaines fonctions importantes des sols. Outre les éléments nutritifs souhaités, les engrais et substances auxiliaires apportent dans le sol des polluants, qui s'accumulent à long terme. Toutes sortes d'engrais sont concernés : les nutriments peuvent provenir d'effluents d'élevage (fumier, purin, lisier), d'engrais de recyclage (p.ex. compost, engrais organique du commerce, digestats issus de la production de biogaz) ou d'engrais minéraux (engrais simples ou composés).

Certains engrais minéraux phosphatés entraînent une pollution par l'uranium (U) ou par le cadmium (Cd), et les effluents d'élevage peuvent, selon le type d'exploitation dont ils proviennent et les aliments donnés aux animaux, contenir non seulement des taux considérables de cuivre et de zinc, mais également des résidus de médicaments vétérinaires. L'agriculture emploie par ailleurs une large palette de substances actives pour la protection des plantes, non seulement des fongicides et des insecticides, mais surtout des herbicides, dont une grande partie va directement dans le sol.

Les mesures prises dans le monde agricole suisse pour réduire les excédents de nutriments n'ont eu qu'un succès partiel. C'est surtout pour l'azote que des excédents substantiels sont enregistrés. Le problème est que les sols surfertilisés et les polluants font baisser la qualité des sols et leur potentiel (fonctions du sol). Dans l'optique d'une utilisation durable des sols par l'agriculture, il faut donc faire en sorte que les cycles des substances soient les plus équilibrés possibles.

L'observation des sols fournit des connaissances importantes sur l'état et la dynamique des sols, et permet de contrôler l'efficacité des mesures environnementales. Le réseau de mesures de l'Observatoire national des sols a développé des outils de monitoring au niveau parcellaire pour des sites choisis. Au niveau régional en revanche, il subsiste encore de grosses lacunes de connaissances et aucun instrument de monitoring n'est encore disponible en Suisse à l'heure actuelle.

But

Le but premier du projet « Système d'alerte précoce » était de développer un instrument pour le monitoring régional des sols utilisés à des fins agricoles. Avec une question centrale : dans quelles conditions les cycles de nutriments s'équilibrent-ils au niveau régional et les apports de polluants peuvent-ils être évités ? L'outil de monitoring régional doit servir à déterminer, dans l'espace et dans le temps et pour des régions sélectionnées, si les éléments nutritifs sont en hausse dans les sols. L'utilisation de cet outil entraîne ensuite une série d'autres objectifs opérationnels : Comment l'apport d'éléments nutritifs peut-il être optimisé dans le contexte régional ? Comment diminuer l'introduction de polluants ? Comment les risques encourus par les sols utilisés à des fins agricoles peuvent-ils être évalués à grande échelle ? Comment l'exploitation agricole influence-t-elle les fonctions du sol ?

La pratique agricole étant essentiellement dépendante des conditions socio-économiques, une autre facette du projet visait à considérer les mesures envisageables pour équilibrer les cycles de substances également sous l'angle du revenu et des facteurs de production des exploitations agricoles.

Résultats

Développement d'un modèle d'exploitation des sols

Dans le cadre du projet, nous avons développé un modèle d'exploitation du sol qui peut être utilisé au niveau régional et qui se base sur les données disponibles pour toute la Suisse – entre autres les données géo-référencées provenant des recensements agricoles, les cartes d'utilisation du sol, la télédétection, les directives pour la fumure, les mesures de qualité des engrais, les données pédologiques et climatiques ainsi que les facteurs socio-économiques. Le modèle régional est conçu sous forme modulaire, et dispose d'interfaces avec les modèles existants, c'est-à-dire (1) le modèle socio-économique SWISSland, (2) un modèle d'utilisation du sol définissant la répartition spatiale de l'utilisation du sol à l'aide de données de télédétection, (3) un modèle de gestion du territoire qui représente les pratiques de fumure des exploitations, et (4) le modèle de processus sol EPIC, qui met en lien les propriétés des sols et processus relatifs aux sols avec leur exploitation et leur utilisation. Le modèle d'exploitation des sols ainsi développé tient compte – sur la base de séries de données de plusieurs années – des cultures, des pratiques de fumure et des types d'exploitation caractéristiques de la Suisse.

Régions étudiées

A l'aide de ce modèle d'exploitation des sols, les apports et pertes annuels d'éléments nutritifs (azote, phosphore) et de métaux traces (cuivre, zinc et cadmium) ont été calculés dans deux régions des cantons de Zurich et Berne pour les années 2000 à 2015, et les bilans des nutriments et des polluants représentés sous forme spatiale par des cartes. La région du canton de Zurich comprenait 71 km², avec 41 km² de terrain agricole et 250 exploitations (en majorité des exploitations laitières et des exploitations combinées), et celle de Berne environ 300 km², avec 158 km² de terrain agricole et 1070 exploitations (exploitations combinées, grandes cultures). Dans les deux régions, on a compté une densité d'animaux de 1.1-1.2 unité de gros bétail par hectare (UGB/ha).

Télédétection et modèle d'exploitation du sol

La télédétection a permis de traiter et de classer des images LANDSAT 8, et l'utilisation en grandes cultures et herbages a été segmentée pour les régions d'étude avec une résolution spatiale de 30 m x 30 m. A l'aide de prises de vue de RapidEye, plus rapprochées dans le temps, nous avons développé une méthode visant à évaluer l'intensité d'utilisation des herbages sur la base du nombre d'utilisations par année. Ces cartes spatio-temporelles constituent la base du modèle d'utilisation du sol et du calcul de l'intensité de fumure des surfaces.

Modèle de gestion du territoire

Pour le modèle de gestion du territoire, les cycles des substances sont calculés pour chaque exploitation agricole par un algorithme à plusieurs niveaux. La production animale et végétale de chaque exploitation ainsi que les surplus de nutriments disponibles dans les exploitations voisines (engrais de ferme) sont intégrés. Dans un premier temps, on calcule les bilans de substances sur la base des types de cultures, d'exploitation et d'élevage. Ensuite, on examine les options envisageables dans un contexte régional pour un échange commercial de fumier de ferme entre exploitations. Le besoin en éléments nutritifs des cultures est différencié selon l'intensité de l'exploitation et l'intensité de fumure des cultures. En outre, l'ensemble des données provenant du monitoring agricole de plus de 300 exploitations sont analysées, et des règles sont définies pour les pratiques de fumure de chaque type d'exploitation et culture. Le modèle de gestion du territoire donne comme résultat les bilans de substances annuels moyens résultant des apports par les

engrais de ferme et les engrais minéraux et des prélèvements par les récoltes (bilans superficiels). Cela dans la même résolution que celle des cartes d'utilisation du sol obtenues par télédétection (30 m x 30 m). Le modèle fournit ainsi des indications spatio-temporelles importantes sur plusieurs plans : 1. pour l'ensemble de la région : besoin et déficit de nutriments nécessaires, quantité d'engrais minéraux, d'engrais de ferme, commerce d'engrais de ferme, nombre d'animaux et volume de récoltes, utilisation du territoire, 2. bilans de substances au niveau de l'exploitation agricole, et 3. bilans de substances pour les grandes cultures et les herbages par exploitation. Des bilans de substances moyens sont calculés pour les grandes cultures sur la base de la rotation habituelle des cultures sur les parcelles. Quant aux herbages, on peut les différencier selon l'intensité de leur utilisation.

Dans les deux régions étudiées, on a constaté une répartition spatiale très différenciée des sols avec déficits et excédents de nutriments. Dans la région du canton de Zurich, environ un cinquième de la surface agricole présente un excès de phosphore annuel de plus de 20 kg P/ha, et près de la moitié révèle un excès d'azote annuel de plus de 40 kg N/ha. Des proportions semblables ont été observées dans la région étudiée du canton de Berne. Les cartes générées par le modèle régional permettent de détecter la grande hétérogénéité locale des bilans de substances dans l'agriculture suisse. On peut également identifier de petites régions dont l'utilisation des sols n'est pas durable, et prendre des mesures ciblées de réduction ou d'optimisation des flux de substances lorsque cela s'avère nécessaire.

Modèle de processus sol EPIC

Le modèle de processus de sol EPIC met en lien l'exploitation et les apports et pertes/prélèvements des substances dans le système agricole avec les facteurs pédologiques et climatiques pertinents. EPIC modélise ainsi les rendements agricoles sur la base des données climatiques et des pratiques de fumure. Le cycle de l'eau dans le sol est également calculé. A l'aide d'EPIC, chaque cellule de la grille de 30m x 30m des deux régions étudiées un bilan du système pour l'année 2012 a été établi. Outre les apports et prélèvements du bilan superficiel mentionnés plus haut, ce bilan du système tient également compte des flux de substances causés par la lixiviation dans le sol (leaching), la volatilisation (émissions, pertinentes pour l'azote), la fixation de l'azote par les légumineuses, l'érosion et le ruissellement de surface. Les cartes des bilans de système pour l'azote et le phosphore ont montré pour les deux régions étudiées une répartition spatiale très différenciée. Les cartes permettent d'identifier les régions à risque de lixiviation des nutriments jusque dans les couches plus profondes du sol – et donc dans la nappe phréatique. Avec EPIC, on peut également identifier l'influence des propriétés du sol, respectivement de leur fonction de régulation, sur les cycles des substances : dans les régions où les sols sont profonds avec d'importantes fonctions de filtre et de tampon, le risque de transport d'azote dans la nappe phréatique est en général nettement plus faible.

Modèle socio-économique SWISSland

Le modèle SWISSland a été calibré pour les 250 exploitations agricoles de la région étudiée à Zurich pour l'année de référence 2014. Six scénarios ont été élaborés sur cette base pour la période 2014 à 2025. Deux scénarios de référence (système des paiements directs 2011 et 2014) ont été confrontés à des scénarios possibles de renchérissement des engrais minéraux, du fourrage et de l'énergie, ainsi qu'à un scénario de libre-échange. Parmi les plus de 150 variables calculées par SWISSland, la modification dans le temps des paramètres les plus importants a été analysée pour chaque scénario jusqu'en 2025. Les scénarios impliquant un renchérissement des facteurs de production n'ont montré dans l'ensemble qu'un effet limité sur l'exploitation. Par exemple,

l'augmentation par étape des prix des engrais minéraux jusqu'à 100% n'a eu qu'une faible influence sur la consommation. Les plus grands changements pronostiqués par SWISSland concernent le scénario de libre-échange, dans lequel le revenu brut des agriculteurs diminue de 32% jusqu'en 2025, et le nombre d'exploitations de 25%, tandis que la taille des exploitations augmente en moyenne d'environ 18 ha à 24 ha. Une diminution des grandes cultures et des herbages intensifs va de pair, dans ce scénario, avec une hausse de la production laitière (+14%). Concernant le scénario de libre-échange, les cartes de pronostic des bilans de nutriments ont montré pour l'année 2025, avec l'extensification prévue, de nettes baisses des excédents de nutriments par rapport à l'année de référence 2014. L'interaction entre SWISSland et le modèle de gestion du territoire permet d'identifier les zones à risque (« hotspots ») et – selon les conditions socio-économiques – de prévoir les tendances futures. Le couplage des deux modèles crée un lien entre les acteurs économiques de l'agriculture et l'exploitation des sols. De cette façon, les conflits d'objectifs (« trade-offs ») peuvent être quantifiés, par exemple entre les bilans de substances équilibrés d'une part, et les pertes de revenus qui en résultent d'autre part.

Implication pour la recherche

Le projet « Système d'alerte précoce » est consacré à l'influence de l'exploitation agricole régionale sur les fonctions du sol, et fournit des aides décisionnelles pour une utilisation durable des sols. Dans le cadre du projet, plusieurs modèles existants ont été associés. La télédétection a été intégrée pour la représentation spatiale des résultats. Le modèle régional permet en particulier de considérer le système agricole (production animale et végétale, fumure), l'exploitation des sols et le système sol (propriétés du sol, processus du sol) sous l'angle spécifique de la région, en adoptant une approche intégrale. La possibilité de coupler ainsi les activités agricoles et le système terrestre représente une valeur ajoutée pour de nombreux modèles environnementaux. L'outil régional de monitoring fournit par exemple des cartes spatio-temporelles concernant la rotation des cultures et les apports d'engrais de ferme et d'engrais minéraux, qui sont essentielles pour les modèles de carbone du sol (bilans humiques), et des informations importantes pour les modèles d'érosion du sol. Ce type de données spatiales est également essentiel pour évaluer la biodiversité des sols ou pour quantifier les gaz à effet de serre.

Les résultats fournis par le modèle que nous avons développé sont aussi intéressants pour d'autres applications dans le domaine environnemental, par exemple l'évaluation de la pollution diffuse des eaux de surface ou l'apport d'azote et de pesticides dans la nappe phréatique. En règle générale, les résultats des outils de monitoring régionaux doivent être mis en forme dans ce sens, pour pouvoir ensuite servir de valeurs d'entrée pour le modèle environnemental concerné.

Coupler l'utilisation agricole et le modèle de processus sol EPIC ouvre de nombreuses possibilités pour la recherche. Seule une petite palette de processus de sol et de modules de programmes contenus dans EPIC ont pu être utilisés dans ce projet, par manque de temps. L'évaluation dynamique des fonctions du sol pose un défi pour l'avenir, à savoir quantifier l'influence de l'utilisation du sol à des fins agricoles sur ses fonctions. Grâce à ce couplage, il est aussi possible de quantifier et d'évaluer les fonctions de régulation, d'habitat et de production du sol en tenant compte de la grande variabilité de l'exploitation agricole et de la production alimentaire.

En combinaison avec la télédétection, le modèle permet aussi d'améliorer de nombreuses manières l'utilisation spatio-temporelle des sols. Par ailleurs, l'outil de monitoring des sols peut être encore

optimisé grâce à certains résultats de la télédétection, qui permettent par exemple de déduire l'intensité d'utilisation des herbages, les types de culture ou le taux de chlorophylle des herbages.

Implication pour la pratique

Dans la pratique, l'outil de monitoring des sols doit servir d'aide décisionnelle pour une utilisation durable des sols. Il contribue à identifier assez tôt les évolutions non durables dans une région et à planifier des mesures préventives. L'une des forces de ce modèle est de pouvoir montrer, à l'aide de scénarios, quelles mesures seraient appropriées au niveau régional, et de fournir des indicateurs permettant de prendre une décision dans le sens d'une exploitation durable du sol.

Cet outil comble une lacune entre l'exploitation agricole et le sol, et apporte une aide précieuse dans plusieurs autres domaines d'actualité de la politique agricole. Le projet pose ainsi les bases de la mise en œuvre de la protection des sols, par exemple pour le monitoring agro-environnemental ou la protection de l'environnement en milieu agricole. L'évaluation intermédiaire « Objectifs environnementaux pour l'agriculture » 2016 a notamment montré clairement des déficits et la nécessité d'autres mesures pour une utilisation des sols respectueuse. A cet égard, l'outil de monitoring des sols représente un instrument applicable dans la pratique permettant de proposer des solutions spécifiques aux régions, ce avant tout pour l'aspect chimique de la protection du sol.

Recommandations

Nous recommandons l'utilisation de l'outil régional de monitoring des sols pour l'analyse d'autres régions en collaboration avec les services cantonaux compétents en matière d'agriculture et de sol. Les régions doivent être sélectionnées selon les exigences desdits services et les résultats analysés en commun. L'application de l'outil pour une région choisie se déroule en principe en deux phases (voir ci-dessous), qui peuvent être menées relativement rapidement. Les résultats peuvent être approfondis au cours d'une troisième phase facultative, s'agissant du système « sol » et des fonctions du sol, ce qui nécessite toutefois un investissement plus conséquent, avec le traitement des données pédologiques dans le modèle EPIC. Nous recommandons également, pour une application efficace de l'outil de monitoring, d'améliorer la disponibilité partielle de certaines données sur l'utilisation agricole des sols, en mettant aussi à la disposition de la recherche les données cantonales géo-référencées.

Phases d'application

1. Mise en œuvre du modèle pour la région, et identification des zones à risque de flux conséquent de substances

Le modèle contient les données de base pour toute la Suisse. Pour la région choisie, on recherche si d'autres données spécifiques à la région existent concernant l'agriculture et le sol. L'utilisation actuelle des surfaces (grandes cultures / herbages) dans la région est relevée par télédétection. On peut aussi utiliser la statistique de la superficie. Le modèle génère les cartes des bilans simplifiés des nutriments et des polluants (bilans superficiels). Des indicateurs pertinents sont calculés afin de donner une image générale des cycles de l'azote, du phosphate et des métaux lourds.

2. Scénarios modélisés : mesures recommandées

Au cours de la phase 2, la question centrale est de savoir dans quelles conditions l'agriculture peut optimiser les cycles des substances et éviter l'apport de polluants dans les sols au niveau régional. A l'aide de scénarios modélisés, l'efficacité des mesures applicables peut être évaluée et des recommandations formulées. Par exemple, une meilleure répartition des engrais de ferme peut-elle contribuer à réduire les intrants minéraux phosphatés et les excédents d'azote? Ou quelle est la quantité de métaux lourds qui s'infiltrer à moyen et long terme dans le sol via les additifs alimentaires donnés aux animaux, ou par une compensation d'engrais minéraux phosphatés par des engrais phosphatés de recyclage ?

3. Qualité et fonctions des sols (facultatif)

Si les deux premières phases se concentrent sur le système « agriculture », ce sont les propriétés, les processus et les fonctions des sols qui sont au premier plan pendant la phase 3. A cet effet, les informations disponibles pour la région choisie (profils de sols, cartes des sols) et les données climatiques doivent être intégrées à EPIC, et lorsque c'est possible, chaque paramètre du modèle doit être calibré avec des données indépendantes issues de la région. Par rapport à la phase 2, des scénarios de modélisation élargis tenant compte des processus du sol peuvent être appliqués. On peut par exemple contrôler quelles sont les conséquences des plans de fumure dans la région lorsque les taux d'éléments nutritifs présents dans les sols ont été pris en compte dans la planification, ou on peut constater de possibles effets négatifs sur l'environnement dans d'autres domaines en cas d'apport excessif de nutriments et de pesticides. On peut par ailleurs montrer, en utilisant les données pédologiques et à l'aide de différentes fonctions partielles du sol, quelles prestations sont fournies par les sols pour réguler l'eau, les nutriments et les polluants, ainsi que pour la production d'aliments. Ces résultats peuvent être confrontés aux cycles actuels des substances. Pour compléter les scénarios de la phase 2, il est ainsi possible de décrire la situation et de formuler des recommandations concernant l'exploitation agricole actuelle en rapport avec le potentiel des sols. Les recommandations visent donc à conserver les fonctions du sol le plus longtemps possible, et à les améliorer grâce à une exploitation appropriée.