



Sur mention contraire, les photos sont de Brian Adams



émergées non recouvertes de glace. Or l'épaisseur d'un sol gelé peut atteindre des dizaines, voire des centaines de mètres...

Même si les satellites ou d'autres dispositifs de télédétection peuvent suivre l'évolution des calottes glaciaires – celles du Groenland par exemple –, il n'existe aucune méthode de suivi à distance des régions de pergélisol. Depuis des années, les chercheurs surveillent des capteurs installés en divers endroits, mais ils n'ont pas encore pu recueillir assez de données. Aussi, nous continuons à installer des capteurs. Le Réseau mondial de suivi terrestre du pergélisol exploite ainsi plus de un millier de forages équipés d'instruments afin de surveiller l'évolution de la température dans les premiers mètres du sol et plus en profondeur.

Les résultats de ce suivi suggèrent que le pergélisol s'est petit à petit réchauffé au cours des dernières décennies, atteignant en de nombreux endroits des records en 2014 et en 2015. Les augmentations les plus spectaculaires se sont produites là où les températures du sol étaient très basses depuis longtemps, c'est-à-dire comprises en permanence entre -10°C et -5°C . Nous avons aussi observé des augmentations de température dans les pergélisols plus proches du point de congélation (0°C), dont les températures sont comprises entre -2°C et 0°C , là où une variation de 1 degré seulement peut avoir un impact important.

DEUX CHERCHEURS prélèvent une carotte de sol arctique dégelé à la station de recherche d'Eight Miles Lake, en Alaska, en septembre 2016 (*ci-dessus*). La terre ainsi recueillie est d'une couleur sombre, car elle est très chargée en matière organique (*ci-dessus à droite*). Des capteurs à infrarouges placés au sein de chambres à multiples réflexions mesurent les émissions de dioxyde de carbone par le sol (*page suivante, à gauche*); une chercheuse enregistre les données ainsi produites (*page suivante, à droite*).

■ L'AUTEUR



Edward SCHUUR est professeur d'écologie à l'université de l'Arizona du Nord, aux États-Unis, et chercheur principal du réseau international Permafrost Carbon Network.

Aux quelques endroits où la température du pergélisol est tout juste inférieure à 0°C , la couche active – le sol proche de la surface qui dégèle pendant l'été et regèle l'hiver – s'épaissit. La compilation des données de température provenant du monde entier donne une bonne vision d'ensemble des changements de la température du sol en Arctique.

50 kilogrammes de carbone par mètre cube

La quantité de pergélisol susceptible de dégeler n'est qu'une partie du calcul à effectuer. Nous avons aussi besoin de savoir combien de matière organique contient le sol qui se ramollit. Afin de le déterminer, au printemps dernier nous avons prélevé dans le sol de notre station expérimentale d'Eight Mile Lake des carottes de terre longues de 1,5 mètre – comme nous l'avions déjà fait à plusieurs reprises depuis le lancement de notre projet il y a dix ans.

Nos mesures et celles d'autres équipes montrent que chaque premier mètre cube de sol de toundra contient environ 50 kilogrammes de carbone sous forme de matière organique. Ce type de carbone, qui provient des organismes végétaux ou animaux partiellement décomposés, s'oppose au carbone inorganique lié à la roche, peu susceptible d'être affecté par les changements



de température. Cette quantité représente environ 5 fois celles contenues dans les sols non gelés et 100 fois celles stockées dans les arbustes et autres végétaux qui arrivent à vivre en Arctique.

Au total, on estime que les pergélisols de l'hémisphère Nord, qui ne couvrent que 15 % des sols de la planète, contiennent entre 1 330 milliards et 1 580 milliards de tonnes de carbone organique. Celui-ci peut se trouver à des dizaines de mètres de profondeur dans le sol. Si l'on se limite aux trois premiers mètres, le carbone des pergélisols représente la moitié de la masse totale de carbone contenue dans les trois premiers mètres de sol de l'ensemble des terres émergées et à près du double de la masse du carbone atmosphérique (essentiellement sous forme de CO_2 et CH_4).

Afin de préciser encore leurs idées, les chercheurs ont entrepris aussi de déterminer les masses de carbone organique où cela n'a pas encore été fait, notamment dans les sols marins peu profonds bordant certaines côtes arctiques. Ces pergélisols sous-marins se dégradent lentement à mesure que l'eau de mer les pénètre. Nous ignorons à ce stade combien de carbone organique ils pourraient contenir. Les épaisses couches sédimentaires des vastes deltas des fleuves arctiques contiennent aussi beaucoup de carbone, mais cela n'a été mesuré que sur quelques sites. Pour le moment, la meilleure estimation

que nous puissions donner est qu'environ 400 milliards de tonnes de carbone organique non pris en compte à ce stade pourraient se trouver dans ces divers endroits mal explorés.

Étant donné les masses énormes de carbone organique contenues dans le pergélisol, il semble plausible que son dégel libérera d'énormes volumes de gaz à effet de serre. Comment les quantifier ? Il faut pour cela répondre à trois questions clés.

Combien de gaz émis, et lesquels ?

Premièrement, quelle est la proportion de carbone qui sera transformée en gaz à effet de serre ? Les microorganismes du sol ne métabolisent et ne libèrent qu'une partie du carbone organique du sol. Une partie reste donc dans le sol, soit parce qu'elle est inaccessible, soit parce qu'elle est difficilement métabolisable par les microbes.

Deuxièmement, à quelle vitesse l'activité microbienne libère-t-elle des gaz ? Du carbone se décomposant rapidement peut se retrouver dans l'atmosphère en moins d'une année après le dégel. Toutefois, la plus grande partie du carbone, celui qui fait partie de matières organiques seulement à moitié décomposées, ne sera vraisemblablement libérée que bien plus tard, à mesure de l'avance du travail microbien au cours des décennies.

Troisièmement, quels gaz à effet de serre les microbes libéreront-ils ? En d'autres termes, quelles seront les proportions de dioxyde de carbone et de méthane, proportions dont dépendra le réchauffement dû à ces gaz ? Les sols saturés d'eau et pauvres en oxygène, voire anaérobies (sans dioxygène), telles les tourbières, produisent en effet beaucoup plus de méthane que de dioxyde de carbone. Or à masse égale et à l'échelle d'un siècle, le méthane contribue 33 fois plus à l'effet de serre que le dioxyde de carbone.

Il nous faut donc suivre de près la libération de gaz par le sol, ce que nous faisons en entourant des sites tels qu'Eight Mile Lake d'analyseurs de gaz à infrarouges. Souvent placés au sein de chambres à réflexions multiples (*caisses blanches visibles sur la photographie ci-dessus*) afin d'améliorer la précision des mesures, ces analyseurs permettent de suivre les concentrations de gaz à effet de serre dans l'air sur des secondes, des jours, des saisons ou des années.

Il s'est révélé que la toundra d'Eight Mile Lake perd plus de carbone dans l'atmosphère qu'elle n'en absorbe. Certes, le réchauffement du sol dû à l'accumulation de neige le long des barrières a stimulé la croissance des plantes. Celles-ci ont donc absorbé davantage de dioxyde de carbone dans l'air. Toutefois, ce réchauffement a aussi amené les microorganismes du sol à décomposer davantage le carbone