



## Résumé analytique à l'intention des groupes cibles

Numéro de projet

406840\_143026

Titre

Influence du changement climatique et de l'utilisation des sols sur le carbone contenu dans les sols suisses

Responsable du projet

Samuel Abiven, Université de Zurich

Autres responsables du projet

Pascal A. Niklaus, Université de Zurich

Contribution à la synthèse thématique :

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

Lieu et date : Zurich, 22.12.2016

## Contexte

La matière organique est un des constituants majeurs du sol. Elle est formée des produits de la décomposition de la litière, des racines et d'autres composés organiques, comme le charbon issu des feux de forêt. La matière organique joue de très nombreux rôles dans le sol. Elle est ainsi la principale responsable de la fertilité physique, chimique et biologique des sols. Par définition, les molécules organiques contiennent du carbone (C). Par conséquent, le sol contient des quantités importantes de carbone – trois fois supérieures aux stocks trouvés dans la biomasse végétale ou dans l'atmosphère. Les sols jouent donc un rôle important par rapport au changement climatique : ils sont le principal lieu de stockage du carbone, et donc du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), gaz à effet de serre, dans les écosystèmes terrestres. Toutefois, la modification des conditions environnementales, par exemple en raison de facteurs climatiques, peut mener à une augmentation de la minéralisation (décomposition) de la matière organique, et donc à une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> du sol. La sensibilité réelle de la matière organique des sols à l'égard des modifications du climat reste encore pourtant mal connue. Il est cependant essentiel de la comprendre pour prédire les pertes potentielles de carbone du sol et protéger les zones les plus sensibles.

## But

L'objectif de ce projet était d'étudier la vulnérabilité de la matière organique des sols (MOS) en fonction des changements climatiques pour des sols forestiers suisses, en utilisant plusieurs approches méthodologiques. La vulnérabilité de la MOS peut être définie comme la perte potentielle de carbone du sol lorsque les conditions environnementales changent. Plusieurs caractéristiques peuvent être utilisées pour définir cette vulnérabilité, par exemple : la quantité de carbone perdue (par respiration des micro-organismes ou entraînée par les eaux de lessivage) par rapport à la quantité de carbone initiale dans les sols, l'âge du carbone perdu comparé à l'âge du carbone du sol, la quantité de carbone perdue lorsque le sol est soumis à un stress extérieur.

Les sols forestiers sont particulièrement intéressants du point de vue de la MOS. Leurs stocks de MOS sont souvent très importants. Toutefois, la qualité (caractéristiques intrinsèques) de cette MOS varie en fonction des essences forestières, du type de sol, des conditions climatiques ; de plus, le type de gestion forestière peut modifier grandement les conditions environnementales – et donc les quantités de carbone dans les sols. A cet égard, la forêt suisse est particulièrement diverse – d'un point de vue climatique (du climat continental du plateau lémanique au climat méditerranéen du Tessin), pédologique (une très grande diversité de sols) ou orographique (plaine et montagne).

Afin de prédire la vulnérabilité de la MOS au niveau national, nous avons développé une approche inspirée de travaux de grande envergure en écologie. A partir d'une très large base de données de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL sur les sols forestiers suisses, comprenant près de 1300 profils de sols et échantillons archivés, nous avons sélectionné 54 sites dont les caractéristiques étaient représentatives du climat (température et précipitations), du sol (acidité et teneur en argile) et du terrain (orientation et inclinaison). Ces sites ont été sélectionnés de sorte que ces différents paramètres soient orthogonaux, c'est-à-dire indépendants les uns des autres. Ce type de sélection permet par la suite de définir lequel de ces paramètres joue un rôle significatif sur les observations, sans que l'importance de ces variables ne se superpose.

Nous avons prélevé de nouveaux échantillons de sol sur les sites retenus, et analysé différents paramètres liés à la vulnérabilité de la MOS: la quantité de carbone perdue par respiration et par

lessivage en conditions optimales (système d'incubation), pour des conditions de température plus élevées (+5°C) et pour des sols ayant reçu un traitement de gel-dégel ; l'âge de ce carbone perdu (par mesure du  $^{14}\text{C}$ ) et la localisation physique de cette matière organique dans le sol (libre ou associée à la phase minérale du sol). Dans le but d'élaborer un modèle de la dynamique du carbone de ces 54 sols, nous avons procédé à une nouvelle analyse des échantillons conservés depuis environ 20 ans au WSL, et placé les résultats des deux analyses (sols frais et sols anciens) sur un même axe temporel.

## Résultats

Le premier résultat significatif de ce travail est la définition spécifique de deux vulnérabilités: la vulnérabilité *potentielle*, basée sur la dynamique du carbone des sols (minéralisation, solubilisation, âge du carbone) pour des conditions constantes et optimales pour la décomposition (humidité du sol proche de la capacité au champ et température de 25°C) et la vulnérabilité *actuelle*, basée sur la réponse de cette dynamique du carbone aux traitements que nous avons appliqués au sol (augmentation de la température, cycles de gel-dégel, ajout de plantes dans le sol). Cette approche permet de différencier les sols qui sont par nature plus à même de perdre du carbone de ceux qui pourraient en perdre dans le futur. Ces deux vulnérabilités sont évaluées à partir du stockage de carbone et du temps de résidence moyen de ce carbone dans le sol. Ces deux définitions ne coïncident pas systématiquement.

Dans le cas de la vulnérabilité *potentielle*, les temps de résidence moyens sont principalement expliqués par l'humidité et le pH des sols. La température et la teneur en argile ne jouent de façon surprenante qu'un rôle mineur dans la détermination de ce paramètre. Les sols situés dans les Alpes et au Tessin sont ceux ayant la vulnérabilité potentielle la plus importante.

Le travail sur la vulnérabilité *actuelle* est toujours en cours. Les premiers résultats montrent que l'augmentation de la température de 5 degrés affecte principalement les sols ayant une respiration faible dans des conditions optimales pour la décomposition (humidité du sol proche de la capacité au champ et température de 25°C), et peu les sols ayant des respiration très élevées. Le résultat est plus contrasté pour les sols ayant subi un gel-dégel, mais en général ces sols respirent moins que leur contrôle. Ce résultat est étonnant, car l'action mécanique du gel-dégel a pour effet de désagréger le sol et donc de rendre plus accessible le carbone protégé par les minéraux du sol.

La modélisation de la dynamique de la MOS pour ces différents sols, en comparant les stocks de carbone dans les échantillons archivés depuis 20 ans et échantillonnés au cours de ce projet, a montré qu'il est possible de paramétrer des modèles comme RothC, notamment en utilisant les valeurs de  $^{14}\text{C}$  pour contraindre les temps de résidence moyens dans les différents pools du modèle. Cette modélisation a notamment montré que, pour les sols où la décomposition de la MOS est très limitée (conditions froides et sèches), le signal de  $^{14}\text{C}$  issu des tests des bombes nucléaires dans les années 1950 est encore très visible et identifiable dans les différentes parties du sol, alors que ce signal n'est plus observable dans des sols sous d'autres conditions. Ce résultat permet de considérer sous un nouvel angle ces données de  $^{14}\text{C}$  pour la MOS.

Le rôle des plantes dans la vulnérabilité de la MOS est aussi remarquable. La respiration racinaire des plantes sélectionnées dans notre étude double pour les conditions climatiques projetées pour 2070, alors que celle du sol augmente de l'ordre de 25 à 40%. Cet effet est dû à l'augmentation de

la surface des feuilles (+20%) et de la biomasse racinaire (+ 40%). Les sols avec une vulnérabilité potentielle plus importante ont par ailleurs réagi de façon plus marquée au scénario climatique 2070.

### **Implication pour la recherche**

Nos résultats ont diverses implications pour la recherche. L'un des aspects majeurs de notre travail est la confrontation à une large échelle spatiale de différents paramètres pouvant jouer un rôle sur la dynamique du carbone. Contrairement à la majeure partie des études menées sur la MOS, où des paramètres tels que le climat ou les propriétés du sol sont testés séparément, paramètre par paramètre, nous avons ici conçu un schéma expérimental permettant de séparer statistiquement les paramètres jugés principaux dans la littérature. Cette approche permet de classer des paramètres différents par ordre d'importance et donc d'envisager une modélisation simple et à grande échelle de ces différentes composantes de l'écosystème.

Un autre résultat important est la mise en évidence d'un comportement très différent de variables comme le temps de résidence moyen, selon la méthode utilisée pour les calculer. Notre jeu de données permet une comparaison systématique de ces différentes méthodes, et permet donc d'envisager une approche plus rationnelle et systématique de ces outils dans le futur. De la même manière, notre travail de modélisation utilisant les valeurs de  $^{14}\text{C}$  d'échantillons frais et archivés permet de reconsidérer l'utilisation de la datation par radiocarbone pour les sols.

Enfin, notre travail met en avant le rôle du système sol-plante et des interactions entre ces deux composantes des écosystèmes terrestres. Les réactivités respectives de ces pools de carbone diffèrent mais dépendent l'une de l'autre, notamment lorsque les conditions extérieures changent.

### **Implication pour la pratique**

Notre étude a différentes implications pour la pratique. Tout d'abord, elle met en évidence des dynamiques et des vulnérabilités de la MOS très différentes en fonction de la localisation géographique et de facteurs comme le climat ou le sol. Cela signifie que la mise en place de politiques de protection des sols se doit d'être adaptée aux conditions locales et appliquée dans une certaine mesure au cas par cas.

Avec ce jeu de données, il est sans doute possible de proposer des outils de prédiction de la vulnérabilité des sols, soit par des modèles statistiques, soit par des mesures simples (comme des mesures infra-rouges de la matière organique). Sur la base de notre méthode de sélection des sites, il est ainsi possible d'envisager dans le futur un outil permettant la classification de la vulnérabilité d'un sol du point de vue de son carbone. Cependant, il est important qu'au préalable nous sélectionnions la définition de la vulnérabilité (potentielle, actuelle) la plus adaptée à la pratique, avec des outils eux aussi adaptés (par exemple quelle méthode pour calculer le temps de résidence moyen).

Notre étude peut aussi être intégrée dans les inventaires de gaz à effet de serre, notamment en utilisant les modèles et résultats des modèles que nous avons développés. Une partie de ces données ne sont pas directement exploitables pour une utilisation à grande échelle, par exemple l'utilisation extensive du  $^{14}\text{C}$ , mais le paramétrage des modèles est directement utilisable pour des calculs de bilan de masse.

## Recommandations

Sur la base de notre étude, nous proposons les recommandations suivantes :

- **Prise en compte sur le même plan de différents paramètres pouvant influencer la dynamique du carbone.** Grâce à notre méthode de sélection de sites, nous avons pu comparer différents paramètres habituellement considérés comme influant sur la dynamique du carbone. Lorsqu'on les place sur la même échelle de comparaison, ces différents facteurs n'ont pas la même importance. Par exemple, malgré l'existence d'une très importante littérature montrant l'importance de la teneur en argile sur la décomposition de la MOS, il semble que ce facteur ne soit pas majeur lorsqu'il est comparé à d'autres paramètres. Ce type d'étude et de considération à une large échelle nous semble d'une importance majeure lors de la prise en compte de vastes territoires.
- **Combinaison de larges bases de données avec des mesures spécifiques de la MOS.** Grâce à la taille de la base de données du WSL, il nous a été possible de sélectionner des sites correspondant à nos hypothèses, puis de limiter le nombre de nos analyses à des échantillons adaptés à nos questions. Cette association permet une puissance d'analyse supérieure à des études de cas spécifiques ou à des analyses de bases de données générales et non spécifiques. Il est donc important de favoriser cette double approche.
- **Prise en compte des dynamiques sur le long terme.** Dans notre étude, nous présentons des temps de résidence moyens de plusieurs décennies. De même, dans la partie du travail qui concerne la comparaison d'archives de quelque 20 ans et d'échantillons frais, les changements du stockage du carbone sont parfois difficiles à observer. Il en est ainsi de la plupart des observations de la MOS ; les dynamiques sont lentes, notamment lorsqu'il s'agit d'augmenter le stockage du carbone. Il est donc important de considérer que de futures mesures auront un effet à l'échelle de décennies plutôt que de saisons.
- **Vulnérabilité de la MOS pour certains sols.** S'il nous est pour le moment difficile de prédire la vulnérabilité de la MOS (les outils de prédiction sont en cours d'élaboration), nous pouvons déjà identifier quelques zones géographiques et quelques sols plus vulnérables que les autres. C'est le cas des sols de la région alpine, notamment ceux au pH élevé. Ces sols devraient d'ores et déjà faire l'objet d'une attention particulière.
- **Prise en compte du système sol-plante.** Les modifications du cycle du carbone liées au système racinaire sont au moins équivalentes à celles engendrées par le sol. Ce résultat a été obtenu par nos expériences intégrant des plantes dans une sélection de sols et soumises au même scénario climatique qu'eux. Il est donc très important de considérer le système sol-plante dans le cadre de futures prédictions du devenir du carbone dans les écosystèmes terrestres.