

SOL, CLIMAT et ENVIRONNEMENT un trio indissociable

L'ensemble des manifestations qui ont eu lieu à travers le monde en 2015, déclarée année internationale du sol par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, a mis en lumière l'importance vitale, patrimoniale et culturelle du sol pour l'Homme, mais aussi sa fragilité face aux changements globaux. Le sol étant le lieu de bien des interactions complexes entre le vivant et le minéral, son devenir est indissociable de celui du climat et de l'environnement. Ce sont quelques-unes de ces interactions fortes que ce dossier se propose de vous faire découvrir.



© VIDAL/BSIP

Carbone des sols et changements globaux : des impacts réciproques

La matière organique des sols est à la fois un composant de première importance du cycle global du carbone et le point de départ de la sécurité alimentaire. Une meilleure connaissance de sa dynamique permettra d'élaborer les méthodes d'agriculture durable qui préserveront ce capital. Afin de lutter contre le réchauffement climatique, plusieurs scénarios sont envisagés dans le cadre du protocole de Kyoto et repris dans les discussions de Paris : réduire les émissions de gaz à effet de serre ou augmenter la capacité de séquestration en carbone par les différents réservoirs carbonés de la planète.

Les auteurs

Christine Hatté¹
et Jérôme Balesdent²

¹ Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement,
UMR 8212 CEA-CNRS-UVSQ,
Université Paris Saclay,
Gif-sur-Yvette

² Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement (CEREGE),
UM34 Aix-Marseille Université, CNRS,
Collège de France, IRD, Inra,
Aix-en-Provence

Les sols comptent parmi les plus grands réservoirs de carbone de la planète. Avec 1 500 milliards de tonnes (Gt) de carbone sur les 30 premiers centimètres et jusqu'à 2 400 Gt de carbone si on intègre les deux premiers mètres, les sols représentent 2 à 3 fois le stock de carbone de l'atmosphère, 4 à 5 fois plus que la végétation terrestre et 2 fois celui de l'océan de surface (figure p. 29, en haut) (1). Une augmentation annuelle de 4 % du stock de carbone dans les sols permettrait de stopper l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère (2). Cette constatation est à l'origine d'un programme international en construction, l'initiative 4 %, *les sols pour la sécurité alimentaire et le climat*^{*1}, porté notamment par la France.

Toutefois, les évolutions des stocks de carbone dans les sols restent encore très incertaines en raison

du nombre de mécanismes impliqués et de la difficulté à les quantifier. En particulier, de tous les composants du sol, la matière organique en est probablement le plus complexe. L'avancée des connaissances de la dynamique du carbone dans les sols doit rester un élément clé des projets en agronomie, sciences du climat et de l'environnement.

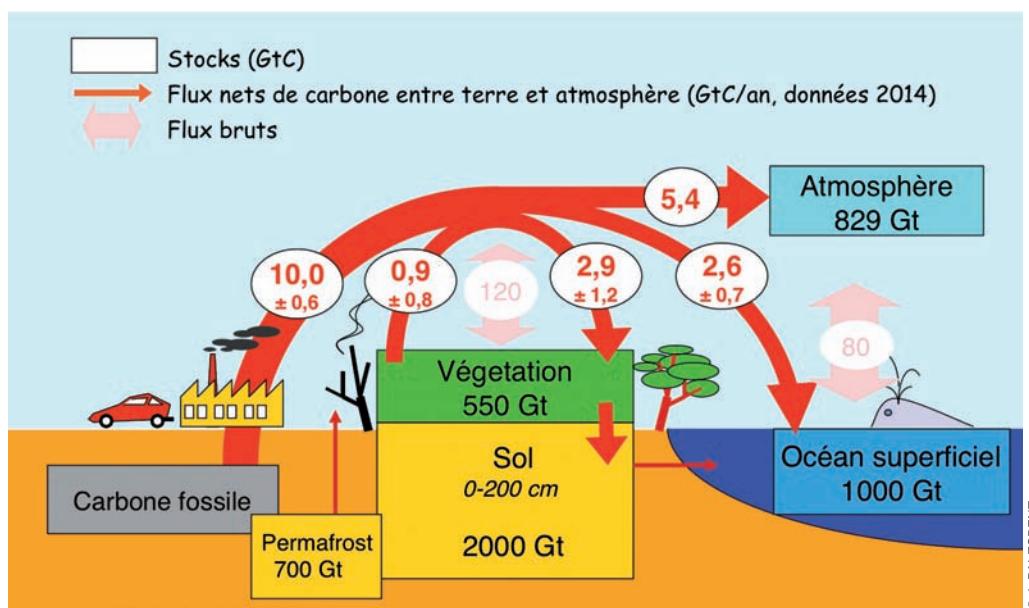
L'ORIGINE ET LE DEVENIR DES MATIERES ORGANIQUES

Les matières organiques du sol se définissent comme « *tout ce qui est vivant ou a été vivant dans le sol* ». Leur stock résulte des équilibres entre les apports et les pertes (figure p. 29, en bas). La matière organique dans les sols est alimentée par les végétaux (chute de feuilles, produits racinaires) et par les micro-organismes et les animaux qui consomment cette matière végétale. Une grande partie de cette nouvelle matière

organique est décomposée dans l'année, notamment sous l'action des micro-organismes, et repart vers l'atmosphère, sous forme de CO₂. Le lessivage et l'érosion contribuent également à la diminution des stocks de carbone des sols. La matière organique résiduaire (humus) évolue alors entre stabilisation, recyclage, bioassimilation, biosynthèse et minéralisation. Un atome de carbone passera d'une molécule à l'autre sous le jeu des synthèses microbiennes et finira par être minéralisé avant de s'extraire du sol sous forme de CO₂. Le temps qui s'écoulera entre l'introduction du carbone dans le sol et le moment où il en ressortira sous forme de CO₂ varie de quelques jours à plusieurs millénaires, selon les interactions organo-minérales et les protections chimiques et physiques mises en jeu.

On a longtemps cru que la chimie des molécules gouvernait la durée de vie de la matière organique fraîchement arrivée dans les sols : certaines molécules « récalcitrantes »,

*1 tinyurl.com/INRA-4-pour-1000



Cycle global du carbone

Les chiffres en noir représentent la masse en gigatonnes (Gt) de carbone des réservoirs ; les chiffres en rouge et rose représentent les échanges annuels de carbone entre les réservoirs en flux nets et flux bruts respectivement (en GtC.an⁻¹). Les chiffres sont arrondis à partir du rapport de 2013 du GIEC. D'après (1).

Échanges de carbone entre le sol et l'atmosphère

les lignines par exemple, ne seraient pas ou peu consommées par les micro-organismes et resteraient longtemps, voire éternellement dans les sols. Au contraire, d'autres molécules, comme les sucres, seraient rapidement bioassimilées et minéralisées par les micro-organismes et ne resteraient que quelques jours, voire quelques mois dans les sols. Les temps moyens de résidence (MRT, pour *Mean Residence Time*), évalués par les mesures des concentrations en ¹⁴C (zoom p. 30), donnaient une idée moyennée de ces différences de comportement.

La matière organique était répartie entre plusieurs compartiments, homogènes vis-à-vis de la dégradation et caractérisés par un MRT moyen. La représentation de cette distribution de la matière organique en modèles physiques (Century, RothC) a permis de répondre à de nombreuses questions en agronomie et en science du sol. Cependant, l'avancée des connaissances a peu à peu posé les limites de cette vision des choses. Aujourd'hui, la technologie, et en particulier l'imagerie, ayant fait des sauts en avant vers l'infiniment petit, les sciences du sol font émerger de nouveaux concepts.

LA NOUVELLE VISION DES MATIÈRES ORGANIQUES

On pensait également que les matières organiques du sol étaient composées de macromolécules, formées par condensation progressive : les acides humiques. Il n'est pas vrai. Il s'agit, en fait, des petits composés du vivant (sucres, peptides, lipides, phénols...), associés entre eux par les liaisons faibles (3). De cette nouvelle vision des choses vont émerger de nouveaux concepts sur la protection de la matière organique.

Nous savons aujourd'hui que l'organisation entre les molécules et entre les molécules et les surfaces minérales, d'une part, et la diversité des micro-organismes, d'autre part, sont des éléments clés de la stabilisation de la matière organique des sols (4). Plusieurs mécanismes de protection de la matière organique ont donc été proposés (5).

Dans le même temps, Markus Kleber, de l'Université de l'Oregon, aux États-Unis, et ses collaborateurs ont proposé une représentation de la structuration des composés organiques comme un empilement des molécules les unes sur les autres, avec pour base les

