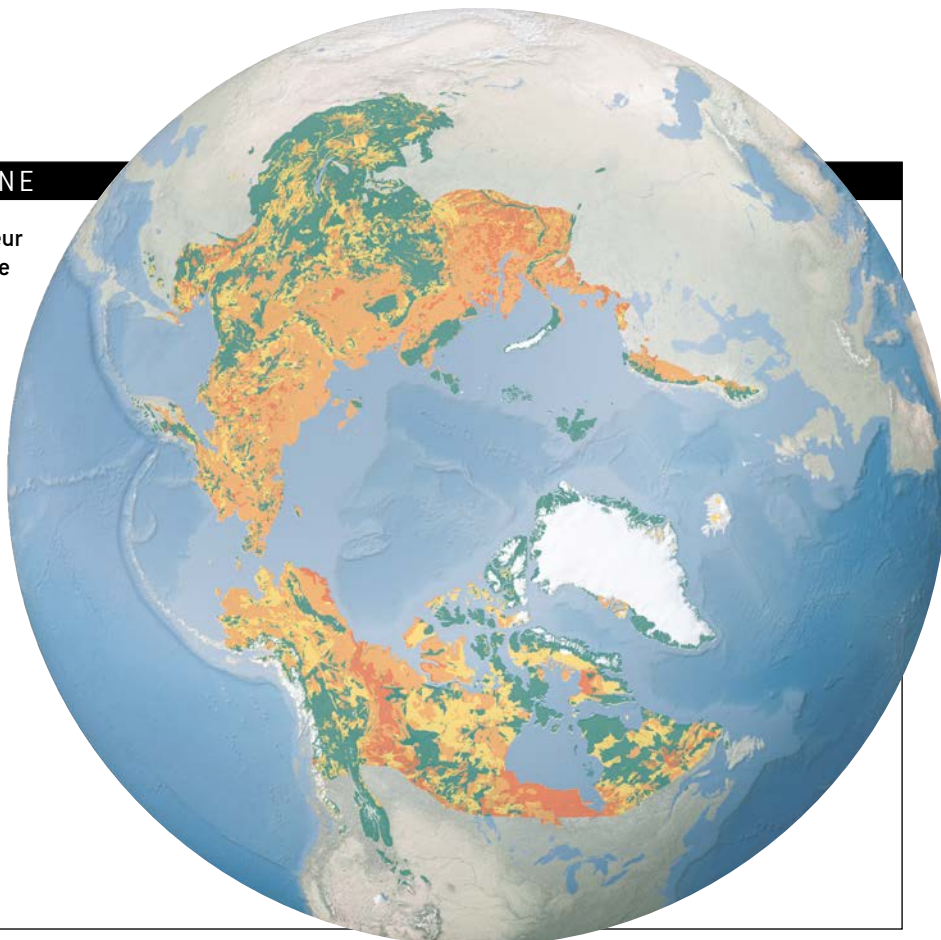


UN RÉSERVOIR DE CARBONE

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.

Carbone dans les trois premiers mètres de sol (en kilogrammes par mètre carré de surface)

260
100
50
30
0,1



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

des futurs scénarios climatiques, le Réseau carbone du pergélisol vient de fournir le résultat suivant : au cours du XXI^e siècle, entre 5 et 15 % du carbone organique du pergélisol est susceptible d'être libéré, majoritairement sous forme de dioxyde de carbone.

La valeur médiane (10 %) de cette fourchette signifierait l'entrée dans l'atmosphère de 130 milliards à 160 milliards de tonnes de carbone supplémentaires par rapport à ce qui est prévu par ailleurs. Si elle est libérée essentiellement sous forme de dioxyde de carbone à un rythme constant pendant un siècle, cette quantité serait comparable à la quantité de carbone libérée dans le monde entier jusqu'ici par la déforestation et par les autres changements d'usage des sols, mais très inférieure aux rejets dus aux combustibles fossiles.

Le dégel accélérera le changement climatique

Le dégel du pergélisol accélérera donc le changement climatique par rapport à ce que l'on prévoyait en se fondant seulement sur les émissions liées aux activités humaines. De plus, les émissions dues à ce dégel se poursuivront sans doute au-delà du XXI^e siècle, et chaque tonne additionnelle de carbone organique libérée par l'Arctique coûtera à la société.

Réduire le dégel du pergélisol par des mesures locales en Arctique n'est pas réaliste. La seule solution est de limiter la combustion des carburants fossiles et à limiter la déforestation. Cela aura pour effet de ralentir le réchauffement global, donc le dégel des terres arctiques, ce qui donnera aux sociétés humaines davantage de temps pour s'adapter.

La fourchette citée plus haut – entre 5 et 15 % du carbone organique du pergélisol transformé en gaz à effet de serre – a été déterminée en 2015. Pour le moment, notre dispositif de recherche sur le pergélisol arctique est trop incomplet pour nous permettre de la réduire. Le déploiement de capteurs supplémentaires est nécessaire.

De nouveaux projets tels que l'Expérience sur écosystème de nouvelle génération (*Next Generation Ecosystem Experiments*) du Département de l'énergie des États-Unis ou encore l'Expérience sur la vulnérabilité arctique ou boréale (*Arctic-Boreal Vulnerability Experiment*) de la Nasa

sont en cours. Ils devraient nous aider à combler nos lacunes en matière de modélisation des écosystèmes et à étendre aux autres régions environnantes les résultats obtenus dans la station expérimentale d'Eight Miles Lake.

Une question importante à éclaircir est celle de la croissance de la végétation qui accompagnera la hausse des températures dans l'Arctique. Cette croissance pourrait-elle contrebalancer la libération de carbone par le pergélisol ? Les dernières simulations suggèrent que l'allongement de la période végétative, la présence de plus de nutriments dans les sols dégelés et l'apparition d'une végétation plus touffue pourraient compenser les émissions de carbone organique par le pergélisol durant le XXI^e siècle. Mais nos mesures à Eight Miles Lake contredisent ce pronostic, puisqu'elles indiquent une émission nette de carbone dans l'atmosphère à l'échelle de l'année.

Il sera aussi essentiel de simuler la façon dont le sol arctique s'affaisse lorsqu'il dégèle. En effet, quand un sol dégèle, la glace qu'il contenait se liquéfie et s'écoule, de sorte que des pans entiers de sol s'effondrent. Ce point n'est actuellement pas pris en compte dans les simulations à grande échelle des interactions entre le carbone du pergélisol et le climat.

Nous avons par exemple observé le phénomène à Eight Miles Lake quand nous y sommes revenus au printemps de 2016 : les chemins de bois que nous avions construits il y a dix ans, nos analyseurs de gaz et nos autres appareils avaient été déformés ou déséquilibrés. Des ondulations et des crevasses avaient envahi le terrain. Nous avons aussi constaté que le dégel avait pénétré le sol plus profondément qu'avant, jusqu'à un mètre de profondeur en certains endroits. Un phénomène que nous n'avions jamais observé.

Ces observations inhabituelles s'ajoutent à nombre de phénomènes inédits dans l'Arctique : un recul record de la banquise, une fonte des neiges précoce dans tout l'hémisphère Nord et une fonte précoce de la couche de glace au Groenland. Ainsi, davantage de sols dégelés sont actuellement en train d'émettre des gaz, phénomène qui va se poursuivre de façon soutenue pendant des décennies. Nul doute qu'il compliquera le défi impressionnant auquel est déjà confrontée l'humanité : freiner le réchauffement climatique. ■



CETTE TOUR INSTRUMENTALE sert à mesurer, tout au long de l'année, les transferts de dioxyde de carbone et de méthane entre le sol et l'atmosphère. Elle permet de faire le bilan des émissions de gaz à effet de serre par l'écosystème de toundra où elle est implantée.

■ BIBLIOGRAPHIE

E. A. G. Schuur *et al.*, **Climate change and the permafrost carbon feedback**, *Nature*, vol. 520, pp. 171-179, 2015.

E. A. G. Schuur *et al.*, **Expert assessment of vulnerability of permafrost carbon to climate change**, *Climatic Change*, vol. 119(2), pp. 359-374, 2013.

E. A. G. Schuur et B. Abbott, **High risk of permafrost thaw**, *Nature*, vol. 480, pp. 32-33, 2011.

K. Walter Anthony, **Méthane : un péril fait surface**, *Pour la Science* n° 390, avril 2010.