



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.

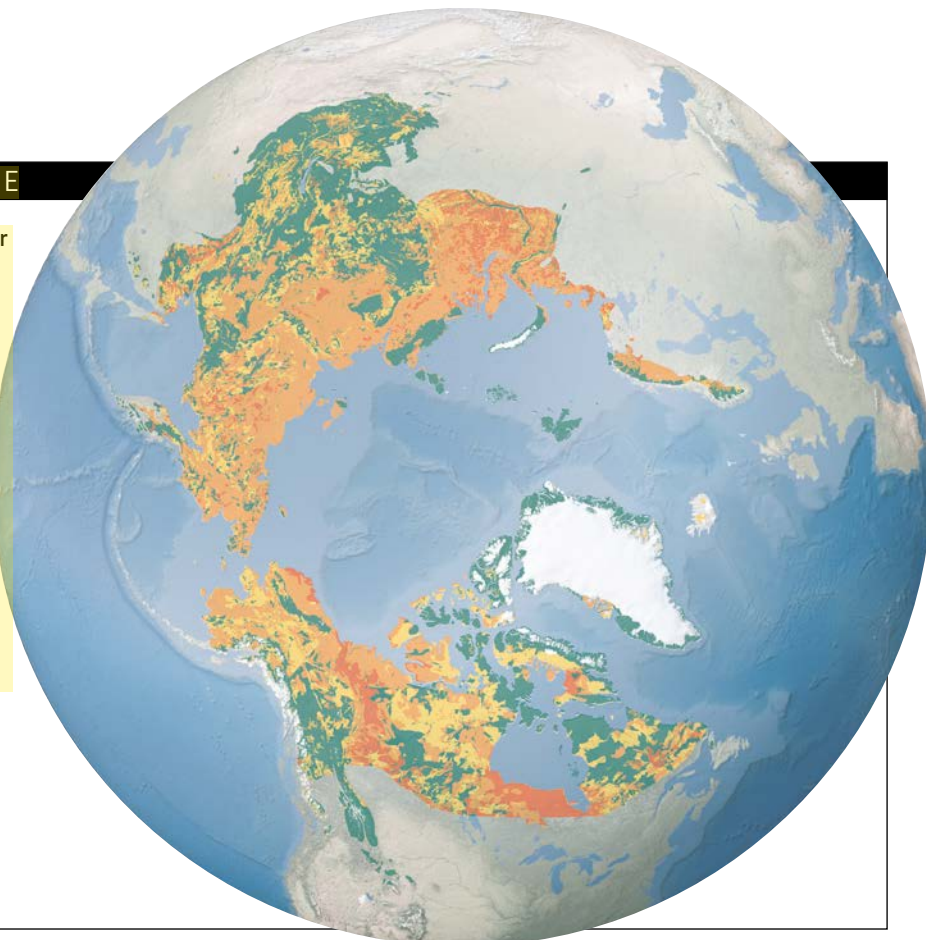
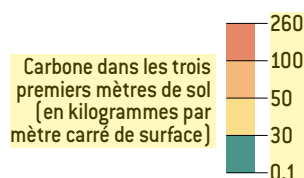
Troisièmement, quels gaz à effet de serre les microbes libéreront-ils ? En d'autres termes, quelles seront les proportions de dioxyde de carbone et de méthane, proportions dont dépendra le réchauffement dû à ces gaz ? Les sols saturés d'eau et pauvres en oxygène, voire anaérobies (sans dioxygène), telles 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

UN RÉSERVOIR DE CARBONE

Les trois premiers mètres d'épaisseur de la bande de sols gelés qui entoure le pôle Nord (en couleurs) contiennent environ 1 035 milliards de tonnes de carbone organique, souvent en très fortes concentrations (régions en orange foncé). Si ces pergélisols devaient dégeler, la transformation d'une partie de ce carbone en gaz à effet de serre – dioxyde de carbone et méthane essentiellement – amplifiera notablement le réchauffement climatique.



organique souterrain. Pendant la saison estivale, la croissance végétale supplémentaire compense complètement la libération additionnelle de carbone à partir du sol, mais pas pendant les longs mois d'automne et d'hiver. La vie végétative est alors stoppée, mais pas la vie microbienne. Résultat : à l'échelle de l'année, la toundra émet plus de carbone qu'elle n'en absorbe.

Afin de nous faire une idée de l'émission mondiale des pergélisols, des chercheurs du monde entier ont joint leurs efforts au sein du Réseau carbone du pergélisol (*Permafrost Carbon Network*). Nous autres chercheurs de terrain en Arctique sommes en effet comparables à des aveugles qui touchent un éléphant et qui, pour avoir une chance de pouvoir se représenter l'animal, sont obligés de combiner leurs observations. Chacun de nous détient des informations importantes et uniques, mais tant que nous ne les avons pas rassemblées, nous ne pouvons espérer acquérir une connaissance fiable de la nature et de l'ampleur du phénomène de libération du carbone enfermé dans le pergélisol.

En plus de rassembler des résultats provenant de partout sur la planète, notre réseau élabore aussi des rapports de synthèse sur

le rôle du pergélisol dans le réchauffement climatique à destination des décideurs, des médias et du grand public.

Les sols saturés d'eau émettent du méthane

L'un de nos rapports récents répond ainsi à la question des proportions de dioxyde de carbone et de méthane dans les émissions. Sous des conditions aérobies, c'est-à-dire quand le sol est sec, les microbes du sol libèrent essentiellement du dioxyde de carbone. En revanche, quand les conditions sont anaérobies, comme c'est le cas dans les marais et les tourbières, ces microorganismes libèrent aussi du méthane en plus du dioxyde de carbone. Christina Schädel, une collègue de l'université de l'Arizona du Nord et qui est aussi l'une des figures clés du Réseau carbone du pergélisol, a étudié comment les émissions de l'un et l'autre gaz se combinent, de façon à mieux apprécier l'impact sur le climat des mélanges de gaz à effet de serre émis par les sols dégelés saturés d'eau.

Christina Schädel a privilégié une approche expérimentale : elle a étudié en laboratoire le comportement de blocs de sol gelés amenés tels quels puis réchauffés

au sein d'enceintes de verre équipées d'instruments. Ces enceintes étant fermées, on peut mesurer avec précision les quantités de dioxyde de carbone et de méthane émises. En compilant les données recueillies lors de ces tests et d'autres dans le monde, elle a pu montrer que, quelles que soient les conditions de dégel – aérobies ou anaérobies –, le dioxyde de carbone prédomine. Curieusement, les sols secs, où le dioxyde de carbone est produit en conditions aérobies, contribuent deux fois plus à l'effet de serre que les sols gorgés d'eau, où ce même gaz et du méthane sont produits en conditions anaérobies.

Il s'ensuit que la fonte du pergélisol des terres élevées, bien drainées, aura vraisemblablement un impact climatique bien supérieur à celle d'une surface équivalente de sol imbibé d'eau dans la plaine. Ainsi, bien que le méthane joue aussi un rôle clé dans le bilan à établir, la répartition d'ensemble des hautes terres et des basses terres dans le paysage de l'Arctique est un paramètre clé, qui déterminera de façon significative l'impact de la fonte du pergélisol sur le climat.

En synthétisant les données de terrain et de laboratoire et en combinant ces informations avec des simulations numériques