



Résumé analytique à l'intention des groupes cibles

N° de projet : 40FA40_154247

Titre du projet : COMET-Global : comptabilité des émissions de gaz à effet de serre

Chef de projet : Prof. Johan Six, EPF Zurich

Contributions aux synthèses thématiques :

| | | | | |
|---|--|--|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Sol et production alimentaire | <input checked="" type="checkbox"/> Sol et environnement | <input type="checkbox"/> Développement territorial | <input checked="" type="checkbox"/> Données relatives au sol, méthodes et instruments | <input type="checkbox"/> Politique du sol |
|---|--|--|---|---|

Lieu/date : Zurich, le 31 mai 2017

Contexte

L'augmentation de la teneur en gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, en particulier en dioxyde de carbone (CO₂), en oxyde nitreux (N₂O) et en méthane (CH₄), et leurs conséquences sur le climat déclenchent une inquiétude d'ordre planétaire. Entre 1970 et 2010, les avancées technologiques ont entraîné une intensification de l'agriculture et un doublement des récoltes, mais aussi de graves problèmes environnementaux. L'exploitation agricole a provoqué une perte unique historique de 50 Gt (1 gigatonne = 1 000 000 000 tonnes) de carbone organique du sol sous la forme de CO₂. Dans de nombreuses régions cultivées, la teneur en carbone des sols continue de reculer en raison de l'agriculture intensive et du changement climatique. La gestion du sol et du fumier, la fermentation entérique de la digestion animale, la combustion de la biomasse et la riziculture sont à présent les plus grandes sources anthropogènes de N₂O et de CH₄. L'importance de ces sources d'émission diffère selon la région. En 2010, l'agriculture a causé entre 5,0 et 5,8 Gt d'équivalents CO₂ par an, c'est-à-dire 10 à 12 % des émissions anthropogènes totales de GES. En outre, l'agriculture et la sylviculture ont contribué à la consommation mondiale d'énergie à hauteur de 2 % environ. L'empreinte écologique de l'agriculture pourrait diminuer considérablement si les ressources étaient utilisées de façon plus efficace et plus durable. En particulier dans les zones à production végétale, il est intéressant d'utiliser des pratiques agricoles qui augmentent les stocks de substances organiques dans le sol tout en limitant la dégradation de nutriments essentiels ainsi que les émissions de GES par le sol.

Les chercheurs ont proposé une série de systèmes de culture possibles qui peuvent contribuer à réduire sensiblement les émissions de GES par les sols. Citons par exemple le recours plus efficace aux engrais, l'agriculture biologique, un travail du sol moins intensif ou sa suppression complète, l'abandon des résidus sur les champs, la plantation de couverture du sol pour l'hiver (engrais vert) ou des améliorations de l'utilisation de l'eau dans les rizicultures. Le potentiel biophysique de ces mesures pour enrayer le processus de dégradation et ainsi favoriser la réduction des émissions doit être évalué pour les différents systèmes agricoles dans des conditions pédologiques et climatiques spécifiques et à la lumière de méthodes de culture et d'agriculture historiquement marquantes.

Les modèles d'écosystèmes basés sur des processus biogéochimiques se révèlent des outils optimaux lorsqu'il s'agit de quantifier les incidences des systèmes agricoles sur les émissions de GES dans des contextes spatio-temporels d'ampleur variée. Récemment, de tels modèles ainsi que des instruments d'aide à la décision intégrés et complets ont été mis en œuvre afin d'identifier et d'évaluer des approches pérennes visant à réduire les émissions de GES, tout en établissant leur faisabilité dans le secteur agricole sous l'angle biologique et économique. En outre, ils ont mis en avant l'application de mesures favorisant la diminution des émissions de GES dans l'agriculture, qui jouent un rôle primordial dans le cadre des stratégies régionales et nationales en matière de changement climatique.

Il est indispensable de pouvoir se référer à des études fiables et facilement accessibles concernant l'impact de différents systèmes agricoles et modes d'utilisation des sols sur l'activité d'émission de GES pour mettre en œuvre avec succès des stratégies de réduction des GES dans l'agriculture. Il convient par ailleurs de satisfaire au besoin d'information là où des décisions sont effectivement prises quant aux plantations, c'est-à-dire pour chaque champ individuel. Les systèmes d'information et d'aide à la décision devraient donc réunir les propriétés suivantes : 1) facilement et universellement consultables, 2) utilisables par les profanes, 3) actuels au niveau technologique et 4) aisément adaptables à plus grande échelle.

Objectif

L'objectif du projet COMET-Global était de développer et d'introduire un instrument convivial et à la pointe de la modernité permettant d'établir une comptabilité exhaustive sur les émissions de gaz à effet de serre au sein de chaque unité opérationnelle (par exemple ferme, exploitation d'animaux de rente, etc.) dans les différents États partenaires, y compris plusieurs pays de l'UE, les États-Unis et l'Australie.

L'instrument COMET-Global s'inspire d'un instrument préexistant relatif aux GES, basé intégralement sur Internet et valable sur l'ensemble de l'exploitation, développé sous le nom de « COMET-Farm » pour une mise en œuvre aux États-Unis (<http://cometfarm.nrel.colostate.edu>). COMET-Farm quantifie à l'échelle d'une exploitation individuelle toutes les catégories importantes de sources et de puits de GES, en tenant compte de la totalité du CO₂, N₂O et CH₄ provenant du sol, du CH₄ entérique du bétail, du CH₄ et N₂O découlant de la gestion du fumier et du CO₂ issu de la consommation d'énergie de l'exploitation. COMET-Farm est doté d'une interface spatiale étendue qui simplifie l'intégration de diverses banques de données en divers lieux, de données de gestion spécifiques au site saisies par les utilisateurs et d'un ensemble de modèles servant à évaluer les sources et puits de GES. Parmi ces modèles figure notamment un modèle DayCent largement répandu et fondé sur des processus permettant de quantifier les émissions de GES par le sol. Il existe aussi de nombreux modèles axés sur les émissions qui s'appuient sur des données empiriques pour d'autres catégories de sources de GES agricoles.

En contribuant au projet COMET-Global, l'EFPZ entendait atteindre les objectifs suivants :

- a) collecte de séries de données expérimentales à long terme issues de la Suisse, assorties de mesures chronologiques des rendements des récoltes, de la teneur en carbone dans les sols et des émissions de GES par le sol – des facteurs d'exploitation (engrais, espèces des plantes cultivées, travail du sol, utilisation de fumier, etc.) ont été employés pour le paramétrage des modèles et pour l'évaluation ;
- b) paramétrage du modèle DayCent pour plantes utiles courantes et systèmes agricoles à l'aide de données empiriques à long terme dans diverses conditions climatiques et pédologiques sur quatre sites expérimentaux en Suisse ainsi qu'évaluation des possibilités offertes par le modèle en matière de prévision de la productivité des cultures sur la durée, de la dynamique du carbone du sol et des émissions de N₂O par le sol dans différents systèmes agricoles suisses ;
- c) recueil et configuration de séries de données géographiques pour l'ensemble de la Suisse en guise de variables principales pour le modèle DayCent dans le cadre de l'instrument COMET-Global ;
- d) collecte de facteurs et de paramètres d'émissions standard et suisses concernant des sources d'émissions de GES autres que celles liées aux sols pour une utilisation de COMET-Global « sur mesure » en fonction de chaque pays ;
- e) recensement/catégorisation de pratiques d'exploitation des terres en Suisse pour mettre à disposition des possibilités pertinentes de gestion dans l'instrument COMET-Global ;
- f) analyse des conséquences à long terme de méthodes d'exploitation et évaluation de la combinaison de ces méthodes pour ce qui est des émissions de GES de surfaces agricoles suisses à une échelle régionale, nationale et selon l'emplacement.

Résultats

Les données empiriques sont le fruit de quatre expériences de terrain réalisées en Suisse sur une période étendue : à Therwil (essai DOK dédié aux systèmes de culture ; 1977-2013), à Frick (essai consacré à l'agriculture biologique ; 2002-2013), à Changins (essai portant sur le travail du sol P29C, 1969-2013) et à Reckenholz (essai FAST ; 2009-2013). Ces essais à long terme ont servi à évaluer divers systèmes de culture et méthodes de gestion du sol. Le nombre de champs étudiés, la structure et la durée des expériences ont permis d'obtenir un solide ensemble de données sur lequel reposent le paramétrage et l'évaluation du modèle DayCent, compte tenu d'une série de méthodes de culture et au regard de diverses conditions climatiques et pédologiques en Suisse. Les paramètres du modèle DayCent se rapportent aux principales cultures présentes sur le territoire helvétique. La validité du modèle a été évaluée au niveau de chaque site en matière de prévision des récoltes, de carbone disponible dans le sol, d'émissions de N₂O par le sol et d'azote minéral dans le cadre de différents systèmes d'apport et de travail du sol. En outre, la productivité modélisée des cultures individuelles a été comparée aux données de récolte régionales et nationales de l'Office fédéral de la statistique.

Suite au paramétrage de DayCent et à l'évaluation, le modèle a été mis en œuvre au niveau de chaque site et à l'échelon régional en vue de l'analyse de l'impact à long terme de différentes méthodes de culture (utilisées à titre individuel ou en association) et des conséquences sur les émissions de GES par le sol. La mise en œuvre du modèle sur chaque site a servi à évaluer de nombreuses méthodes de culture individuelles et combinées au cours de leur application dans le cadre d'essais menés en Suisse sur le long terme. La mise en œuvre à l'échelon régional a quant à elle permis d'évaluer des combinaisons spécifiques de méthodes de culture dans un contexte plus vaste. Toutes les combinaisons de rotations des cultures, de conditions climatiques et de types de sols, aux quatre coins de la Suisse, ont été mises au banc d'essai.

Au plan régional, les méthodes de culture suivantes et leurs combinaisons ont été évaluées : fertilisation organique, travail du sol réduit et culture de légumineuses d'hiver comme couverture de sol et engrais vert. Des systèmes impliquant un engrais minéral typique spécifique à la culture, d'une part, et un travail conventionnel du sol sans couverture de sol, d'autre part, ont fait office de base de comparaison. Deux possibilités d'apport de substances organiques ont été employées : a) litière ou fumier présentant une capacité élevée de dégradation ; b) matériel organique partiellement décomposé (par exemple compost). S'agissant de la mise en place de modèles régionaux, des séries de données géographiques relatives à la culture et au sol (European Soil Database) ainsi que des données climatiques quotidiennes (MétéoSuisse) ont été collectées sous l'angle de l'agriculture suisse. Pour les années 1991 à 2013, des simulations de type raster (résolution 2,2 km) ont été effectuées et agrégées à l'échelle régionale. Enfin, les modifications des émissions de GES par le sol et de la productivité des cultures individuelles ont été établies à l'aide de méthodes ad hoc.

Modélisation des résultats au niveau régional

La gestion et le travail conventionnels des sols ont généré des émissions nettes de GES qui ont été estimées sur plusieurs cantons et années à $1,59 \pm 1,25$ (moyenne \pm écart type) mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an. Au fil du temps, une tendance significative à la diminution du carbone dans le sol s'est manifestée dans une proportion de près de 0,24 mg de carbone par hectare et par an. Les émissions moyennes de N₂O du sol oscillaient entre 1,42 et 2,13 kg d'azote par hectare et

par année. La teneur décroissante en monoxyde de carbone et en oxyde nitreux (N₂O) dans le sol est considérée comme une source déterminante pour les émissions nettes de GES par le sol. Le monoxyde de carbone et l'oxyde nitreux contribuent au potentiel global d'effet de serre à hauteur de 56 % et de 44 % respectivement.

- L'utilisation de litière ou de fumier présentant une capacité élevée de dégradation ainsi que d'engrais organiques partiellement compostés a occasionné une réduction des émissions de GES de $0,34 \pm 0,38$ et de $1,10 \pm 1,16$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an, en comparaison avec des sols cultivés de manière conventionnelle. Les émissions plus faibles sont dues en premier lieu à l'accroissement de la teneur en carbone du sol de 104 ± 92 et 259 ± 314 kg de carbone par hectare et par an. Grâce à l'apport d'engrais organique hautement dégradables, les récoltes ont augmenté jusqu'à 28,7 % par rapport aux récoltes obtenues de façon conventionnelle. Dans le cas des compléments organiques partiellement décomposés, les récoltes des cultures individuelles ont au contraire diminué de 5,4 jusqu'à 43,2 %.
- L'utilisation d'engrais organique combinée à un travail moins intensif du sol s'est finalement traduite par une hausse du carbone dans le sol. Associé à des substances organiques partiellement dégradées et à une réduction du travail du sol, l'engrais enregistre le plus fort potentiel de réduction de N₂O. Cependant, les variations des récoltes ont eu tendance à être davantage marquées. Cela s'explique par l'apparition d'interactions négatives avec la réduction du travail du sol.
- La combinaison d'un engrais organique et de la culture de légumineuses d'hiver comme engrais vert a conduit à un gain moyen plus faible de carbone dans le sol (36 kg de carbone par hectare et par année). Le potentiel de réduction d'émissions de N₂O s'est également révélé limité. L'emploi d'engrais organiques hautement dégradables avec ou sans engrais vert a engendré une augmentation des émissions de N₂O du sol en comparaison à des méthodes de culture conventionnelles. Par ailleurs, cette combinaison de méthodes de culture s'est traduite par le plus fort accroissement des récoltes (quelque 38,0 %) par rapport aux récoltes obtenues de manière conventionnelle. Après comparaison, il s'est avéré que la baisse de rendement due à l'utilisation exclusive d'engrais organiques partiellement compostés pouvait être compensée en ayant recours à de l'engrais vert.
- L'introduction d'un engrais organique en combinaison avec un travail du sol plus restreint et l'utilisation d'engrais vert a donné lieu à une hausse de la teneur moyenne en carbone du sol allant jusqu'à 433 kg de carbone par hectare et par an. L'association d'engrais organique hautement dégradables, d'engrais vert et d'un travail du sol moins intense a cependant engendré une augmentation des émissions de N₂O du sol s'élevant à 0,16 kg par hectare. En comparaison avec des méthodes conventionnelles, la combinaison d'engrais avec de l'engrais organique partiellement composté et de l'engrais vert, alliée à un travail du sol moins intense, présentait le potentiel de réduction de GES le plus important (1,77 mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an), compensant ainsi la majeure partie des émissions de GES par le sol. Par conséquent, les sols concernés ont retrouvé leur neutralité en termes d'émissions de GES, voire constituent des puits à GES.

Contrairement aux modifications en carbone du sol de l'ordre de 83 à 100 %, les changements en matière d'émissions de N₂O ont eu peu de répercussions sur les émissions nettes de GES en cas de gestion alternative des sols. Il semblerait toutefois que la forte variabilité spatiale des émissions de N₂O ait été source d'incertitude en ce qui concerne les émissions nettes de GES par le sol.

Modélisation des résultats au niveau des sites

- Comparé à la gestion conventionnelle, un traitement du sol moins intense sur le site de Changins a limité la perte en carbone à long terme et, partant, les émissions de CO₂ (jusqu'à 50 %). Cette réduction n'a cependant pas été significative. La suppression du travail du sol sur le site de Reckenholz a entraîné une baisse sensible des émissions de CO₂ à long terme (76 %). Un renoncement partiel au travail du sol a en outre réduit les émissions de N₂O à long terme de 11 % (22 % en cas de renoncement complet). En l'espace de 30 ans, cela s'est traduit par un recul des émissions nettes de GES à hauteur, respectivement, de 31 % (renoncement partiel) et de 58 % (suppression du travail du sol). Les récoltes ont accusé un recul de 5 % du fait de ces méthodes.
- L'engrais vert n'a pas donné lieu à une réduction significative à long terme des émissions de CO₂. Sur le site de Reckenholz, les émissions de CO₂ issues du sol ont cependant eu tendance à diminuer de façon occasionnelle. Une réduction de CO₂ de 35 % a été atteinte avec un engrais vert et un labourage conventionnel. L'engrais vert n'a pas suscité d'effet supplémentaire sur les émissions de CO₂ dans le cas d'une suppression du travail du sol. Un mélange d'engrais vert composé de moutarde et de prairie mellifère (*Phacelia*) a conduit à une réduction de CO₂ allant jusqu'à 15 % lors de labourages conventionnels. En l'absence de labourages, l'engrais vert a augmenté les émissions de CO₂ de 12 %. Le renoncement à un travail du sol entraîne potentiellement une incorporation ralentie de résidus depuis la surface jusque dans le sol. Les émissions de N₂O ne se sont pas modifiées à long terme dans le cas d'un engrais vert alliant moutarde et prairie mellifère. Les engrais verts produisent nettement plus d'émissions de N₂O (+ 10 %). La cause de cette hausse pourrait résider dans l'apport additionnel d'azote en raison de la fixation biologique de ce dernier. La culture de plantes couvre-sols n'a pas conduit à une réduction significative des émissions nettes de GES par le sol. À l'inverse, une baisse tendancielle de ces émissions a été enregistrée lors de l'utilisation d'engrais vert. Ce résultat semble indiquer que la fixation biologique de l'azote contribue au potentiel de réduction des plantes couvre-sols. Globalement, les plantes couvre-sols ont permis d'accroître les récoltes.

Il n'y a pas eu de recoupement entre toutes les possibilités de réduction des émissions de GES et les récoltes modélisées pour les sites expérimentaux. L'agriculture biologique, surtout en combinaison avec un travail du sol moins intensif, a sensiblement diminué les émissions de GES, phénomène cependant accompagné de récoltes moindres. En revanche, le compostage d'engrais organiques, la réduction du travail du sol et la suppression de ce dernier ont occasionné une réduction effective des émissions nettes de GES par le sol sans pour autant nuire de manière significative aux récoltes (recul de 5 % au maximum).

Signification pour la recherche

Les modèles d'écosystèmes basés sur des processus sont des instruments efficaces et solides permettant de pallier l'absence de données. Ils facilitent également la compréhension et la quantification des répercussions de modifications des systèmes de culture sur les émissions de GES par le sol. Ces modèles peuvent en outre être utilisés à des fins d'identification et d'évaluation des effets à long terme et des avantages de certaines possibilités de réduction de GES, venant ainsi soutenir les stratégies de lutte contre le changement climatique. Modèle dominant impliquant un

couplage sol-plantes, DayCent a fréquemment été mis à profit pour simuler les conséquences à long terme sur l'écosystème de modifications des méthodes de culture et d'évolutions du climat aux États-Unis. Jusqu'à présent, ce modèle a néanmoins été peu appliqué aux systèmes de culture européens. Dans le cadre du projet COMET-Global, le modèle a été assorti de paramètres pour de nouvelles cultures et pratiques agricoles. Des évaluations ont été effectuées en Suisse sur la base de diverses pratiques de culture et conditions climatiques et pédologiques. Le paramétrage robuste pourrait bénéficier à d'autres études de modélisation DayCent présentant des conditions climatiques et pédologiques comparables et générer des opportunités de mise en œuvre élargies en matière de réduction de GES dans l'agriculture, ce qui aurait aussi des retombées sur les stratégies relatives au changement climatique et sur les politiques environnementales.

Des analyses antérieures de systèmes de culture en Suisse étaient conçues pour examiner les incidences de diverses pratiques de culture sur les performances agronomiques ainsi que la teneur en carbone et la fertilité du sol. Les effets à long terme de ces pratiques sur les émissions de GES par le sol sont pour l'heure relativement inconnus. Il en va de même pour le potentiel d'influence biophysique des pratiques susmentionnées sur les émissions de GES liées à des sols utilisés à des fins agricoles en cas d'introduction au plan régional. Le projet COMET-Global comble ces lacunes de recherche en identifiant et en quantifiant les potentiels de réduction de GES suscités par une mise en place à long terme de nombreuses pratiques de culture différentes au niveau régional et à l'échelle de chaque site. Le projet a permis de mieux comprendre les répercussions des pratiques de culture sur les émissions de GES par le sol dans des contextes géographiques et temporels plus larges. Les enseignements dégagés des analyses COMET-Global peuvent faire office d'orientations pour la conception d'études futures sur les GES dans des conditions de terrain.

Le projet COMET-Global est étroitement lié au projet Climate-CAFE (adaptation au changement climatique : possibilités quant aux systèmes de culture et de production en Europe). Les deux équipes de projet ont tiré parti des mêmes séries de données suisses provenant d'essais à long terme et des mêmes ensembles de données climatiques et pédologiques. Alors que le projet COMET-Global consistait à évaluer en Suisse le potentiel biophysique de réduction des émissions de GES issues de sols exploités à des fins agricoles (pratiques de culture et combinaisons de celles-ci), le projet Climate CAFE visait quant à lui à examiner le potentiel biophysique des pratiques de culture en vue de l'adaptation au changement climatique selon les scénarios RCP 4.5 et 8.5. Les efforts communs consentis afin d'étudier la durabilité de systèmes de culture suisses ont offert une bonne occasion de comprendre et de quantifier les conséquences de pratiques de culture en matière d'émissions de GES par le sol ainsi que de récoltes au niveau des sites et des régions.

Des publications scientifiques résultant du projet COMET-Global sont en cours de préparation.

Signification pratique

L'équipe de projet COMET-Global s'est penchée sur les conséquences à long terme de méthodes de culture et de la combinaison de celles-ci sur les émissions de GES par des sols utilisés dans le cadre de l'agriculture suisse, ce sur différents sites et dans diverses régions. Les résultats des modélisations fournissent des estimations quant au potentiel de réduction de GES qu'offrent de nombreuses pratiques de culture.

Le potentiel de réduction des méthodes de culture individuelles, analysées pour toutes les combinaisons de rotations de cultures, de types de climat et de sols en Suisse (autrement dit au plan régional), se présente comme suit, par ordre décroissant :

- a) mise en œuvre d'engrais organiques partiellement compostés combinés à un travail du sol moins intensif et à la culture de légumineuses d'hiver comme couverture de sol et engrais vert ($1,77 \pm 0,24$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ;
- b) mise en œuvre d'engrais organiques partiellement compostés en combinaison avec un travail du sol moins intensif sans culture de plantes couvre-sols et engrais vert ($1,66 \pm 0,24$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ;
- c) mise en œuvre d'engrais organiques partiellement compostés combinés à un travail du sol conventionnel et à la culture de légumineuses d'hiver comme couverture de sol et engrais vert ($1,19 \pm 0,24$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ;
- d) mise en œuvre d'engrais organiques partiellement compostés combinés à un travail du sol conventionnel sans culture de plantes couvre-sols et engrais vert ($1,11 \pm 0,17$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ;
- e) mise en œuvre de litière ou de fumier hautement dégradable en combinaison avec un travail du sol moins intensif et la culture de légumineuses d'hiver comme couverture de sol et engrais vert ($0,92 \pm 0,23$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an).

La simple culture de légumineuses d'hiver comme couverture de sol et engrais vert présentait le plus faible potentiel de réduction ($0,07 \pm 0,05$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an), les chiffres enregistrés étant inférieurs à ceux obtenus via la méthode se limitant à de la litière ou du fumier hautement dégradable ($0,34 \pm 0,10$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ou encore à la stricte diminution de l'intensité du travail du sol ($0,42 \pm 0,15$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an).

Voici les estimations du potentiel de réduction de pratiques de culture analysées exclusivement au niveau de chaque site ayant fait l'objet d'un essai à long terme :

- a) fumure au purin combinée à un travail du sol moins intensif et mélange de prairie mellifère/moutarde ou légumineuses d'hiver comme couverture de sol et engrais vert sur le site de Reckenholz (de $1,67 \pm 0,28$ à $2,00 \pm 0,28$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an, selon le type de plantes couvre-sols) ;
- b) fumure au purin combinée à un travail du sol conventionnel et mélange de prairie mellifère/moutarde ou légumineuses d'hiver en tant que couverture de sol et engrais vert sur le site de Reckenholz (de $0,56 \pm 0,28$ à $0,74 \pm 0,28$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an, selon le type de plantes couvre-sols) ;
- c) fumure au purin combinée à un travail du sol moins intensif sans culture de plantes couvre-sols et engrais vert sur le site de Reckenholz ($1,78 \pm 0,28$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ;
- d) suppression du travail du sol par rapport à un travail du sol conventionnel sur le site de Reckenholz ($0,8 \pm 0,28$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an) ;
- e) utilisation de motoculteurs par rapport à un travail du sol conventionnel sur le site de Changins (de $0,37 \pm 0,30$ à $0,56 \pm 0,30$ mg d'équivalent CO₂ par hectare et par an, selon la structure du sol) ;

- f) utilisation de socs d'ameublissement ou de cultivateurs par rapport à un travail du sol conventionnel sur le site de Changins (de $0,11 \pm 0,30$ à $0,26 \pm 0,30$ mg d'équivalent CO_2 par hectare et par an, selon la structure du sol).

En plus des estimations des potentiels de réduction de GES des différentes pratiques de culture, les résultats ont également fourni des pistes quant aux répercussions desdites pratiques sur les récoltes. Ces indications abondent potentiellement dans le sens de pratiques de culture entraînant une réduction effective des émissions de GES, sans porter atteinte aux récoltes.

Les résultats du projet COMET-Global revêtent un caractère significatif pour les agriculteurs, les autres exploitants agricoles, les spécialistes du domaine agricole et les décideurs. En outre, les estimations relatives aux GES représentent pour les régions individuelles des informations concernant les risques à l'attention des politiciens et des décideurs, qui leur permettent d'établir un budget relatif aux émissions fondé sur des processus et de fixer des objectifs réalistes pour réduire les émissions de GES. Elles ont ainsi un impact sur les stratégies régionales et nationales en matière de changement climatique et sur les politiques environnementales suisses.

L'instrument COMET-Global est basé sur le web, gratuit et accessible par le biais de n'importe quelle connexion Internet. Parmi ses caractéristiques essentielles figurent notamment les points ci-après.

1) Utilisation de méthodes modernes, capacité d'intégration de modèles basés sur des processus et évalués selon des critères solides pour estimer la teneur en carbone du sol et les émissions de GES par le sol (par exemple DayCent, ECOSSE, RothC). Actuellement, le système sert uniquement d'hôte pour le modèle d'écosystème biogéochimique DayCent. Les modèles sont exploités en temps réel et offrent une résolution spatiale élevée. Ils mettent à profit des données spécifiques à chaque site relatives aux propriétés du sol, au climat et à l'utilisation des terres ainsi qu'aux pratiques de culture. Les capacités dynamiques de modélisation des émissions de GES par le sol et de la dégradation des GES peuvent fournir des estimations des émissions potentiellement plus précises et pertinentes sur le plan local et illustrer les effets d'interactions spécifiques au terrain de variables environnementales et agricoles. Grâce à l'interface spatiale, les utilisateurs peuvent accéder à de nombreuses banques de données réparties géographiquement, lesquelles comportent des informations permettant de calculer les GES sur des sites particuliers. Les utilisateurs peuvent ainsi visualiser les sites d'où proviennent les estimations. Les banques de données européennes concernant les sols (y compris leur utilisation), le climat et l'agriculture faisant office de standards dans le système, COMET-Global peut également être utilisé par des États non partenaires au sein de l'UE, les résultats étant toutefois moins spécifiques.

2) Flexibilité permettant aux utilisateurs de sélectionner le cas échéant les dernières stratégies en matière de GES spécifiques aux pays, les procédures comptables, les facteurs d'émission et les paramètres relatifs aux émissions de GES issues d'autres sources que le sol, tout en garantissant un ensemble homogène de méthodes et de normes pour tous les pays.

3) Conception conviviale permettant au gestionnaire et à d'autres groupes de personnes d'utiliser le système dans leur propre langue sans devoir acquérir des connaissances spécialisées relatives à l'évolution des émissions de GES.

4) Possibilité de calculer des estimations d'incertitude sur une base statistique à l'aide de méthodes robustes et sophistiquées. L'instrument joue donc un rôle crucial dans l'analyse des résultats de mesures de réduction de GES dans le cadre d'approches politiques ou de programmes d'incitation.

L'interface utilisateur est disponible en plusieurs langues (anglais, français, espagnol, allemand et italien) afin de faciliter autant que possible son utilisation par la communauté multinationale.

L'instrument COMET-Global offre donc une méthodologie améliorée pour une évaluation intégrale des émissions de GES liées à des ressources agricoles et permet aux agriculteurs et aux décideurs d'étudier les mesures de réduction des GES au niveau de chaque exploitation individuelle, sans acquisition préalable de connaissances spécialisées concernant l'évolution des émissions de GES. Le prototype de l'instrument est actuellement fonctionnel. Nous sommes cependant à la recherche d'autres moyens d'hébergement du système sur un site Internet accessible au public et de sources de financement de serveurs en ligne ainsi que d'un service minimum de maintenance et de support utilisateur.

Recommandations

Nous recommandons l'utilisation de l'instrument COMET-Global à l'ensemble des parties prenantes des différents pays partenaires, de manière à opérer une saisie intégrale des GES au niveau de l'exploitation individuelle avant chaque mise en place de modifications de l'utilisation des sols ou de la culture.

Les résultats des modélisations tendent à montrer que la plupart des pratiques de culture évaluées peuvent contribuer à la réduction des émissions nettes de GES sur les sols suisses exploités à des fins agricoles. Cette contribution n'est cependant pas permanente et se rapporte avant tout au développement de la teneur en carbone du sol. L'enjeu consiste donc à réduire de façon plus durable les émissions de GES par le sol grâce à la combinaison de pratiques alternatives et de rotations complexes des cultures tout en restreignant autant que possible les mauvaises récoltes.

Les pratiques de culture ci-après se sont révélées efficaces en matière de réduction substantielle des émissions nettes de GES par le sol, mais ont cependant provoqué une diminution de la production globale : utilisation d'engrais organiques partiellement compostés, en particulier lorsque le travail du sol a parallèlement été effectué de façon moins intensive. Le compostage d'engrais organiques, la limitation et la suppression du travail du sol ont en revanche entraîné une réduction effective des émissions nettes de GES par le sol sans compromettre les récoltes de manière notable (pertes ne dépassant pas 5 %).

Comme chacun le sait, les estimations basées sur des modèles sont empreintes d'incertitudes. Les principales sources d'incertitudes au sein du modèle tiennent à sa structure, au paramétrage et aux données d'entrée (par exemple taux de fertilisation azotée, choix du moment des mesures de culture, propriétés du sol, données climatiques, etc.). L'incertitude causée par des paramètres de modèle ou des données d'entrée peut être estimée à l'aide de la méthode dite de Monte-Carlo, tandis que l'incertitude découlant de la structure globale du modèle (équations dans le modèle permettant l'illustration de processus dans le monde réel) ainsi que du paramétrage et des valeurs initiales lacunaires peut être estimée à l'appui de modèles empiriques, lesquels quantifient l'écart des pronostics basés sur un modèle vis-à-vis d'observations indépendantes. Dans le cadre du projet COMET-Global, il n'a encore été procédé à aucune évaluation des répercussions des incertitudes afférentes à certaines composantes de modèles sur les besoins de clarification des résultats qui en dérivent. Des travaux supplémentaires sont nécessaires afin d'isoler les conséquences de sources d'incertitudes centrales sur les émissions modélisées de GES par le sol et sur les récoltes au niveau des sites et des régions.

Certaines pratiques de culture (telles que le recours à diverses plantes couvre-sols, l'intensité du travail du sol, la diminution de l'utilisation d'engrais) ont été uniquement analysées sur des sites d'expérimentation définis et exclusivement de façon spécifique au lieu. Elles ne sont dès lors pas représentatives de l'ensemble des conditions climatiques et pédologiques qui caractérisent la Suisse. La culture n'étant pas le seul élément déterminant en matière d'émissions de GES par le sol – les conditions climatiques et pédologiques revêtent elles aussi un caractère essentiel – des analyses complémentaires devraient être entreprises pour mesurer l'ampleur potentielle de l'effet de réduction de ces pratiques de culture et de leurs combinaisons au plan régional, dans le cadre de conditions climatiques et pédologiques variées.

Il est probable que certaines pratiques de culture présentent un potentiel important de réduction d'émissions de GES par des sols agricoles en Suisse, alors qu'elles entraînent des émissions accrues de GES en dehors du site (par exemple compostage ou engrais organiques). Des études futures devraient donc cibler une évaluation plus complète des méthodes de culture suisses sur le plan des GES et intégrer l'ensemble des autres émissions en lien avec la production d'engrais, la consommation d'énergie, l'entreposage de fumier, le compostage et le bétail.