

immunitaire face aux invasions bactériennes, ces mêmes variations génétiques devraient se traduire par des différences dans la façon dont les gens combattent les infections. Un récepteur de l'amertume qui produit une forte réponse protégerait mieux contre les infections qu'un récepteur déclenchant une faible réponse, lequel accroîtrait la susceptibilité aux maladies infectieuses.

Nous avons commencé à tester cette hypothèse sur des personnes et nos premiers résultats suggèrent qu'elle est correcte. Les millions de patients atteints de rhinosinusite chronique constituent une population tout indiquée pour ce test, d'autant plus que ce groupe a besoin d'aide. Lorsqu'elles répondent à un questionnaire sur leur qualité de vie, les personnes souffrant de rhinosinusite obtiennent des scores bien plus mauvais que les patients atteints de plusieurs maladies pulmonaires ou cardiaques. De plus, elles ont tendance à développer de graves infections pulmonaires ou d'autres pathologies des voies respiratoires telles que l'asthme.

Nous avons examiné des cultures microbiennes produites à partir de prélèvements effectués sur des personnes atteintes de sinusite chronique. Ces cultures ont révélé que si les super-goûteurs ne sont pas immunisés contre les rhinosinusites, ils souffrent beaucoup moins que les non-goûteurs d'infections nasales dues à des bactéries à Gram négatif. Cela paraît logique, car celles-ci produisent des AHL, ces molécules qui, en activant les récepteurs, conduisent les cellules à libérer du monoxyde d'azote, létal pour les microbes. En revanche, contre des bactéries ne produisant pas ces molécules, ce mécanisme de défense ne peut fonctionner.

D'autres essais cliniques sont aussi en faveur d'un rôle des récepteurs T2R38 dans la sensibilité aux sinusites. Deux études menées dans notre groupe montrent que les personnes dotées de deux copies du variant super-goûteur du gène codant T2R38 sont moins susceptibles de contracter de graves rhinosinusites que les patients ayant deux copies du variant non-goûteur, ou même que ceux portant une copie de chaque variant. Une étude de l'otorhinolaryngologiste Martin Desrosiers, du Centre hospitalier de l'université de Montréal, et de ses collègues a par ailleurs vérifié que le variant non-goûteur est plus souvent détecté chez les patients atteints d'une rhinosinusite chronique que chez les personnes en bonne

santé. Ces chercheurs ont de plus montré que la gravité de la rhinosinusite est associée à des variants de deux autres types de récepteurs T2R, nommés T2R14 et T2R49.

Dans les organes autres que le nez, les liens entre récepteurs du goût et immunité commencent à apparaître. En 2014, une étude a montré qu'en présence de bactéries *Escherichia coli* pathogènes, les cellules chimiosensorielles des voies urinaires stimulent la prostate *via* des récepteurs T2R, ce qui libère l'urine. S'agirait-il d'un mécanisme d'expulsion des bactéries? Une autre étude récente a montré que les globules blancs – des acteurs clés du système immunitaire – détectent aussi les molécules AHL des bactéries du genre *Pseudomonas* à l'aide de récepteurs T2R38.

La piste du chou de Bruxelles

À présent, nous examinons si des composés chimiques qui activent les récepteurs T2R fonctionneraient comme médicaments contre la rhinosinusite en déclenchant une réponse immunitaire plus forte susceptible d'éliminer les bactéries. Ainsi, les nombreux composés amers présents dans la nourriture pourraient avoir des fonctions thérapeutiques. Citons les humulones et les lupulones – des acides présents dans la bière à base de houblon –, les isothiocyanates des légumes verts tels que les choux de Bruxelles, et les substances amères des agrumes, telle la limonine. Une étude a notamment montré que l'absinthine, le principe amer de l'absinthe, stimule les récepteurs T2R des cellules chimiosensorielles solitaires. Au laboratoire, nous travaillons sur plusieurs mélanges qui pourraient avoir une action thérapeutique. De nouveaux traitements à base de composés amers permettront peut-être un jour de combattre les infections sans recourir aux antibiotiques.

Le goût ou l'analyse génétique des récepteurs T2R pourraient aussi être utilisés pour prédire la sensibilité aux infections. Les variations naturelles au sein de ces récepteurs gustatifs aideraient à répondre à l'éternelle question : pourquoi certaines personnes sont-elles sujettes aux infections respiratoires tandis que d'autres semblent ne jamais tomber malades? Élucider le problème grâce aux récepteurs de l'amertume serait une victoire particulièrement... savoureuse. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

R. J. Lee et N. A. Cohen, **Taste receptors in innate immunity**, *Cellular and Molecular Life Sciences*, vol. 72(2), pp. 217-236, 2015.

R. J. Lee et al., **Bitter and sweet taste receptors regulate human upper respiratory innate immunity**, *Journal of Clinical Investigation*, vol. 124(3), pp. 1393-1405, 2014.

N. D. Adappa et al., **The bitter taste receptor T2R38 is an independent risk factor for chronic rhinosinusitis requiring sinus surgery**, *International Forum of Allergy & Rhinology*, vol. 4(1), pp. 3-7, 2014.

S. C. Kinnamon, **Taste receptor signaling – From tongues to lungs**, *Acta Physiologica*, vol. 204(2), pp. 158-168, 2012.

Pergélisol et climat

Les chiffres

de la menace



Le dégel du sol arctique va vraisemblablement accélérer le réchauffement climatique pendant le XXI^e siècle. Un réseau mondial de chercheurs s'active afin d'évaluer à quel point.

Edward Schuur

LA TOUNDRA, savane arctique, abonde en terres humides et en sols gelés remplis de matière organique, dont le dégel accélérera probablement le réchauffement climatique.

L'ESSENTIEL

- Les pergélisols sont des sols gelés en permanence. La matière organique qui s'y est accumulée au fil des millénaires n'a jamais pu se décomposer totalement.
- Avec le dégel de plus en plus fréquent de ces sols en Arctique, la matière organique se décompose et émet des gaz à effet de serre.
- Un réseau international de chercheurs a notamment pour objectif de quantifier ces émissions, qui vont amplifier le réchauffement climatique dû à l'emploi des combustibles fossiles.

© Carl Johnson/Design Pics - Getty Images

Début avril en Alaska, par une belle journée froide. Le bloc de 20 kilogrammes de neige et de glace durcie m'échappe et atterrit dans un grand craquement au fond de la fosse que je suis en train de creuser. À genou sur le bord de la tranchée, je me redresse pour reprendre mon souffle et étirer mes reins endoloris, que renforce une ceinture lombaire. Avec cinq collègues, je suis en train d'extraire des tonnes de neige au pied de la quatrième des barrières à neige que nous avons installées sur une colline. Nous évacuerons la neige extraite sur des traîneaux.

En association avec d'autres, notre équipe conduit en effet des essais sur une parcelle expérimentale située aux marges du parc national Denali, en plein centre de l'Alaska. Il s'agit de réchauffer un peu le sol pendant l'hiver, afin d'étudier les éventuels effets du changement climatique dans la région. Pour ce faire, nous nous sommes contentés de construire des barrières de 1,5 mètre de haut et longues de 8 mètres sur une colline aux pentes douces de la toundra. La neige s'y est accumulée, protégeant notre sol expérimental des températures négatives extrêmes de l'air hivernal. Le printemps est arrivé et nous voulons maintenant étudier le dégel du sol de notre station expérimentale dans les mêmes conditions que celles que connaissent les sols de la toundra environnante. Il nous faut donc éviter en particulier que la fonte des congères accumulées au pied des barrières ne le sature en eau. Nous évacuons donc la neige des congères. Dur travail !

L'objectif du Réseau mondial de suivi terrestre du pergélisol (*Global Terrestrial Network for Permafrost*), dont fait partie notre laboratoire, est de mieux appréhender l'évolution des immenses surfaces de sols gelés en permanence, type de sol nommé pergélisol ou permafrost. En gardant notre sol moins froid en hiver, son dégel est plus

précoce et plus étendu en été. C'est exactement ce à quoi on s'attend avec l'augmentation des températures, qui est deux fois plus rapide dans les écosystèmes arctiques et boréaux que sur le reste du globe.

Un pergélisol contient de la roche, de la terre gelée et de la glace, de sorte que lorsqu'il se réchauffe, il dégèle plutôt qu'il ne fond. Tel un hamburger retiré du congélateur, il se ramollit sans pour autant se liquéfier. Ce processus réactive les microorganismes qu'il contient, qui se mettent à décomposer les résidus de plantes et d'animaux accumulés dans la terre gelée au cours des millénaires. Cela libère du dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane (CH₄).

Les sols des régions qui entourent le pôle Nord contiennent tant de matière organique que la transformation de seulement une fraction de cette masse en gaz à effet de serre suffirait à accélérer considérablement le réchauffement climatique. Les essais que nous menons en Alaska constituent une partie importante de l'ensemble des recherches coordonnées à travers le monde afin de jauger l'importance de cet effet. Or nous commençons à en savoir assez pour faire des estimations fiables.

Estimer le dégel du pergélisol en Arctique

Comment quantifier le dégel du pergélisol et ses conséquences ? Il faut commencer par déterminer la masse de sol susceptible de dégeler, estimer la vitesse de son dégel et évaluer l'impact des émissions de carbone associées sur le changement climatique. Cela implique la prise en compte d'une surface énorme : 16,7 millions de kilomètres carrés de l'hémisphère Nord (l'hémisphère Sud est couvert d'océans aux hautes latitudes et comporte donc peu de pergélisols), soit presque un quart de la surface des terres



Sur mention centrale, 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