

L'ANTARCTIQUE ANCIEN : UN VOYAGE DE LA FORÊT À LA GLACE

Bella Duncan^{1*}, Simone Giovanardi² et Nicholas R. Golledge¹

¹Centre de Recherches de l'Antarctique, Université Victoria de Wellington, Nouvelle Zélande

²Université Massey, Auckland, Nouvelle Zélande

Quand tu penses à l'Antarctique, quelles images te viennent à l'esprit ? De la glace, des pingouins, de l'océan gelé ? C'est bien à quoi ressemble l'Antarctique aujourd'hui, mais cachés dans ses roches et sa glace se cachent des indices que l'Antarctique n'a pas toujours été une terre blanche et glaciale. Les fossiles de plantes et d'animaux nous disent qu'il y a des millions d'années, l'Antarctique était chaud et couvert de forêts. Les dauphins nageaient dans la mer et les crocodiles se vautraient dans les eaux peu profondes ! Alors, que s'est-il passé pour transformer ce monde vert en ce continent glacé qu'il est aujourd'hui ? Dans cet article, nous faisons un voyage dans le temps, explorons l'Antarctique ancien et découvrons ce qui a permis à la glace et la neige de le recouvrir.

DES PALMIERS EN ANTARCTIQUE ?

Imagine que tu es assis sur la plage, que l'air est chaud et que les dauphins s'éclaboussent dans les vagues. Les palmiers se balancent doucement dans la brise au-dessus de toi et lorsque tu regardes à l'intérieur des terres, tu vois des forêts qui s'étendent jusqu'aux collines. Tu regardes ta montre, il est minuit et le soleil est encore haut dans le ciel. Où es-tu ? Cela peut ressembler à une plage tropicale, mais il y a très, très longtemps, il y a jusqu'à 50 millions d'années, des palmiers semblables à ceux qui poussent actuellement en Indonésie bordaient la côte de l'Antarctique, notre continent le plus méridional et marquant le

AFFLEUREMENT. Zone rocheuse exposée à l'air libre.

CAROTTES DE SÉDIMENTS. Tubes longs et étroits de sédiments collectés en forant dans le sol ou le fond marin. En forant de plus en plus profondément, les carottes peuvent mesurer des centaines de mètres de long et contiennent des sédiments de plus en plus anciens.

pôle Sud. Sur ce continent, les forêts regorgeaient de hêtres, comme en Nouvelle-Zélande ou en Patagonie aujourd'hui [1]. Ces plantes de l'Antarctique ont subi 6 mois de l'année dans l'obscurité pendant le long hiver polaire et profité de 6 mois d'ensoleillement pendant l'été. L'Antarctique d'aujourd'hui est très différent, recouvert d'énormes quantités de glace avec quelques rochers, mais pas de végétation. Alors, comment une terre verte et luxuriante s'est-elle transformée en un continent gelé ? Et comment les scientifiques ont-ils découvert à quoi ressemblait l'Antarctique dans le passé ?

Lorsque les explorateurs ont commencé à étudier les roches de l'Antarctique, ils y ont trouvé des indices d'un passé plus chaud. Une expédition au début des années 1900, dirigée par Robert Falcon Scott, a recueilli des échantillons de roches alors qu'elle tentait d'être la première expédition à atteindre le pôle Sud. Ces échantillons contenaient des fossiles de feuilles vieilles de 250 millions d'années. Les fossiles sont d'anciens vestiges de vie qui peuvent être conservés dans les roches (Figure 1). Malheureusement, les explorateurs sont morts à cause du mauvais temps en essayant de retourner à leurs bateaux sur la côte. Les roches importantes contenant les fossiles de feuilles anciennes ont été retrouvées à côté de leurs corps. Tout au long des années 1900, les géologues (scientifiques qui étudient la Terre) ont découvert de plus en plus de fossiles de plantes et d'animaux dans les roches et les affleurements dispersés sur les petites parcelles de l'Antarctique qui ne sont pas recouvertes de glace. Ces découvertes ont montré que la vie végétale prospérait autrefois sur le continent, mais notre compréhension de comment et quand le climat a changé n'a commencé qu'après l'analyse du fond marin près de l'Antarctique, dans les années 1970.

COMMENT SAVONS-NOUS À QUOI RESSEMBLAIT L'ANTARCTIQUE DANS LE PASSÉ ?

Nous pouvons obtenir des informations sur le climat passé en utilisant des foreuses permettant de recueillir des carottes de sédiments que nous étudions en laboratoire. Les carottes de sédiments sont un peu comme des capsules temporelles (Figure 1). Les sédiments tels que le sol, la boue, le sable et les roches sont arrachés à la terre par l'érosion et transportés par des processus naturels tels que le vent, les rivières et les glaciers. Ces sédiments se déposent dans des endroits comme le fond marin ou les lits des lacs, où ils s'accumulent, couche par couche. Nous pouvons forer à travers ces couches et en extraire un long cylindre appelé carotte, dans lequel les sédiments sont de plus en plus anciens à mesure que nous nous enfonçons. Une carotte peut nous fournir une énorme quantité d'informations sur ce qu'était l'environnement dans le passé.

PALÉOCLIMATOLOGUES

. Scientifiques qui étudient le climat passé de la Terre.

CALOTTE GLACIAIRE.

Énorme quantité de glace couvrant plus de 50 000 km².

DIAMICTITE. Type de roche sédimentaire ressemblant à des gravats, mélange de roches, de sable et de boue déposés sous une calotte glaciaire.

Les **paléoclimatologues**, c'est-à-dire les scientifiques qui étudient le climat passé, utilisent trois types d'informations pour comprendre à quoi ressemblait l'Antarctique autrefois (**Figure 1**). Les carottes de glace, contenant des couches annuelles de neige déposées sur l'Antarctique, peuvent fournir des données climatiques très détaillées, mais elles ne couvrent que le passé le plus récent, environ le dernier million d'années. Les affleurements rocheux exposés à l'air libre peuvent nous donner des instantanés du passé, tandis que les carottes de sédiments donnent un enregistrement plus continu, remontant à plusieurs dizaines de millions d'années. Le type de sédiment trouvé dans une carotte de sédiments montre ce qui s'est produit sur le site dans le passé. Par exemple, les **calottes glaciaires** transportent un mélange désordonné de roches, de sable et de boue à leur base, et elles laissent ce matériau derrière elles dans des couches ressemblant à des gravats appelées **diamictites**. Les fossiles présents dans ces sédiments, comme le pollen de plantes, les restes de plancton océanique ou les composés chimiques qui formaient autrefois le revêtement cireux des feuilles, peuvent être utilisés pour dresser un tableau plus détaillé de l'environnement. Ils nous indiquent quelles plantes et quels animaux étaient présents, quelle était la température et si le climat était humide ou sec.



Figure 1. Les paléoclimatologues étudient le climat passé de l'Antarctique à l'aide de trois méthodes clés. À gauche : les carottes de glace contiennent des couches de glace accumulées par les chutes de neige annuelles. Au milieu : les carottes de sédiments sont constituées de différentes couches, chacune reliée à ce qu'était l'environnement du site à l'époque où cette couche s'est déposée au fond des lacs et de l'océan. La couche supérieure est constituée d'un mélange d'argile et de plancton fossile ; la couche médiane est une sorte de mille-feuilles de grès et d'argile ; la troisième couche est constituée d'un mélange de boue, de sable et de roches, ressemblant à des gravats et appelé diamictite. À droite : les affleurements rocheux sont des roches exposées à l'air libre et dans lesquelles on trouve des feuilles fossilisées.

QUAND L'ANTARCTIQUE S'EST-IL RECOUVERT DE GLACE ?

Lorsque les scientifiques ont commencé à collecter des carottes de sédiments autour de l'Antarctique, ils ont remarqué qu'un grand changement s'était produit il y a environ 34 millions d'années (Figure 2). Avant cela, les sédiments et les fossiles indiquaient un paysage chaud et sans glace, avec une grande variété de plantes. Mais il y a 34 millions d'années, des traces de glace ont commencé à apparaître. Des blocs de délestage, petits rochers présents dans la boue du fond marin, indiquent la présence d'icebergs.

BLOCS DE DÉLESTAGE.

Roches transportées par les icebergs, qui s'en détachent et tombent au fond de la mer lorsque l'iceberg fond.

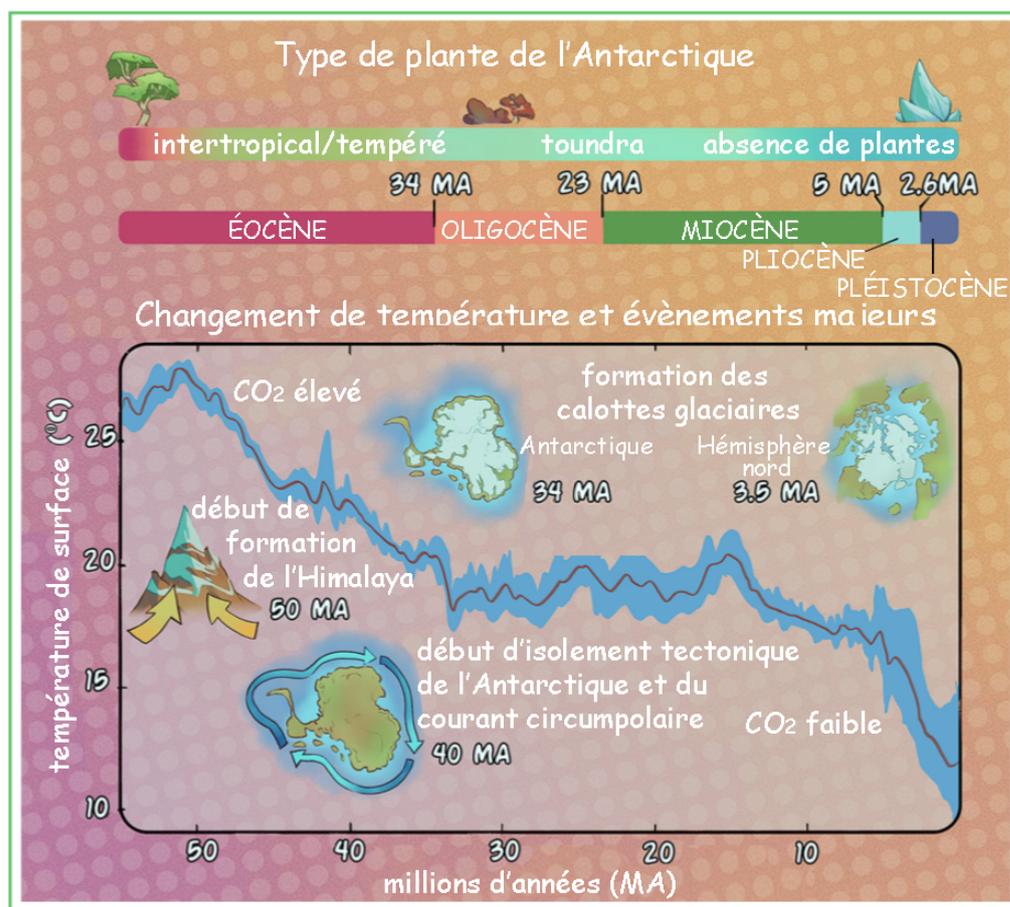


Figure 2. Au cours des 55 derniers millions d'années, l'Antarctique est passé d'un continent chaud et couvert de forêts à la terre gelée qu'il est aujourd'hui. En haut : la barre montre l'évolution de la végétation au fil du temps (forêts tropicales puis tempérées, toundra et finalement disparition des végétaux) et les époques géologiques de cette période sont indiquées en dessous. Le graphique montre la température moyenne au cours des 55 derniers millions d'années [2], de la température chaude de l'Éocène avec des niveaux élevés de CO₂ au froid actuel avec des niveaux de CO₂ plus faibles. Au cours de cette période, des événements importants se sont produits, comme la formation des calottes glaciaires de l'Antarctique et de l'hémisphère Nord, l'émergence de l'Himalaya, le début de l'isolement tectonique de l'Antarctique et la mise en place du courant océanique circumpolaire.

Les changements dans les fossiles ont montré un refroidissement du climat et la vie végétale s'est mise à ressembler à celle de la toundra, des paysages arctiques du nord du Canada ou de la Russie aujourd'hui (Figure 3).

Dans certaines carottes proches du continent, des diamictites ont commencé à apparaître. Tout cela prouve la première apparition de grandes calottes glaciaires couvrant tout le continent Antarctique à une époque connue sous le nom de limite Éocène-Oligocène (Figure 2) [3].

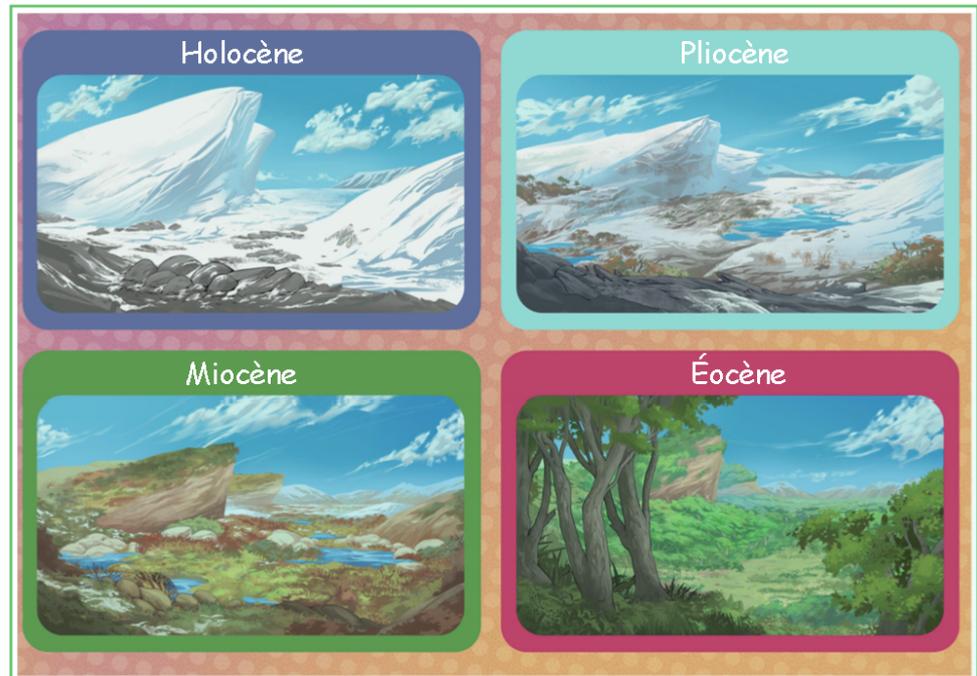


Figure 3. Illustrations du paysage de l'Antarctique au cours de différentes périodes des temps géologiques appelées époques. À l'époque la plus ancienne, l'Éocène, il y a 55 à 34 millions d'années, l'Antarctique était couvert de forêts. Au Miocène, il y a 23 à 5,3 millions d'années, la végétation était celle d'une toundra froide. Au Pliocène, il y a 5,3 à 2,6 millions d'années, la végétation avait pratiquement disparu de l'Antarctique. L'Holocène est l'époque géologique actuelle et représente l'Antarctique moderne (Figure basée sur [ici](#)).

POURQUOI L'ANTARCTIQUE S'EST-IL REFROIDI ?

Le climat de l'Antarctique a continué à se refroidir lentement au cours des 34 derniers millions d'années, pour finalement devenir l'endroit glacé et sans végétation que nous connaissons aujourd'hui [4]. Ce refroidissement a été causé par la diminution du niveau de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère. Le carbone de la Terre est réparti entre l'atmosphère, les océans, la biosphère (végétation) et les sédiments. Il y a cinquante millions d'années, il y avait plus de CO_2 dans l'atmosphère, ce qui a augmenté la température, comme dans une serre, et permis aux forêts de pousser en Antarctique. Depuis, plusieurs processus environnementaux importants ont joué un rôle dans le transfert du carbone de l'atmosphère vers les sédiments au fond de l'océan, diminuant le CO_2 dans l'atmosphère et refroidissant ainsi le climat.

La surface de la Terre est constituée d'énormes morceaux, appelés **plaques tectoniques**. Au fil du temps, les plaques tectoniques se déplacent, modifiant les courants océaniques, provoquant la formation de montagnes dans des endroits comme l'Himalaya et changeant la

PLAQUES

TECTONIQUES. Plaques massives de la croûte externe de la Terre qui se déplacent lentement et s'emboîtent comme un puzzle géant recouvrant la planète.

forme des continents. Le mouvement des plaques tectoniques autour de l'Antarctique a éloigné l'Australie et l'Amérique du Sud, ce qui a isolé l'Antarctique et conduit au développement de l'océan Austral et du courant circumpolaire antarctique, un courant océanique rapide qui fait tout le tour de l'Antarctique. Cette très grande zone ventueuse de l'océan autour de l'Antarctique extrait une énorme quantité de carbone de l'atmosphère, en partie parce que le CO₂ se dissout dans l'eau de mer et en partie à cause des petites créatures océaniques qui utilisent le carbone pour se développer et construire des coquilles. Lorsque ces organismes meurent, leurs coquilles tombent dans les sédiments et piègent le carbone au fond de l'océan. D'autres processus naturels peuvent également éliminer le CO₂ de l'atmosphère et l'emprisonner. Par exemple, les roches contenant certains minéraux peuvent réagir avec le CO₂ lorsqu'elles sont érodées, prélevant du CO₂ de l'atmosphère et le transportant à travers les rivières dans l'océan et les sédiments océaniques profonds

LIRE L'HISTOIRE ANCIENNE DE L'ANTARCTIQUE

Le climat de l'Antarctique s'est généralement refroidi au cours des 50 derniers millions d'années, mais sur des échelles de temps plus courtes, il y a eu beaucoup de variations. De courts cycles de refroidissement et de réchauffement, connus sous le nom de **périodes glaciaires** et de **périodes interglaciaires**, se sont succédé pendant des millions d'années. Tu connais peut-être notre période glaciaire la plus récente, il y a 18 000 ans : la dernière glaciation. Ces cycles sont causés par des changements dans l'orbite de la Terre, ce qui modifie la quantité de soleil et de chaleur atteignant les régions polaires. Cela se produit de manière périodique, les glaciations se produisant tous les 100 000 ou 40 000 ans selon l'orbite exacte de la Terre.

Ces cycles se sont également produits il y a plusieurs millions d'années, comme le montrent les changements répétés dans les couches de sédiments des carottes de forage. Les carottes de la mer de Ross au large de l'Antarctique montrent souvent une couche de diamictite suivie de sables et d'argile avec des blocs de délestage occasionnels. Il s'agit d'un changement dans l'environnement. La calotte glaciaire (à l'origine des diamictites) devient une couche de glace flottante. Lorsque la couche de glace fond et que seul l'océan se trouve au-dessus, les sédiments se remplissent des fossiles de minuscules plantes et animaux qui vivaient dans l'océan. Cet ensemble de couches de sédiments, comme le montre la carotte de sédiments de la **Figure 1**, se répète généralement régulièrement dans ces carottes, au fur et à mesure que la calotte glaciaire s'agrandit et rétrécit au cours des périodes glaciaires et interglaciaires. Les scientifiques lisent ces couches de sédiments comme les pages d'un livre, racontant l'histoire des changements de la calotte glaciaire de l'Antarctique dans le passé.

PÉRIODES GLACIAIRES.

Périodes avec un climat froid, comme la dernière glaciation.

PÉRIODES INTERGLACIAIRES.

Périodes avec un climat chaud, entre les périodes glaciaires.

L'ANTARCTIQUE DANS LE FUTUR

Les paléoclimatologues dressent un tableau de l'environnement du passé pour nous aider à comprendre quels types de changements pourraient se produire sur notre planète à cause des changements climatiques actuels et futurs. En Antarctique, les paléoclimatologues se concentrent souvent sur les périodes où le CO₂ et les températures étaient plus élevés qu'aujourd'hui, car cela nous donne des indications sur ce à quoi pourrait ressembler l'Antarctique si nous atteignons à l'avenir des températures ou des valeurs de CO₂ similaires à celles du passé. Au fur et à mesure que les niveaux de CO₂ augmentent, le monde futur ressemblera de plus en plus à des mondes d'un passé plus lointain. Bien qu'il soit peu probable que nous soyons assis sous un palmier sur une plage près du pôle Sud de sitôt, le retrait de la glace et un climat plus chaud pourraient provoquer le retour d'un Antarctique vert.

RÉFÉRENCES

- [1] Pross, J., Contreras, L., Bijl, P. K., Greenwood, D. R., Bohaty, S. M., Schouten, S., et al. 2012. Persistent near-tropical warmth on the Antarctic continent during the early Eocene epoch. *Nature* 488:73–7. doi: 10.1038/nature11300
- [2] Hansen, J., Sato, M., Russell, G., and Kharecha, P. 2013. Climate sensitivity, sea level and atmospheric carbon dioxide. *Philos. Trans. Royal Soc. A* 371:20120294. doi: 10.1098/rsta.2012.0294
- [3] Galeotti, S., Bijl, P., Brinkuis, H., DeConto, R. M., Escutia, C., Florindo, F., et al. 2022. "The Eocene-Oligocene boundary climate transition: an Antarctic perspective," in *Antarctic Climate Evolution*, eds F. Florindo, M. Siegert, L. De Santis, and T. Naish (Amsterdam: Elsevier), 297–361. doi: 10.1016/B978-0-12-819109-5.00009-8
- [4] McKay, R. M., Escutia, C., De Santis, L., Donda, F., Duncan, B., Gohl, K., et al. 2022. "Cenozoic history of Antarctic glaciation and climate from onshore and offshore studies," in *Antarctic Climate Evolution*, eds F. Florindo, M. Siegert, L. De Santis, and T. Naish (Amsterdam: Elsevier), 41–164. doi: 10.1016/B978-0-12-819109-5.00008-6

REMERCIEMENTS

BD a bénéficié d'un financement par la bourse postdoctorale de la Fondation Te Apārangi Rutherford de la Royal Society (RFT-VUW1804). BD et NG sont reconnaissants du financement fourni par le ministère néo-zélandais des Affaires, de l'Innovation et de l'Emploi par l'intermédiaire de la Plateforme scientifique de l'Antarctique (ANTA1801). NG remercie également le ministère néo-zélandais des Affaires, de l'Innovation et de l'Emploi pour le financement du programme « Our Changing Coast » (RTVU2206).

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par *Frontiers for Young Minds* (doi: 10.3389/frym.2023.1031609 ; Duncan B, Giovanardi S and Golledge N

(2023) Ancient Antarctica—A Journey From Forests to Ice. *Front. Young Minds.* 11:1031609).

TRADUCTION : Jean-Marie Clément, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

MENTOR SCIENTIFIQUE : Louis-David Beaulieu, Université du Québec à Chicoutimi

JEUNES ÉDITEURS :

THOMAS 11 ANS, MALOÉ 11 ANS, VICTOR 10 ANS

Nous sommes un trio d'amis depuis plus de 5 ans qui se sont rencontrés à l'École Sainte-Thérèse de la Baie (Saguenay-Lac-St-Jean, Québec, Canada). Nous sommes des jeunes énergiques, passionnés par la science, la lecture et les jeux vidéo.

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 30 août 2022 ; **ACCEPTÉ** le 3 octobre 2023 ;

PUBLIÉ EN LIGNE le 19 octobre 2023. **ÉDITEUR** : Noemie Ott

MENTORS SCIENTIFIQUES : Adam Hartstone-Rose, Xiaoming Wan

CITATION : Duncan B, Giovanardi S and Golledge N (2023) Ancient Antarctica—A Journey From Forests to Ice. *Front. Young Minds.* 11:1031609. doi: 10.3389/frym.2023.1031609

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

DROITS D'AUTEURS

Copyright © 2023 Duncan, Giovanardi et Golledge

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES EXAMINATEURS

ADDY, 14 ANS

Je suis en 8^{ème} année et j'aime vraiment faire du bénévolat dans mon musée local. J'aime beaucoup aider les animaux et j'espère devenir avocate en droit de l'environnement quand je serai plus grande. Mon

cours préféré à l'école est mon cours de danse (je suis très souple), et j'adore voyager.

LEAF, 9 ANS

Je suis en troisième année et mes matières préférées sont l'art et les sciences. J'aime observer les changements dans le monde. J'aime travailler en tant que jeune examinateur car je peux observer beaucoup mieux les changements autour de moi grâce à ce bagage scientifique. Pendant mes loisirs, j'aime faire de la randonnée, nager et faire du vélo avec mes amis.

TEDDY, 12 ANS

Je veux être ingénieur. Je me suis donné beaucoup de mal pour apprendre à concevoir et à coder des choses. Je suis dyslexique. J'aime beaucoup les mathématiques (en particulier l'algèbre et la géométrie). J'aime voyager. Je fais 30 miles à vélo par semaine la plupart des semaines.

AUTEURS

BELLA DUNCAN

Bella est chercheuse au Centre de recherche sur l'Antarctique de l'Université Victoria de Wellington, en Nouvelle-Zélande. Elle étudie le climat passé de l'Antarctique depuis 10 ans, en doctorat puis en poursuivant ses recherches postdoctorales. Elle utilise des fossiles moléculaires, les restes chimiques de la vie, pour étudier à quoi ressemblait l'environnement antarctique dans le passé. Au début de son doctorat, elle a eu la chance d'aller en Antarctique, où elle a trouvé d'anciens fossiles de feuilles préservés dans des roches parmi la glace. C'est ce qui l'a incitée à devenir climatologue en Antarctique !
*bella.duncan@vuw.ac.nz

SIMONE GIOVANARDI

Simone est un illustrateur et un chercheur qui étudie les fossiles de manchots disparus aujourd'hui. Passionné par le Paléoart (art de la vie ou des environnements anciens) et les illustrations pour communiquer la science, Simone travaille également pour les jeux vidéo.

NICHOLAS R. GOLLEDGE

Nicholas est professeur de glaciologie à l'Université Victoria de Wellington (Nouvelle-Zélande), et travaille en Antarctique par intermittence depuis 14 ans. Avant de s'installer en Nouvelle-Zélande, il a passé 12 ans en tant que géologue au British Geological Survey à Édimbourg (Royaume-Uni). Nick est auteur de plus d'une centaine d'articles scientifiques et, récemment, l'un des principaux auteurs du sixième rapport d'évaluation du GIEC. Il dirige un certain nombre de projets de recherche en Nouvelle-Zélande et collabore avec des scientifiques du monde entier.