

L'ESSENTIEL

> Un minuscule hexapode, le collembole *Tullbergia mediantarctica*, vit sous les rochers des sommets des montagnes intérieures de l'Antarctique, où les conditions sont très rudes.

> *Tullbergia* semble avoir subsisté aux mêmes endroits pendant des millions d'années,

en évitant à la fois les sols recouverts de glace et ceux riches en sels toxiques.

> Les séquences génétiques de *Tullbergia* et d'autres petits organismes de l'Antarctique aident à expliquer la survie de ces animaux et à éclairer l'histoire glaciaire du continent.

L'AUTEUR

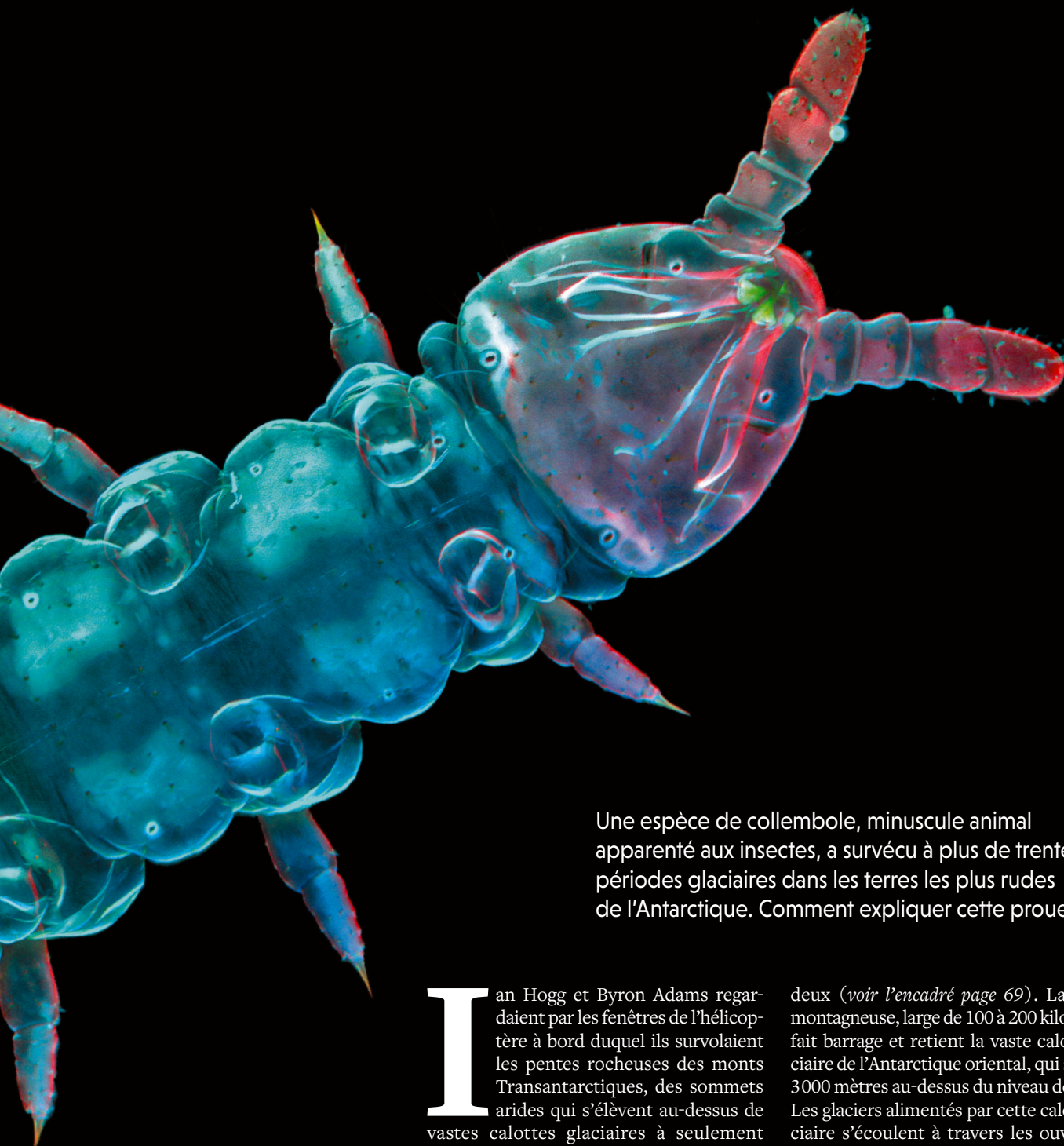


DOUGLAS FOX
écrivain scientifique
basé en Californie
du Nord,
aux États-Unis

Tullbergia, survivant de l'extrême



Le collembole *Tullbergia mediantarctica* mesure moins de 1,5 millimètre de long et vit sous des rochers dans certains endroits de l'Antarctique.



Une espèce de collembole, minuscule animal apparenté aux insectes, a survécu à plus de trente périodes glaciaires dans les terres les plus rudes de l'Antarctique. Comment expliquer cette prouesse ?

Lan Hogg et Byron Adams regardaient par les fenêtres de l'hélicoptère à bord duquel ils survolaient les pentes rocheuses des monts Transantarctiques, des sommets arides qui s'élèvent au-dessus de vastes calottes glaciaires à seulement 600 kilomètres du pôle Sud. Ils scrutaient de leurs yeux les corniches et les escarpements en dessous. Durant cette journée ensoleillée de janvier 2018, ils recherchaient des points de repère correspondant à ceux décrits dans les brèves notes laissées par un entomologiste décédé en 2012, Keith Wise. En 1964, celui-ci avait découvert dans ce paysage désolé un petit arthropode énigmatique, que personne n'avait revu depuis.

Les monts Transantarctiques s'étendent sur plus de 3000 kilomètres à travers le continent, du littoral au nord vers l'intérieur des terres au sud, coupant le continent en

deux (voir l'encadré page 69). La chaîne montagneuse, large de 100 à 200 kilomètres, fait barrage et retient la vaste calotte glaciaire de l'Antarctique oriental, qui s'élève à 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les glaciers alimentés par cette calotte glaciaire s'écoulent à travers les ouvertures séparant les sommets montagneux et se déversent lentement dans l'Antarctique occidental, d'altitude plus basse. Les vents secs qui soufflent sur le plateau oriental maintiennent largement libres de glace les sommets eux-mêmes.

En hiver, les températures dans le sud de la chaîne Transantarctique plongent sous les -40°C . Certains des sols de ces sommets n'ont pas reçu de quantités notables d'eau depuis des dizaines ou des centaines de milliers d'années. Ils ont de ce fait accumulé des sels caustiques, un peu comme à la surface de Mars. Pourtant,

> malgré ces conditions sévères, une poignée de minuscules animaux vivent sur ces montagnes. Ian Hogg et Byron Adams y collectaient des échantillons depuis 2006 pour essayer de savoir quelles espèces vivent où. Mais l'espèce découverte en 1964, un hexapode nommé *Tullbergia mediantarctica*, leur avait jusqu'alors échappé.

L'endroit qu'ils exploraient était le mont Speed, qui s'élève à 1100 mètres d'altitude dans le sud de la Transantarctique, à 700 kilomètres de la côte. Ici, le glacier de Shackleton coule d'est en ouest à travers une brèche dans la montagne d'environ 10 kilomètres de large. Ian Hogg, biologiste à l'organisme gouvernemental Savoir polaire Canada, repéra un escarpement ressemblant à celui décrit dans les notes de l'entomologiste. L'hélicoptère se posa dessus, et les passagers descendirent sur une pente rocheuse aride parsemée de morceaux de granit jaunâtre. Ils se mirent à jeter un coup d'œil méthodique sous chaque rocher. En quelques minutes, ils trouvèrent leurs pâles bestioles – des dizaines d'hexapodes blancs plus petits que des graines de sésame.

DES MILIEUX DE VIE PARFOIS PLUS PETITS QU'UN TERRAIN DE BASKET

Les petites bestioles cheminaient lentement parmi les grains de sable, en s'orientant à l'aide de leurs antennes souples et charnues comme deux doigts tendus. Cependant, ces animaux sont extrêmement sensibles à la déshydratation et, dans la minute suivant leur exposition à l'air sec, ils se ratatinaient et mouraient. Au cours des jours suivants, Ian Hogg et Byron Adams ont découvert des *Tullbergia mediantarctica* sous les roches de quatre pentes différentes le long de l'extrémité inférieure du glacier de Shackleton. Ces milieux étaient parfois plus petits qu'un terrain de basket.

Tullbergia fait partie d'un groupe d'arthropodes, les collembolés, apparenté aux insectes. Peu de gens ont entendu parler de ces organismes dépourvus d'ailes, bien que le sol de votre jardin en abrite probablement des millions (voir l'article de Jérôme Cortet dans ce numéro). On trouve ces minuscules arthropodes partout dans le monde et quelques espèces vivent dans les rares terres non recouvertes de glace qui parsèment l'intérieur de l'Antarctique, endroits où la nourriture est rare, si ce n'est des bactéries ou des champignons microscopiques occasionnels.

Comment ces *Tullbergia* et d'autres collembolés se sont-ils retrouvés dans ces montagnes isolées, et comment ont-ils survécu à plusieurs dizaines de périodes glaciaires ? C'est là une énigme que les scientifiques aimeraient résoudre. Depuis l'expédition de 2018, Ian Hogg et Byron Adams, biologiste de l'université Brigham Young, aux États-Unis, ont réalisé des



études génétiques sur le *Tullbergia* redécouvert, ainsi que sur une autre espèce de collembolée trouvée lors de la même expédition.

Ces travaux, qui devraient être publiés dans le courant de l'année, jetteront un éclairage nouveau et surprenant sur l'histoire de ces espèces, qui pourrait à son tour réécrire l'histoire de la façon dont d'énormes calottes glaciaires ont alternativement apparu et disparu sur le continent au fil des millions d'années de glaciations. Des espèces telles que *Tullbergia* mettent également à l'épreuve nos idées sur les limites biologiques, en renforçant l'idée que même les environnements les plus inhospitaliers de la Terre abritent souvent une vie animale complexe.

IMMIGRANTS DE L'ÈRE GLACIAIRE

L'Antarctique est connu pour ses manchots et ses phoques, mais ces animaux ne vivent que sur ses côtes, grâce à un riche réseau alimentaire de phytoplancton, de poissons et de krill. Ces espèces emblématiques ne pourraient pas survivre à l'intérieur du continent, plus vaste que les États-Unis et le Mexique réunis, dont environ 98% sont recouverts de glace.

Les chercheurs prélèvent des échantillons de sol (ci-dessus à gauche) contenant des *Tullbergia* sur les pentes d'éboulis du mont Speed (à droite), le long du glacier de Shackleton en Antarctique.



Cependant, à partir de 1900, les scientifiques ont commencé à découvrir que des terrains libres de glace, à plusieurs kilomètres de la côte, sont habités par des animaux d'un autre genre: de minuscules collemboles, acariens, vers et insectes diptères de la famille des chironomes. Ces organismes ont besoin d'eau et vivent souvent sur des lichens ou des mousses poussant sur les pentes exposées au nord, où le soleil d'été, 24 heures sur 24, fait fondre la neige et humidifie le sol. Les scientifiques les ont progressivement trouvés dans des endroits plus froids et plus secs, plus loin à l'intérieur des terres.

En 1964, l'entomologiste néozélandais Keith Wise s'est rendu en avion au glacier de Shackleton pour voir s'il pouvait trouver des animaux dans l'un des endroits les plus isolés de l'intérieur du continent. Le 13 décembre, il skia sur le glacier plusieurs kilomètres depuis son campement jusqu'au pied du mont Speed. De la neige fondue coulait lentement et mouillait le sol. À cet endroit, Wise repéra deux espèces de collemboles: l'*Antarctophorus subpolaris* gris, qu'il avait déjà vu ailleurs, et le *Tullbergia* blanc fantomatique, à l'époque nouveau pour la science.

Dans les décennies qui ont suivi la découverte de Wise, les chercheurs ont tenté de reconstituer l'histoire de la région où *Tullbergia mediantarctica* a été trouvé. Les sédiments des fonds marins ont révélé que l'Antarctique avait connu 38 périodes glaciaires au cours des cinq derniers millions d'années. Lors de ces glaciations, ses glaciers se sont épaissis en s'étendant vers l'intérieur des terres et en recouvrant de nombreux versants montagneux de nos jours exposés. Les températures étaient inférieures de 5 à 10 °C à celles d'aujourd'hui. La plupart des chercheurs ont supposé que les glaciers en expansion avaient plus ou moins tout effacé, explique Steven Chown, écologue polaire à l'université Monash de Melbourne, en Australie.

Les scientifiques pensaient que lorsqu'une période glaciaire s'achevait, les glaciers s'amincissaient, en s'affaissant en aval et en exposant davantage les sommets, ce qui permettait à des espèces arrivant de Patagonie, de Nouvelle-Zélande ou d'Australie, portées par les courants marins ou par les pattes boueuses des oiseaux de mer, de se fixer à nouveau. Ces immigrants remplaceraient les espèces qui avaient été éliminées par l'avancée des glaciers. Selon ce scénario, lors de la période glaciaire suivante, les nouveaux venus disparaissaient également, pour être remplacés par une autre vague d'immigrants après le retrait des glaces. La plupart des experts supposaient que les espèces actuellement présentes en Antarctique ne pouvaient y être installées depuis plus de 20 000 ans environ.

DESCENDANTS DES PREMIERS HABITANTS DU CONTINENT

Puis, en 2005, la situation changea. Deux équipes différentes publièrent des études génétiques qui contredisaient cette vision répandue. Peter Convey, écologue du British Antarctic Survey, s'était associé à Giuliana Allegrucci, de l'université de Rome, et ses collègues pour comparer les séquences génétiques de diptères chironomes vivant en Antarctique et en Patagonie, l'extrémité de l'Amérique du Sud. En s'appuyant sur les différences entre certaines séquences d'ADN et sur les hypothèses de base sur le rythme auquel les séquences d'ADN subissent des changements aléatoires, ils ont estimé depuis combien de temps l'évolution avait séparé ces espèces. Peter Convey admet qu'il s'attendait à une séparation datant de quelques dizaines de milliers d'années. Mais ses calculs suggéraient qu'elles étaient séparées depuis 68 millions d'années! Cela signifie que les chironomes de l'Antarctique n'étaient pas du tout des immigrants: au contraire, il s'agissait de descendants des premiers habitants du continent.

Il y a 68 millions d'années, l'Antarctique était recouvert de forêts luxuriantes, peuplé ➤

> de dinosaures et de mammifères primitifs. Il était encore rattaché à l'Amérique du Sud, formant le dernier vestige du supercontinent Gondwana, dont l'Afrique et l'Australie s'étaient déjà séparées. Ce n'est qu'après s'être détaché de l'Amérique du Sud, il y a environ 35 millions d'années, que l'Antarctique a plongé dans un grand froid qui a éliminé du continent la plupart des espèces.

UNE ORIGINE TRÈS ANCIENNE

Une deuxième étude réalisée en 2005 a mis en évidence que l'origine de certains collembolés antarctiques est très antérieure aux récentes périodes glaciaires. Ian Hogg et son ancien doctorant Mark Stevens, qui avaient travaillé ensemble à l'université de Waikato, en Nouvelle-Zélande, ont utilisé des séquences de gènes afin d'estimer, pour plusieurs espèces de collembolés antarctiques, quand celles-ci avaient divergé des espèces d'Australie, de Nouvelle-Zélande et de Patagonie. Leurs résultats ont montré que la séparation datait d'au moins 10 à 20 millions d'années.

Ces découvertes et d'autres similaires ont laissé de nombreux scientifiques perplexes. Comment ces minuscules organismes ont-ils pu traverser tant de périodes glaciaires ? Certains chercheurs ont avancé qu'ils auraient pu survivre dans de petites vallées isolées, les vallées sèches de McMurdo, dans la partie nord des montagnes Transantarctiques, à 850 kilomètres au nord de l'endroit où Ian Hogg et Byron Adams ont trouvé *Tullbergia*. Ces vallées sont étrangement restées libres de glace au cours des 12 derniers millions d'années. D'autres chercheurs ont émis l'hypothèse que durant les périodes glaciaires, les organismes en question ont trouvé refuge dans des points chauds géothermiques situés à proximité d'une poignée de volcans qui ponctuent le littoral du continent. Et qu'après avoir survécu à la période glaciaire dans ces zones côtières, ces espèces auraient gagné l'intérieur des terres et atteint des montagnes comme celles proches du glacier de Shackleton.

Mais ces idées n'ont pas résisté aux observations. Byron Adams explique qu'on ne retrouve pas *Tullbergia* ou les autres bestioles dans d'autres parties de l'Antarctique. « On ne les trouve pas à proximité des volcans, on ne les trouve pas sur les côtes », dit-il, ce qui contredit l'idée qu'ils ont vécu par le passé dans ces endroits reculés.

Entre 2006 et 2017, Ian Hogg a visité plus d'une dizaine d'endroits le long des monts Transantarctiques afin de collecter des spécimens vivants. Avec Byron Adams, qui a participé à certains de ces voyages, il a trouvé cinq espèces de collembolés, toutes connues auparavant. Mais ils n'ont pas découvert de *Tullbergia* avant l'exploration du mont Speed en 2018.

Après que Ian Hogg a ramené à son laboratoire des spécimens de *Tullbergia*, son équipe a commencé à analyser des séquences génétiques des collembolés. La doctorante Gemma Collins a séquencé un court fragment d'ADN de chaque individu, le gène mitochondrial codant la sous-unité 1 de la cytochrome C oxydase, dont la variabilité est un bon indicateur de l'histoire évolutive des espèces. Elle a passé des mois à comparer les séquences d'ADN de plus de 1100 individus trouvés à différents endroits le long de la chaîne Transantarctique (dont certains avaient été collectés des années auparavant). Ces comparaisons permettraient de déterminer quels animaux, le cas échéant, partagent une histoire commune. Elles révéleraient si des populations de différents endroits ont été isolées les unes des autres, peut-être par l'expansion des calottes glaciaires, ou si elles ont pu se déplacer vers de nouveaux territoires lorsque la glace était peu abondante.

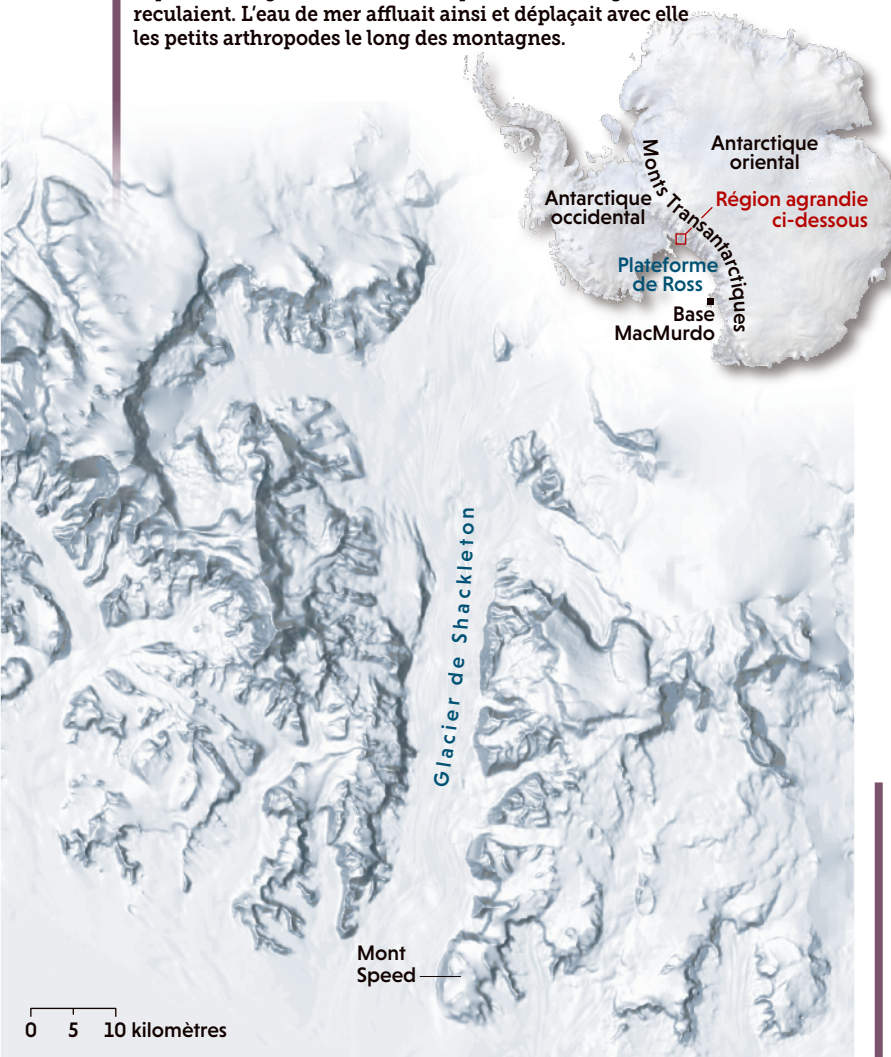
Lors des périodes les plus chaudes qui s'intercalaient entre les périodes glaciaires, la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental se serait amincie et aurait reculé. Et la plateforme glaciaire de Ross, qui flotte sur la mer en bordant la plupart des montagnes centrales et méridionales, a probablement disparu. Ces deux événements auraient permis à l'océan libre de s'avancer vers l'intérieur des terres le long de la chaîne montagneuse, mais en atteignant des altitudes moins élevées que ne l'avaient fait les calottes glaciaires. Ian Hogg spéculait que lors de ces épisodes chauds, les minuscules arthropodes s'étaient probablement déplacés et que différentes populations de la même espèce, auparavant isolées, s'étaient rencontrées et hybridées puisque de plus grandes étendues de terre étaient libres de glace. Les collembolés auraient pu se disperser en flottant sur l'eau. Selon Ian Hogg, ils s'installaient dans un nouvel habitat, puis parvenaient à s'y maintenir pendant 50000 ou 100000 ans, avant que les glaces recouvrent de nouveau la pente.

Mais les résultats obtenus pour *Tullbergia* et *Antarctophorus* suggèrent que même en période chaude, le mouvement de ces animaux était plus restreint qu'on ne le pensait. Deux populations auxquelles appartiennent des *Antarctophorus* collectés sur des crêtes exposées de part et d'autre du glacier de Shackleton semblent ne pas s'être hybridées depuis cinq millions d'années, bien qu'elles vivent à seulement 10 kilomètres l'une de l'autre, soit la largeur de la brèche que traverse le glacier. « C'est assez surprenant, commente Ian Hogg. Cinq millions d'années, c'est long. » Il semble que l'espèce n'ait pas du tout voyagé.

Pourtant, les indices géologiques montrent que lors d'une période particulièrement chaude, il y a trois à cinq millions d'années, la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental

DES HABITATS AU CŒUR DES GLACES

Les monts Transantarctiques séparent les vastes calottes glaciaires de l'Antarctique oriental et occidental, mais certains glaciers comme le Shackleton suintent d'est en ouest par des brèches séparant les sommets. Les chercheurs ont trouvé le collembole *Tullbergia mediantarctica* sur la pente du mont Speed faisant face au glacier (en bas). Comment cette espèce s'est-elle retrouvée là ? Selon l'une des hypothèses, au cours des périodes chaudes, la plateforme glaciaire de Ross disparaissait et les glaciers reculaient. L'eau de mer affluait ainsi et déplaçait avec elle les petits arthropodes le long des montagnes.



s'est effondrée à plusieurs reprises. Des collemboles auraient pu se déplacer en flottant le long de la chaîne de montagnes lors de l'intrusion de l'océan, franchir les 10 kilomètres d'écart et s'y reproduire avec des collemboles génétiquement différents. Mais les populations d'*Antarctophorus* n'en avaient rien fait. Les résultats génétiques obtenus par le laboratoire de Ian Hogg ont également montré que des groupes d'*Antarctophorus* du glacier de Shackleton ne s'étaient pas croisés avec une

autre population vivant 160 kilomètres plus au nord, le long des montagnes, depuis au moins huit millions d'années.

Ces résultats suggèrent que même lorsque la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental s'est effondrée, il restait encore suffisamment de glace dans les monts Transantarctiques pour empêcher les collemboles de se déplacer.

L'analyse des *Tullbergia* collectés autour du glacier de Shackleton a étonné encore plus les chercheurs : les séquences de gènes étaient pratiquement identiques sur les quatre sites. Cela pourrait signifier que tous ces collemboles descendent de quelques individus et qu'ils ne se sont jamais hybridés avec des populations extérieures.

QUAND LA TOXICITÉ SE FAIT SENTIR

Comment des *Tullbergia* ont-ils pu persister pendant des millions d'années, bloqués par la glace durant au moins 30 périodes glaciaires, sans se déplacer de plus de quelques kilomètres ou se reproduire avec des individus d'autres populations ? Cette question est d'autant plus intrigante que pendant une grande partie de cette période, ces animaux étaient piégés dans une zone étroite, cernée par la glace d'un côté et par un sel tout aussi mortel de l'autre.

En effet, lorsque Ian Hogg et Byron Adams ont effectué des vols en hélicoptère au-dessus du glacier de Shackleton, en 2018, ils ont souvent constaté une légère ligne de démarcation sur les flancs des montagnes : à quelques centaines de mètres au-dessus de la surface de la glace, la roche changeait de couleur, passant de plus claire au-dessus de la ligne à plus sombre au-dessous. Ces « lignes de démarcation » indiquent la hauteur à laquelle la glace s'est élevée au cours de la dernière période glaciaire – elles résultent de subtiles différences dans la façon dont les minéraux s'oxydent lorsqu'ils sont exposés à l'air plutôt que recouverts de glace.

Il est facile d'imaginer qu'à mesure que les glaciers s'épaississaient, les animaux migraient plus haut sur le flanc de la montagne, afin de rester au-dessus de la glace. Mais cette hypothèse pose un problème majeur : les parties supérieures des montagnes sont chargées en substances toxiques. Si l'on retourne un rocher au-dessus de la ligne de démarcation à Shackleton ou dans toute autre montagne de la chaîne Transantarctique, le sol en dessous est souvent recouvert d'une croûte de sel blanc. « Ce n'est pas du bon sel. Ce n'est pas du sel gemme de l'Himalaya », explique Byron Adams. « Mettez votre langue là-dessus et vous verrez. »

C'est du sel riche en nitrate (NO_3^-), toxique pour de nombreux organismes vivants. Il pleut en permanence du nitrate sur la Terre, celui-ci se formant par l'action du rayonnement ultraviolet sur les gaz atmosphériques. Dans la ➤



VUE DORSALE



Blanc quand il est vivant, hérissé de petites soies, le collembole *Tullbergia medianarctica* se dessèche rapidement et meurt lorsqu'il est exposé à l'air libre. Sur les restes de cet individu, coloré et fortement agrandi, l'exosquelette de la tête, dur, apparaît en rouge ; le reste de la cuticule, plus souple, est en vert.

> plupart des régions du monde, il ne s'accumule pas dans les sols, car les pluies le lessivent. Mais dans les endroits secs, comme sur les monts Transantarctiques, il peut s'accumuler au fil des millénaires jusqu'à atteindre des niveaux toxiques. Ces lieux d'altitude accumulent également du perchlorate (ClO_4^-), un oxydant utilisé dans les désinfectants et les propulseurs de fusée – et présent à la surface inhospitalière de la planète Mars, comme l'a découvert en 2008 la sonde *Phoenix*.

Les sels constituent un redoutable écueil pour les petits animaux, tels les collemboles, qui tentent d'échapper à la progression des glaciers : rester sur place signifie qu'ils seront enterrés sous la glace, tandis que remonter la pente mène à des milieux toxiques.

Bien sûr, Ian Hogg et Byron Adams n'ont trouvé que des collemboles vivant en dessous de la ligne de démarcation. Cependant, ces endroits ont vraisemblablement été recouverts par 100 mètres de glace ou plus au dernier maximum glaciaire, et il aurait été impossible pour des formes de vie aussi complexes de survivre dans la glace pendant des dizaines de milliers d'années. Alors, où sont allés ces hexapodes ?

L'HISTOIRE RÉÉCRITE

La survie de tout animal dépend de l'eau, et l'eau semble indiquer une explication à l'improbable résistance de *Tullbergia*.

À 700 kilomètres au nord-ouest du glacier de Shackleton, les monts Transantarctiques émergent de l'intérieur du continent et commencent à longer le littoral. C'est là que se situent les vallées sèches de McMurdo. Malgré la sécheresse, plusieurs de ces vallées isolées abritent des lacs couverts de glace, alimentés par les eaux de fonte estivales. Ces lacs ne sont profonds que de quelques mètres, mais on observe dans le haut des parois de certaines vallées des lignes de rivages anciens de sable et de gravier. Ces lignes de rivages suggèrent que ces vallées ont contenu autrefois des centaines de mètres de hauteur d'eau, apportée par des ruisseaux dévalant les montagnes.

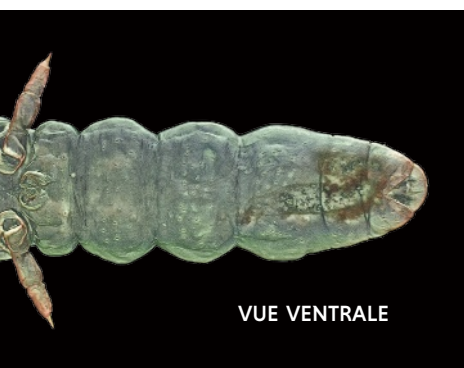
L'idée est cependant incomplète, car les vallées, étant ouvertes à leur extrémité du côté

mer, n'ont rien pour retenir des eaux aussi profondes. Les scientifiques supposent donc qu'au cours d'une précédente période glaciaire, l'inlandsis de l'Antarctique occidentale avait progressé de plusieurs centaines de kilomètres vers le nord, s'approchant des montagnes et fermant l'embouchure des vallées, ce qui a ainsi rendu possible la formation de grands lacs. L'un d'entre eux, le lac glaciaire de Washburn, avait une profondeur d'au moins 300 mètres.

Dans les années 1990, Brenda Hall, géologue à l'université du Maine, aux États-Unis, a creusé dans les anciens sédiments situés en haut de la paroi de la vallée du lac de Washburn et a recueilli des morceaux de tapis d'algues qui y avaient poussé et qui étaient desséchés par le froid. Par datation au radiocarbone, la chercheuse a estimé que les algues – et donc le lac – dataient d'il y a 23 000 à 13 000 ans, à peu près au maximum de la dernière période glaciaire. Cette découverte a donné lieu à une curieuse controverse, selon Brenda Hall : on était conduit à penser que pendant la période glaciaire, « les glaciers fondaient probablement plus qu'ils ne le font actuellement ».

Les scientifiques se sont efforcés d'expliquer comment cela a pu se produire en dépit d'un climat plus froid. Selon l'une des théories, les océans environnants étaient plus largement recouverts de glace qu'ils ne le sont aujourd'hui – ce qui entraînait moins d'évaporation et donc moins de nuages, moins de chutes de neige et plus de rayonnement solaire atteignant les roches sombres des montagnes. Cela aurait provoqué une fonte plus importante en altitude. Cette fonte accrue se serait peut-être produite sur toute la longueur des montagnes, notamment là où l'on a découvert les *Tullbergia*.

Un phénomène étrange, que les scientifiques dénomment aujourd'hui « effet de serre à l'état solide », est étroitement lié à cette situation. La plupart des rayons du soleil qui frappent un glacier sont réfléchis par son extérieur enneigé. Mais dans les monts Transantarctiques, où des vents forts et secs évaporent lentement la neige et la glace, les glaciers ont souvent une glace profonde et relativement transparente exposée en surface. Le rayonnement solaire



VUE VENTRALE



VUE LATÉRALE

peut pénétrer sur une profondeur de l'ordre de un mètre dans cette glace, ce qui réchauffe celle-ci et la fait fondre de l'intérieur. Andrew Fountain, glaciologue à l'université d'État de Portland, aux États-Unis, a découvert que cela peut se produire à des températures atmosphériques descendant jusqu'à -10°C .

Brenda Hall a été témoin de ce phénomène dans les montagnes du sud, jusqu'à 200 kilomètres au sud du glacier de Shackleton: «J'ai vu par des jours ensoleillés et clairs, raconte-t-elle, ces films d'eau qui descendent le long du front de la falaise de glace.»

DES HABITATS «BOUCLES D'OR»

Pour Ian Hogg et Byron Adams, ces mécanismes offrent des indices importants sur la façon dont *Tullbergia* et *Antarctophorus*, ainsi que de petits vers, acariens et autres animaux, ont pu survivre à des dizaines de périodes glaciaires le long des marges de glaciers tels que le Shackleton. Byron Adams surnomme ces milieux de vie les «habitats Boucles d'Or» – des cuvettes orientées au nord (vers le soleil) ayant juste la bonne configuration de roches sombres et de glace transparente. Cette glace aurait été bordée par une étroite bande habitable, peut-être large de quelques mètres seulement, où de petites et occasionnelles quantités d'eaux de fonte débarrassaient le sol de ses sels et grâce auxquelles les hexapodes s'hydrataient. À mesure qu'une période glaciaire s'installait et faisait remonter la glace sur les pentes, les *Tullbergia* auraient aussi remonté lentement la pente, peut-être juste de un mètre par an, s'ils avaient la chance de rencontrer des habitats Boucles d'Or en cours de route.

Ces explications semblent plausibles mais sont inachevées. Ian Hogg et Byron Adams, qui ne sont retournés ni l'un ni l'autre au glacier de Shackleton, doivent relier la génétique à une chronologie plus claire des va-et-vient de la glace de l'Antarctique. Ils doivent également voir si ce schéma se vérifie pour d'autres espèces. Avec leurs étudiants, ils essaient maintenant de séquencer l'ADN du même gène codant la cytochrome C oxydase chez une espèce d'acarien et une espèce de ver nématode qu'ils ont trouvées

sur le glacier de Shackleton et en d'autres endroits des monts Transantarctiques du Sud. Ils espèrent que la comparaison des séquences génétiques permettra d'expliquer depuis combien de temps ces autres espèces vivent ici, comment elles se sont déplacées dans le passé et comment elles ont subsisté.

Ce qui est déjà apparent, c'est que certaines espèces ont survécu de justesse. Lors des retraits glaciaires, elles ont peut-être établi de nouveaux avant-postes sur les montagnes voisines. Mais à chaque nouvelle période glaciaire, la plupart des populations se sont éteintes. *Tullbergia* porte les cicatrices de cette histoire brutale dans son ADN. Le fait que chaque individu des environs du glacier de Shackleton porte des séquences génétiques pratiquement identiques suggère qu'à un moment donné dans le passé, seulement deux de ces collembolles ont réussi à survivre. Chaque représentant vivant aujourd'hui descend de ces géniteurs, qui ont peut-être eu la chance d'être emportés par une tempête de vent sur un habitat Boucles d'Or de la taille d'un terrain de basket. *Tullbergia mediantarctica* «a été extrêmement proche de l'extinction», affirme Byron Adams.

Bien sûr, des communautés entières de plantes et d'animaux ont disparu de l'Antarctique, faisant partie des vagues d'extinctions qui ont ponctué l'histoire de la Terre. Un Antarctique plus chaud et plus humide aiderait-il *Tullbergia* à rebondir? Byron Adams était de retour dans les vallées sèches de McMurdo en janvier 2020. Le niveau des lacs monte, les sols secs deviennent plus humides et le nombre de petits animaux, tels certains vers nématodes qui vivent dans le sol, augmente. Dans le même temps, selon Byron Adams, les espèces qui ont survécu aux sols vraiment froids, secs et rudes diminuent en abondance, et leur aire de répartition se réduit. Les nouveaux arrivants évincent peut-être les plus anciens, qui s'accrochaient.

La question est de savoir si *Tullbergia* connaîtra un sort similaire. «Sur la base de ce que cette espèce a traversé dans le passé, je pense qu'elle s'en sortira plutôt bien, avance Byron Adams; tant qu'elle ne sera pas en concurrence avec les espèces envahissantes...» ■

BIBLIOGRAPHIE

G. E. Collins, **The diversity and population genetic structure of Collembola (Springtails) in Namib and Antarctic desert environments**, thèse de doctorat, université de Waikato (Nouvelle-Zélande), 2019 (<https://bit.ly/3bGnEdW>).

G. E. Collins et al., **Spatial and temporal scales matter when assessing the species and genetic diversity of Springtails (Collembola) in Antarctica**, *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 7, article 76, 2019.

T. Caruso et al., **Nematodes in a polar desert reveal the relative role of biotic interactions in the coexistence of soil animals**, *Communications Biology*, vol. 2, article 63, 2019.

L'ESSENTIEL

> Numération, dessins géométriques, tatouages, vannerie, jeux de ficelle... Au XIX^e siècle, ethnologues, missionnaires et voyageurs ont rapporté des témoignages de pratiques non occidentales qui, aujourd'hui, sont autant de sujets d'étude de l'ethnomathématique.

> Jusqu'au milieu du XX^e siècle cependant, en raison de la prégnance de certaines théories, notamment évolutionnistes, ces pratiques ont été souvent appréhendées comme des

formes de rationalité et de logique peu abouties ou distinctes de celles au cœur de la science occidentale.

> La parution de *La Pensée sauvage*, de Claude Lévi-Strauss, en 1962, a contribué significativement à la remise en cause de cette perspective.

> Plusieurs mathématiciens se sont ensuite intéressés à ces pratiques avec l'idée de mieux saisir la diversité des mathématiques.

LES AUTEURS



ERIC VANDENDRIESSCHE
ethnomathématicien
au sein du laboratoire
Science, philosophie,
histoire (Sphere) du CNRS
et de l'université de Paris



CÉLINE PETIT
ethnologue,
rattachée
au laboratoire
Sphere

Des ethnologues au pays des mathématiques

Dès la fin du XIX^e siècle, les anthropologues se sont intéressés à l'art de compter dans les sociétés non occidentales. Mais il a fallu plusieurs décennies pour que mathématiciens et anthropologues étudient les pratiques mathématiques de ces sociétés.

En 1927, alors qu'il mène des recherches ethnographiques auprès des habitants des îles de Malekula et d'Ambrym, aux Nouvelles-Hébrides (actuel Vanuatu, dans le Pacifique sud), le jeune Bernard Deacon adresse à son directeur de thèse à l'université de Cambridge, l'anthropologue Alfred Haddon, une lettre où il souligne avoir observé la manifestation de «compétences en mathématiques» chez des membres de ces sociétés alors encore souvent perçues comme «primitives»:

Les hommes plus âgés m'ont expliqué le système [de parenté d'Ambrym] avec une parfaite lucidité, je ne pourrais pas mieux l'expliquer moi-même. Il est parfaitement clair que les indigènes

(du moins les plus intelligents d'entre eux) conçoivent ce système comme un système de relations qu'ils peuvent représenter par des diagrammes. [...] La façon dont ils pouvaient raisonner sur les relations à partir de leurs diagrammes était absolument comparable à un bon exposé scientifique donné dans une salle de conférence. J'ai également recueilli [à Malekula] certaines expressions de compétences mathématiques. Lorsque j'aurai rassemblé mes matériaux, j'espère être en mesure de prouver que les autochtones sont capables d'une pensée assez abstraite.

Victime de complications du paludisme, Deacon décéda peu de temps après sur l'île de Malekula et n'eut pas l'occasion de développer son propos. Toutefois, ses notes ethnographiques nous indiquent que ces «expressions >

Ce croquis de tortue représente l'un des nombreux dessins sur le sable que le jeune anthropologue britannique Bernard Deacon recopia dans ses carnets de notes pendant son voyage dans l'archipel de l'actuel Vanuatu, dans le Pacifique sud (celui-ci sur l'île Ambrym), dans les années 1920. Ces dessins sont formés d'une ligne continue, que les nombres indiqués sur le schéma permettent de reproduire.