



## Résumé analytique à l'intention des groupes cibles

Numéro de projet

406840\_143060

Titre:

Entrées de carbone dans le sol par les cultures

Responsable du projet

Jochen Mayer, Agroscope

Autres responsables  
du projet

Jens Leifeld, Agroscope  
Samuel Abiven, Université de Zurich  
Andreas Hund, ETH Zurich

Contribution(s) to thematic synthesis:

<input checked="" type="checkbox"/> Soils and Food Production	<input checked="" type="checkbox"/> Soils and Environment	<input type="checkbox"/> Spatial Development	<input type="checkbox"/> Soil Data, Methods and Tools	<input type="checkbox"/> Soil Governance
--	--	---	--	---

Place, date: New Delhi, 14.11.2017

## Contexte

La matière organique du sol est le principal facteur déterminant la productivité et les services écosystémiques des sols agricoles tels que la fertilité, le potentiel de récupération de l'eau et des éléments nutritifs, la qualité de l'eau et la résistance à l'érosion. Elle constitue la base vitale des plantes, des animaux et des micro-organismes terrestres. En fixant le CO<sub>2</sub>, elle représente le plus grand réservoir terrestre de carbone et joue donc un rôle central dans la régulation du climat global. Maintenir ou multiplier la substance organique grâce au carbone entrant dans le sol par les cultures est un objectif majeur des stratégies de protection des sols mises en œuvre dans l'agriculture. Néanmoins, on ignore encore dans quelle mesure ces entrées peuvent être influencées par les différentes formes d'exploitation, les espèces et variétés de plantes et les conditions climatiques futures.

## But

Le projet PNR 68 ENTRÉES DE CARBONE visait à quantifier les entrées de carbone dues aux racines et à leurs rejets (rhizodéposition) dans les cultures, en tant que principal paramètre influant sur la formation de matière organique. Il s'agissait en outre de déterminer dans quelle mesure les modes d'exploitation agricole, les facteurs génétiques et les périodes de sécheresse influent sur ces entrées.

Pour ce faire, les scientifiques ont réalisé des études sur le terrain et en laboratoire, dans le but d'analyser l'évolution du cycle du carbone provenant des racines à différentes profondeurs de sol. Les résultats obtenus servent à contrôler et, le cas échéant, à améliorer les variables d'entrée importantes des modèles de carbone du sol, lesquels sont employées pour l'inventaire suisse des gaz à effet de serre ainsi qu'en relation avec les indicateurs agro-environnementaux. En outre, ces résultats doivent servir de base pour les instruments utilisés par les services de conseil et les agriculteurs afin d'établir les bilans carboniques et les analyses du cycle de vie.

## Résultats

### **L'intensité d'exploitation influe beaucoup plus sur le carbone de surface que sur le carbone souterrain**

L'exploitation agricole intensive, en particulier la fertilisation, a une grosse influence sur le rapport et sur la quantité de carbone en surface. En revanche, elle n'influe que dans une faible mesure sur les entrées de carbone par les racines des plantes et par la rhizodéposition du maïs et du blé. La rhizodéposition constitue entre la moitié et les deux tiers des entrées souterraines de carbone et s'avère donc plus importantes que les entrées de carbone par les racines (carbone racinaire structurel). C'est ce que révèlent les résultats de deux essais longue durée en Suisse, à savoir l'essai DOK à Therwil et l'essai ZOFÉ à Zurich-Affoltern.

Lorsque l'intensité d'exploitation augmente, le rapport entre le carbone souterrain et le carbone de surface décroît de manière significative du fait de la forte progression du carbone de surface. Les entrées de carbone dans le sol ne peuvent cependant pas être évaluées selon l'augmentation du rendement de surface. De nombreux modèles de carbone du sol appliquent des facteurs constants basés sur les paramètres de rendement de surface pour estimer les entrées de carbone dans le sol. Les résultats du projet ENTRÉES DE CARBONE révèlent un écart important du rapport entre le carbone de surface et le carbone souterrain ; de 0,15 à 0,4 pour le maïs et de 0,15 à 0,6 pour le blé. Les parts de carbone souterrain relativement faibles ont été mesurées dans les exploitations intensives et les parts élevées dans les exploitations extensives. Ainsi, les entrées de carbone dans le sol dans les systèmes intensifs sont surévaluées, et sous-évaluées dans les systèmes plus extensifs tels que l'agriculture biologique. En utilisant des facteurs ne tenant pas compte de l'intensité d'exploitation pour évaluer les entrées de carbone souterraines, il est possible d'améliorer les résultats des calculs dans le contexte des essais longue durée suisses.

### **Les anciennes variétés de blé s'enracinent plus profondément tandis que les racines des variétés modernes s'adaptent à la sécheresse**

L'équipe de projet a examiné la modification de la longueur et de la biomasse des racines de variétés modernes de blé en Suisse durant les cent dernières années. Par la profondeur de la racine, on entend la profondeur jusqu'à laquelle se trouve les 95% de la biomasse racinaire totale. Les essais en serre ont montré que les variétés de blé naines modernes s'enracinent moins profondément que les variétés plus anciennes. Toutefois, tandis que les variétés plus anciennes ont plutôt mal réagi à la sécheresse, les variétés modernes ont été capables d'adapter leur longueur pour en atténuer les effets. Ce phénomène s'est poursuivi en conditions réelles, bien que dans des proportions bien moindres. Il est intéressant de noter qu'au cours des cent dernières années, la biomasse racinaire – et par conséquent aussi le rapport racine/tige – a augmenté dans les variétés de blé. Les sélectionneurs ont donc indirectement privilégié des racines moins longues, mais dont la biomasse est plus importante. Une étude en serre a comparé l'évolution de la rhizodéposition d'une variété ancienne (Plantahof, ~1910) à celle d'une variété moderne (Suretta, 2009), ainsi que leur décomposition et la dégradation du carbone. La variété moderne affichait une rhizodéposition et une quantité de carbone plus faibles comparé à la variété ancienne. Au bout d'un an, la surface du sol (0-0,5 m) recelait encore 60 pour cent des entrées de carbone de la Suretta et 40 pour cent de celle de la Plantahof. Au total, la perte de carbone de la variété moderne jusqu'à une profondeur de 0,25 mètre était plus lente d'un cinquième par rapport à celle de la variété ancienne. Les entrées de carbone provenant des variétés modernes pourraient ainsi être considérées comme plus durables/stables.

### **Le cycle du carbone racinaire dans le sol dépend grandement du site**

Pour connaître le cycle du carbone dans le sol, il convient de savoir à quelle vitesse le carbone provenant des racines est dégradé par les microorganismes. Dans les cultures de maïs en plein champs des deux essais longue durée DOK et ZOFÉ, environ deux tiers du carbone souterrain (racines et rhizodéposition) s'est dégradé en deux ans. Au bout de deux ans, le sol contenait donc encore près d'un tiers de carbone provenant des racines du maïs récolté. De manière générale, les taux de dégradation du carbone relevés variaient selon l'intensité de la fertilisation et étaient plus élevés dans les systèmes intensifs. Le cycle de dégradation du carbone présentait des différences plus importantes. Cependant, les variations entre les deux sites, qui se distinguent nettement par le type de sol, la température annuelle et les précipitations, ont eu un impact plus important sur le cycle de décomposition que la seule différence d'intensité de la fertilisation. Sur le site ZOFÉ, au sol plus sableux, sujet à de plus fortes précipitations, et dont la température moyenne annuelle est inférieure d'environ 1°C, le carbone provenant des racines diminue près d'une fois et demi plus vite que sur le loess limoneux du site DOK.

### **Implications pour la recherche**

Les résultats du projet ENTRÉES DE CARBONE révèlent que les modes d'exploitation et leur intensité ont une influence relativement minime sur les entrées de carbone souterrain. Ceci est en contradiction avec les hypothèses émises jusqu'à présent et selon lesquelles l'augmentation des entrées de carbone souterrain engendrerait une augmentation proportionnelle de la biomasse en surface. Les données recueillies par le projet permettent d'améliorer les modèles scientifiques de carbone du sol et d'estimer de manière plus précise les inventaires des gaz à effet de serre.

Les résultats montrent en outre que la sélection influe clairement sur les caractéristiques des racines du blé. Ceci soulève d'autres questions : pourquoi la biomasse racinaire et le rapport racine/tige ont tendance à augmenter ? Ce phénomène est-il typique du programme de sélection suisse, mettant l'accent sur une teneur élevée en protéines avec des apports parallèles en fertilisants relativement modérés, ou est-il également constaté dans le cadre d'autres programmes ? En outre, une cartographie des principaux gènes de blé à taille réduite (« reduced height » [*rht*]) est en cours d'élaboration. Le but est d'examiner si des gènes *rht* alternatifs seraient susceptibles d'améliorer la croissance des racines. Les entrées stables de carbone provenant des racines de variétés modernes laissent supposer que la sélection a également influencé la morphologie (p. ex. présence et quantité de fibrilles) et la stabilité

chimique des racines (p. ex. par une teneur en lignine accrue). D'autres recherches dans ce domaine pourraient révéler si la culture d'une sélection de variétés de blé modernes conduit à des entrées de carbone plus durables et si la vraisemblable transformation morphologique des racines induit une utilisation plus efficace des éléments nutritifs (p. ex. forte amélioration de l'efficacité de l'azote dans les variétés modernes par rapport aux anciennes).

### **Implications pour la pratique**

Le projet ENTRÉES DE CARBONE met en exergue les effets de l'exploitation agricole sur les quantités de carbone entrant dans le sol par le biais des grandes cultures. Il contribue à améliorer les modèles de carbone du sol et les bilans carbone utilisés. Les données recueillies constituent l'une des bases du chapitre « Fertilité des sols et exploitation humique » des « Principes de la fertilisation des cultures agricoles en Suisse » (PRIF 2017). Elles ont été invoquées pour valider l'introduction du bilan humique en ligne, récemment développé par Agroscope ([www.humusbilanz.ch](http://www.humusbilanz.ch)).

Avec plus de 1000 mm de précipitations annuelles, le plateau suisse compte parmi les régions du monde dans lesquelles il n'est guère intéressant de procéder à une sélection ciblée sur la tolérance à la sécheresse. Les résultats du projet soulèvent malgré tout la question de la nécessité de prendre des mesures culturales en vue de mieux exploiter les réserves en eau des sols durant les étés chauds et secs. Des études sur le sujet ont déjà été lancées en coopération avec les sélectionneurs de blé, notamment des essais de cultures survolés par des caméras thermographiques dès 2018 (projet CTI « Trait Spotting »). La capacité de refroidissement des cultures permet de donner des indications sur l'eau dont elles disposent et sur leur profondeur d'enracinement.

### **Recommandations**

Nos résultats attestent que les entrées de carbone dans le sol provenant des racines et de la rhizodéposition sont la principale source de carbone constituant la matière organique du sol. Les systèmes intensifs ont tendance à être surévalués, et les systèmes plus extensifs tels que l'agriculture biologique sous-évalués. D'autres examens sur la biomasse racinaire en condition pratique corroborent ce constat. S'agissant des entrées de carbone souterrain, les formes d'exploitation agricole plus extensives doivent de ce fait être jugées au moins équivalentes voire meilleures. Le sol, dans sa fonction de réservoir d'eau et d'éléments nutritifs, gagnera en importance à l'avenir pour garantir des profils de rendement stables et élevés. L'adaptation ciblée de nouvelles variétés à des conditions climatiques et culturales différentes nécessitera des travaux de recherche intensifs durant les prochaines décennies. Dans ce contexte, il conviendra également de tenir compte des effets à long terme de la sélection.