

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.

Vers une définition quantique du kilogramme

Tim Folger



LA BALANCE DU WATT,
ici celle du NIST (l'Institut américain
des normes et des technologies),
convertit une puissance électrique en
puissance mécanique, et vice versa.
Grâce à sa grande précision, elle joue
un rôle clé dans le processus
de redéfinition du kilogramme
à partir de la constante de Planck.

L'ESSENTIEL

■ Depuis 1889,
le kilogramme est défini
par un étalon matériel,
un cylindre de platine
et d'iridium conservé
à Sèvres, près de Paris.

■ L'étalon a perdu de
la masse ces dernières
décennies. L'incertitude
sur sa définition
augmente et pose des
questions sur sa fiabilité.

■ En 2011, la Conférence
générale des poids et
mesures a décidé de
redéfinir le kilogramme
à partir d'une constante
d'origine quantique,
la constante de Planck.

■ La nouvelle définition
sera officielle en 2018.

© Richard Barnes

**Plus fiable et plus précise, la nouvelle
définition du kilogramme reposera, à partir
de 2018, sur une constante fondamentale
liée à la physique quantique.**

Travailler à redéfinir le kilogramme conduit parfois à des situations étonnantes. Un après-midi d'avril 2016, à l'aéroport international de Washington, Jon Pratt se dirigeait nerveusement vers le poste de contrôle des bagages. Dans son sac, il avait rangé quatre cylindres métalliques, qui ne manqueraient pas d'attirer l'attention des agents de sécurité. Chaque cylindre pesait exactement un kilogramme. L'un d'eux, fait d'un alliage brillant de platine et d'iridium, valait au moins 40 000 dollars. Les trois autres, en acier inoxydable, avaient été fabriqués avec tout autant d'attention.

Jon Pratt, qui dirige la division Mesures quantiques du NIST, l'Institut américain des normes et des technologies, avait pour mission de livrer les cylindres intacts à ses collègues dans la banlieue de Paris. Pour passer sans encombre les contrôles de l'aéroport, il était muni de documents officiels qui précisaient que les cylindres étaient quatre étalons américains du kilogramme – objets qui servent de référence pour toutes les mesures de masse dans le pays. En outre, il était précisé que ces cylindres ne devaient en aucun cas être touchés ou retirés de leur étui de protection.

Le « Grand K », l'étalon des étalons

Si quelqu'un avait posé ses doigts sur l'un des cylindres, cela aurait ruiné les mois de travail qu'avait requis la mesure de sa masse avec une précision de l'ordre de quelques milliardièmes. Jon Pratt apportait les cylindres au BIPM, le Bureau international des poids et mesures, à Sèvres, près de Paris, afin de comparer les étalons américains avec ceux de trois autres pays, ainsi qu'avec une boule de un kilogramme de silicium purifié, fabriquée par le laboratoire de métrologie allemand. Un événement historique dans le domaine de la métrologie.

Depuis 1889, le kilogramme est défini à partir d'un cylindre de platine iridié (un alliage de 90 % de platine et 10 % d'iridium, ce dernier élément servant de durcissant) conservé sous une triple cloche de verre dans un coffre-fort du BIPM. Le prototype international du kilogramme, surnommé le Grand K, sert de référence pour définir les étalons de masse de tous les pays.