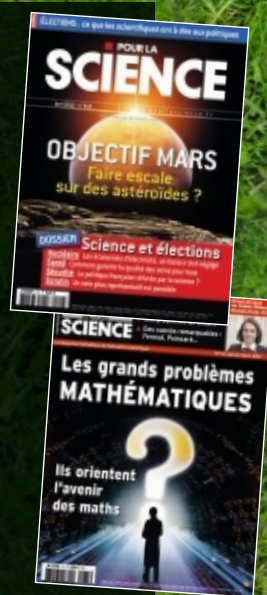


**POUR LA
SCIENCE**



- ✓ **Pratique** avec un paiement tous les 3 mois
- ✓ **Économique** par rapport au prix en kiosque
- ✓ **Modulable** : vous choisissez votre durée !



**POUR LA
SCIENCE**

□ Oui, je m'abonne à **Pour la Science** (12 n^{os}/an) + **Dossier Pour la Science** (4 n^{os}/an) au prix de **19€** par trimestre ou 76€ pour un an. Je reçois 16 numéros par an et bénéficie aussi des versions numériques sur www.pourlascience.fr

[illegible]

③ Je choisis mon mode de règlement

**** Abonnement valable uniquement en France métropolitaine, renouvelable à échéance par tacite reconduction et dénonçable à tout moment avec un préavis de 3 mois.**

Titulaire du compte à débiter

Établissement teneur du compte à débiter

Compte à débiter

Date et signature (obligatoire)

*** Offre valable en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter au prix de l'abonnement : Europe 16 € - autres pays : 35 €

☐ par carte bancaire

Signature obligatoire :

PLS415 – Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31.05.2012

L'ANTARCTIQUE, terre promise des PALÉONTOLOGUES

Sébastien Steyer et Diego Gerez

L'ESSENTIEL

- ✓ L'Antarctique a fait partie de l'ancien supercontinent du Gondwana, ce qui lui confère un grand intérêt paléontologique.
- ✓ Seules les montagnes qui traversent le continent rendent possible l'accès aux formations géologiques.
- ✓ Les paléontologues y ont déjà découvert de nombreux fossiles de plantes et d'animaux, dont certains aident à comprendre l'histoire de la vie.
- ✓ L'exploration paléontologique du grand continent blanc, malgré le climat extrême, est riche de promesses.

Les fossiles de l'Antarctique témoignent d'étapes clefs de la vie. Le grand continent blanc a en effet plusieurs fois servi de refuge ou de pont entre l'Océanie et les Amériques, voire l'Afrique.

Les découvertes paléontologiques se suivent et ne se ressemblent pas en Antarctique. Dinosaures, stégocéphales (des amphibiens primitifs), mammifères anciens, insectes, microfossiles de bactéries, plantes... : le continent glacé a manifestement accueilli dans le passé de nombreuses formes de vie, ce qui, malgré les difficultés du travail de terrain, pousse de plus en plus de paléontologues à partir pour l'extrême Sud. L'histoire géologique de la Terre et celle de la vie sont telles qu'à plusieurs reprises, l'Antarctique a joué un rôle clef dans l'évolution de la vie. Nous l'illustrerons en présentant les plus notables des fossiles déjà découverts sur le continent blanc.

L'Arctique polaire est une mer recouverte de glace, tandis que les 14 millions

de kilomètres carrés de l'Antarctique sont isolés par les eaux océaniques. Quelque 3 600 kilomètres séparent ainsi l'Antarctique de l'Afrique du Sud, 2 000 de la Tasmanie ou de la Nouvelle-Zélande, et 1 000 de l'Amérique du Sud. Toutes situées à plus de 60 degrés de latitude Sud, les terres antarctiques sont les plus froides de la planète : la température la plus basse jamais relevée sur Terre l'a été à la station antarctique russe de Vostok : $-89,2^{\circ}\text{C}$...

L'altitude moyenne de l'Antarctique, 2 300 mètres, en fait aussi le continent le plus élevé du monde. Toutefois, cette

1. DES ROCHES FOSSILIFÈRES ? C'est ce que se demande ce paléontologue, heureux d'être parvenu au pied de l'une des rares formations géologiques accessibles en Antarctique.



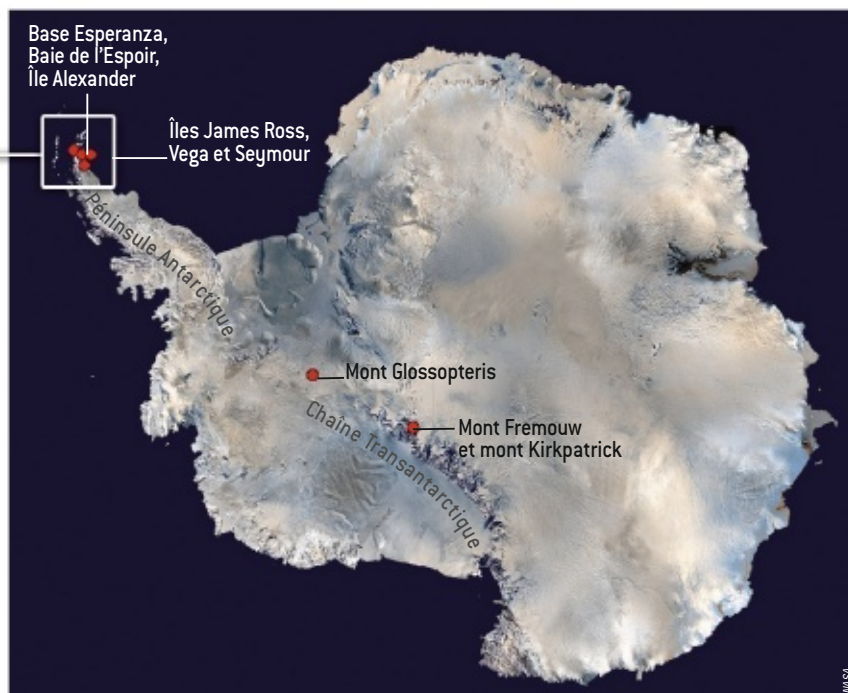
© Gavin Powell/Corbis



Îles James Ross

James Ross/MASA

2. LES PRINCIPAUX SITES À FOSSILES de l'Antarctique se concentrent pour l'instant dans les zones montagneuses que sont la chaîne Transantarctique, la péninsule Antarctique et des îles proches. Ces montagnes sont pratiquement les seuls endroits où affleurent de grandes formations géologiques susceptibles de contenir des fossiles.



MASA

valeur résulte avant tout des épaisseurs de glace : elles atteignent quatre kilomètres. Ces calottes empêchent d'accéder directement au sous-sol antarctique, dont la forme se révèle grâce à la mesure de l'épaisseur de la glace conjuguée à l'imagerie radar par satellite. Le socle rocheux sous-jacent se trouverait en fait à deux kilomètres sous le niveau de la mer en moyenne !

Deux grandes calottes glaciaires, – la calotte orientale et la calotte occidentale – recouvrent l'Antarctique. Le relief sous-glaciaire (et potentiellement sous-marin) de la calotte orientale a la forme de sous-massifs montagneux marqués de vallées, où s'écoulent de nombreuses rivières souterraines, qui participent à la progression des glaces vers les océans périphériques. Et récemment, 145 lacs sous-glaciaires ont été détectés à distance et cartographiés.

Les paléontologues espèrent que ce paysage enfoui a gardé des traces de l'évolution des faunes et des flores qui ont habité le Gondwana. Cet ancien supercontinent de l'hémisphère Sud s'est assemblé il y a 550 à 500 millions d'années et regroupait les terres qui allaient devenir les actuelles Afrique, Amérique du Sud, Australie, Inde, Madagascar, Nouvelle-Guinée, péninsule Arabique, Tasmanie, et... Antarctique. Le Gondwana est resté à peu près compact durant l'évolution des premiers verté-

brés à pattes (des tétrapodes) – c'est-à-dire du Dévonien moyen (il y a 370 millions d'années) à la fin du Permien (251 millions d'années) – ainsi que pendant l'apparition des dinosaures et autres reptiles, jusqu'au Trias supérieur (200 millions d'années environ). Vers le début du Jurassique, il y a quelque 184 millions d'années, un réseau de rifts l'a fragmenté en plusieurs plaques qui ont commencé à s'écarter (voir la figure 3).

Toutefois, le trio de plaques constitué par l'Australie, l'Antarctique et l'Amérique du Sud est resté connecté ou presque jusqu'à la fin du Crétacé, voire au-delà. Il a ainsi joué un rôle clef dans l'évolution des espèces : celui d'un pont intercontinental emprunté par les grandes migrations. Les paléontologues se posent à ce propos de nombreuses questions, auxquelles, espèrent-ils, les fossiles apporteront des éléments de réponse.

Premiers tétrapodes terrestres ?

L'Antarctique est restée 170 millions d'années soudée à d'autres continents, à l'époque où apparaissaient les amphibiens anciens (ancêtres de tous les vertébrés terrestres) et les reptiles antérieurs aux dinosaures. Cette longue durée est liée au fait que l'une de ses deux grandes provinces géologiques, l'Antarctique oriental, est un vaste craton, c'est-à-dire un élément de

croûte continentale dont toutes les unités géologiques partagent la même histoire depuis plusieurs cycles tectoniques. De fait, ses roches remontent toutes au moins au Précambrien (il y a plus de 542 millions d'années) : il s'agit de gneiss et de granites, dont certains datent de trois milliards d'années. De ce craton fortement érodé, il ne reste aujourd'hui que les zones plissées les plus profondes, qui forment le socle d'anciennes chaînes de montagnes.

Or à la fin du Permien, il y a quelque 250 millions d'années, 70 pour cent des espèces terrestres et 95 pour cent des espèces marines ont disparu. La région antarctique a-t-elle pu jouer le rôle de refuge pour des amphibiens et des reptiles anté-dinosauriens qui auraient survécu à cette grande crise biotique ? Y retrouvera-t-on un jour le squelette de l'un des premiers tétrapodes terrestres ? Ce serait passionnant, mais pour le moment, on voit mal comment : pour accéder à d'éventuels sites à fossiles, il faudrait franchir plusieurs kilomètres de glace...

C'est pourquoi les espoirs de trouver des fossiles clefs se portent surtout sur la seconde grande province géologique du continent blanc : l'Antarctique occidentale. Même si cette zone est recouverte par la calotte occidentale, les anciens fonds océaniques qui la constituent en partie ont été comprimés par la tectonique. Ces strates plissées et accompagnées

de roches éruptives jurassiques forment deux grandes chaînes de montagnes : la péninsule Antarctique et la chaîne Transantarctique. La première serait le prolongement de la cordillère des Andes avant que le Gondwana ne se disloque définitivement, il y a 50 millions d'années. La seconde résulterait de la collision entre l'Antarctique occidentale et l'Antarctique orientale, collision en cours depuis la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années. Elle est aussi composée de grès, d'argiles, de silts, de charbons, etc., bref de sédiments plissés et déposés entre le Dévonien (voire le Silurien) et le Jurassique, soit sur plus de 200 millions d'années. Ces deux chaînes de montagnes ont l'avantage d'être en partie accessibles, car elles émergent de la mer et de la glace.

Pour l'heure, les explorations paléontologiques se sont davantage portées sur la péninsule Antarctique, plus accessible. Près de la baie de l'Espoir (*Hope Bay*), non loin de la base argentine d'Esperanza, les schistes noirs du mont Flora ont livré de nombreux fossiles de plantes du Jurassique. Ces vestiges permettent d'établir des liens avec les gisements comparables de l'hémisphère Nord et renseignent aussi sur les paléoclimats antarctiques. Le continent n'a en effet pas toujours été aussi froid : la tectonique lui a fait subir beaucoup de déplacements dans l'hémisphère Sud et il y a plus de 440 millions d'années, il s'est même trouvé proche de l'équateur !

Pendant une partie importante de son histoire, l'Antarctique a donc été couvert

de forêts luxuriantes sous des climats chauds ou tempérés. De fait, la flore du mont Flora comprend des espèces – dont certaines nouvelles – de bryophytes (mousses), de sphénophytes (prêles), de fougères, de cycadales, de ptéridospermées (fougères à graines) et de conifères. Seul site à paléoflore du continent à avoir fait l'objet d'études approfondies, le mont Flora est devenu une référence pour le Jurassique, notamment en raison des conditions exceptionnelles qui y ont rendu possible la fossilisation de bois. Toutefois, l'Antarctique nous en dira sans doute beaucoup plus sur l'évolution des plantes : Jane Francis, de l'Université de Leeds en Grande-Bretagne, reconstitue par exemple la composition des forêts crétacées de l'île Alexander, et en tire aussi des informations climatiques.

Des dinosaures à Santa Marta

C'est aussi à l'extrémité de la péninsule Antarctique qu'ont été découverts la plupart des sites à dinosaures de l'Antarctique. Ainsi, la formation de Santa Marta, sur l'île James Ross, prospectée notamment par le Service britannique de recherche en Antarctique (*British Antarctic Survey*), a fourni depuis les années 1970 de nouveaux poissons cartilagineux (requins) et osseux (actinoptérygiens), mais aussi d'abondants restes de reptiles marins de type mosasaure (*Taniwhasaurus antarticus*). Ce dernier se révèle

LES AUTEURS



Sébastien STEYER, paléontologue, est chargé de recherche au CNRS et travaille au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.

Diego GEREZ est archéologue indépendant, spécialisé dans l'observation de la Terre depuis l'espace.

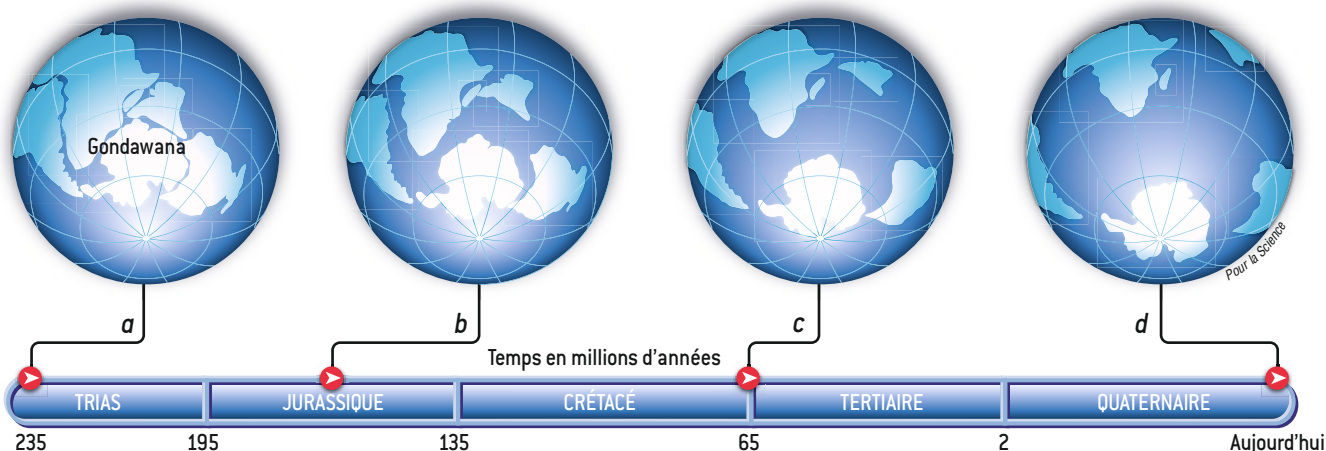
✓ BIBLIOGRAPHIE

P. Vickers-Rich et T. Rich, *Les dinosaures polaires*, Dossier Pour la Science n° 1, « Les dinosaures », pp. 44-49, 1993.

C. Lorius et L. Carpentier, *Voyage dans l'Anthropocène*, Actes Sud, 2011.

J. S. Steyer, *La Terre avant les dinosaures*, Belin-Pour la Science, 2009.

C. Sidor et al., *Parotosuchus* (Temnospondyli : Mastodonsauridae) from the Triassic of Antarctica, *Journal of Vertebrate Paleontology*, vol. 27(1), pp. 232-235, 2007.



3. FORMÉ IL Y A PLUS DE 500 MILLIONS D'ANNÉES, le supercontinent Gondwana s'est ensuite intégré à un supercontinent plus grand encore : la Pangée [a]. Au début du Jurassique, la Pangée se fracture, libérant le Gondwana qui commence aussitôt à se disloquer. Il y a 160 millions d'années [b], l'Amérique du Sud, l'Afrique, Madagascar, l'Inde, la Nouvelle-Zélande, l'Australie, l'Antarctique et la Nouvelle-Guinée sont encore très proches au sein du Gondwana. Ensuite, les péninsules Antarctique et Sud-Améri-

caine demeurent plus ou moins connectées, et le resteront jusqu'à la séparation définitive du bloc Inde-Madagascar vers 105 millions d'années. À la fin du Crétacé [c], il y a environ 65 millions d'années, l'Australie et la Nouvelle-Guinée se séparent de l'Antarctique tout en restant proches jusqu'à 40 millions d'années, de sorte que des connexions épisodiques s'établissent en fonction du niveau marin. Aujourd'hui, l'Antarctique est totalement isolé de l'Australie et de l'Amérique du Sud [d].



4. CETTE MOLAIRE SUPÉRIEURE

de marsupial a été trouvée dans la formation géologique de La Meseta sur l'île Seymour (ci-contre) par Francisco Goin, du Musée de La Plata en Argentine, et des collègues. Elle ajoute au registre fossile antarctique une seconde espèce de marsupial, de la famille des microbiotheriidés.

À gauche: F. Goin, Musée de La Plata; à droite: Kurtis Burmeister, National Science Foundation



proche de formes observées en Patagonie et en Nouvelle-Zélande, ce qui suggère la proximité de ces terres à la fin du Crétacé.

Un nouveau genre de dinosaure herbivore massif et caparaçonné y a aussi été découvert en 1986 par les géologues argentins Eduardo Olivero et Roberto Scasso. Une unique espèce le représente: *Antarctopelta oliveroi* (voir la figure 6).

Les grès marins du Crétacé supérieur de l'île Vega sont également connus pour leurs reptiles marins (mosasaures et plésiosaures). Ils ont par ailleurs livré des restes d'oiseaux et d'autres dinosaures carnivores (théropodes). Une dent typique du groupe des hadrosaures, des dinosaures à bec de canard, a été mise au jour en 1998 sur cette île lors d'une expédition argentino-américaine. Cette première pour le continent est d'importance, car elle suggère que la faune a fait l'objet de grandes migrations entre l'Amérique du Sud et l'Antarctique vers la fin du Crétacé, il y a environ 67 millions d'années.

Tout indice sur la diffusion, via l'Antarctique, des faunes de vertébrés terrestres postérieurs à la crise biotique de la fin du Crétacé est aussi d'un grand intérêt. En 1982, une équipe américaine de l'Institut d'études polaires de l'Ohio a découvert pour la première fois des marsupiaux fossiles (du groupe des polydolopides) sur l'île Seymour (voir la figure 4). Datant d'environ 40 millions d'années, ces fossiles prouvent que l'Antarctique a assuré après le Crétacé un passage entre l'Australie et l'Amérique du Sud. Les migrations se sont peut-être effectuées en relation avec les arbres du genre *Nothofagus*, répandu des deux côtés de l'Océanie, c'est-à-dire à la

Les végétaux fossiles

✓ En Antarctique, on a découvert des fossiles de végétaux surtout dans la péninsule Antarctique. Les premiers ont été mis au jour il y a plus d'un siècle sur le mont Flora qui domine la baie de l'Espoir, non loin de la station argentine Esperanza. Ces fossiles montrent que, malgré la latitude élevée, des forêts tempérées ont existé en Antarctique au Jurassique et au Crétacé.

Par ailleurs, des plantes du genre *Glossopteris* (ci-dessous), typique du Permien, ont été mises au jour au centre de la chaîne Transantarctique, sur une montagne nommée depuis... le mont *Glossopteris*.



Peter Rajcek, National Science Foundation

fois en Amérique du Sud, en Nouvelle-Guinée, en Australie, en Nouvelle-Zélande et en Nouvelle-Calédonie. Quoi qu'il en soit, ces migrations expliquent en partie que l'on trouve aujourd'hui des marsupiaux en Amérique (les didelphidés ou opossums) et pas seulement en Océanie.

Outre ces mammifères terrestres, des restes d'une baleine de 49 millions d'années ont été découverts en 2011 sur l'île Seymour par une équipe de l'Institut argentin de l'Antarctique et des muséums de La Plata et de Stockholm. Ce cétacé carnivore appartient au groupe des Basilosauridés, dont la présence dans les mers du Sud était déjà connue. On apprend ainsi que l'un de ses représentants séjournait en Antarctique. D'une taille de quatre à six mètres, l'animal est le plus ancien cétacé aquatique connu.

Chaîne Transantarctique: des fossiles clefs

L'exploration paléontologique de la chaîne Transantarctique semble aussi prometteuse. Ses montagnes comportent en effet des roches fossilifères déposées plus ou moins en continu entre 400 et 180 millions d'années. Surmontant un socle de basalte et de gneiss, ces strates correspondent à des sédiments plutôt continentaux (grès, siltite, houille). Véritable fenêtre ouverte sur l'évolution, elles affleurent sur les versants de la chaîne et constituent une aubaine pour les paléontologues s'intéressant à l'émergence de la vie sur Terre, puisque certaines couches ont été formées avant et après la grande crise biotique de la fin du Permien.

En paléobotanique, la moisson a été jusqu'ici mince, mais cela ne durera probablement pas. Il suffit de penser au mont *Glossopteris*, que l'on nomma ainsi en 1958 après que des empreintes de ce genre de fougères géantes du Permien eurent été découvertes sur sa face Nord (voir page précédente).

Dans le cadre du programme de la Fondation américaine pour la science (NSF) pour l'exploration de la chaîne Transantarctique, une équipe créée par William Hammer, de l'*Augustana College* dans l'Illinois, aux États-Unis, tente de trouver dans ces montagnes des fossiles couvrant tout le Mésozoïque (Trias, Jurassique et Crétacé). Depuis peu, elle se concentre sur les strates de la formation triasique de Fremouw (voir la figure 2).

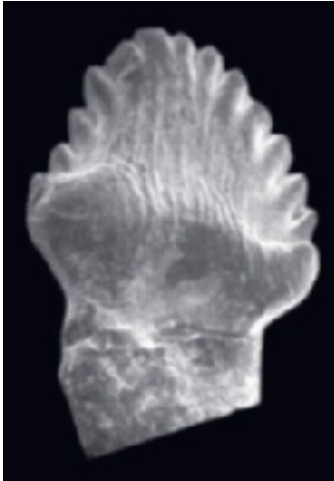
Amphibiens à écailles sur le pic Fremouw

Les découvertes que cette équipe y a réalisées constituent un témoignage complémentaire sur la reconquête de la Terre par la vie après la grande catastrophe de la fin du Permien. Les chercheurs ont notamment mis au jour des restes de reptiles synapsides (reptiles mammaliens dont sont issus les mammifères) – et de stégocéphales (grands amphibiens archaïques). Ces stégocéphales d'Antarctique, dont l'étude a été en partie effectuée par l'un de nous (S. Steyer), sont représentés par des crânes de plus de 60 centimètres de longueur ainsi que par des restes post-crâniens. Amphibiens géants à écailles, aquatiques et carnivores, ils ressemblaient à des crocodiles et devaient occuper les mêmes niches écologiques qu'eux. Ils appartiennent à un genre cosmopolite nommé *Parotosuchus*. Sa présence en Antarctique indique que cette partie du continent a constitué un refuge après la grande extinction de la fin de Permien.

Quant aux synapsides de la formation de Fremouw, ils appartiennent au groupe des dicynodontes, apparu au milieu du Permien. Ces reptiles mammaliens (souvent fouisseurs, pense-t-on) sont caractérisés par de grosses dents évoquant des canines de chien. Des terriers fossiles ont aussi été retrouvés. Ils sont attribués à de petites espèces de dicynodontes. Ces fossiles semblent reliés aux faunes du bassin du Karoo en Afrique du Sud, ce qui devrait permettre de les dater finement. Certaines de ces grandes faunes



5. CRYOLOPHOSAURUS ELLIOTI ÉTAIT UN DINOSAURE PRÉDATEUR, mesurant jusqu'à huit mètres et qui portait sur la tête une crête osseuse, probablement utile pendant la parade (en haut), d'où son nom signifiant « lézard à crête de glace ». La présence en Antarctique d'un prédateur aussi grand prouve qu'au début du Jurassique, il y a environ 185 millions d'années, les milieux de cette région étaient riches et productifs, même s'il gelait plusieurs mois par an.



Leonardo Salgado, Université Nationale du Comahue



© Alain Bédreau 2012 www.paleosgol.com

6. ANTARCTOPELTA OLIVEROI EST LE PREMIER DINOSAURE jamais découvert en Antarctique. Cette espèce herbivore du groupe des ankylosaures vivait sur ce continent au Crétacé, il y a quelque 70 millions d'années. Ses dents munies de denticules (à gauche) lui étaient utiles

pour cisailier les fibres des végétaux, dont il avait probablement de grandes quantités, longuement digérées ensuite par une fermentation. Protégé par sa taille et par une carapace de plaques osseuses dermiques, il était doté d'une « masse d'arme » au bout de sa queue.

ont-elles reconquis le monde à partir de l'Antarctique ?

La plus haute montagne d'Antarctique, le mont Kirkpatrick (4528 mètres), a livré d'intéressantes informations sur les dinosaures. En 1991, l'équipe de W. Hammer avait prospecté à 4100 mètres d'altitude, où affleurent des roches sédimentaires du Jurassique inférieur. Elle y a découvert *Cryolophosaurus ellioti*, un dinosaure carnivore de taille comparable à celle du tyrannosaure (voir la figure 5).

Des dinosaures sous un climat doux

Depuis, les expéditions dans la chaîne Transantarctique se sont succédé et les restes d'un autre dinosaure, prosauropode cette fois (dinosaur à long cou et longue queue), ont été découverts dans la même zone. Il s'agit d'un gros herbivore de plusieurs tonnes : *Glacialisaurus hammeri*, ainsi nommé en l'honneur du pionnier de la paléontologie antarctique W. Hammer. D'autres ossements de dinosaures, ptérosaures (reptiles volants) ainsi qu'une dent de synapside ont également été exhumés sur les flancs du mont Kirkpatrick. Cette petite dent appartient à un groupe de reptiles plutôt herbivores et très proches des mammifères, les tritylodontes. La faune du mont Kirkpatrick suggère qu'un climat plutôt doux régnait en Antarctique au Jurassique inférieur, malgré des latitudes déjà presque polaires. Cela n'est pas sans intriguer : quelle qu'ait été la

Une mission française en Antarctique ?

✓ Une participation française à l'exploration paléontologique de l'Antarctique serait bienvenue, car la terestrialisation des vertébrés et l'évolution des écosystèmes avant et après les grandes crises biotiques sont étudiées en France depuis... des siècles. Il s'agirait par exemple de prospecter les formations d'une zone inexplorée de la chaîne Transantarctique. L'implantation du camp de base au pied des montagnes exigerait soit de prévoir une piste temporaire sur l'inlandsis oriental, soit de coopérer avec une nation possédant déjà un dispositif sur place ou assez proche.



National Science Foundation

Un campement américain dans l'Antarctique

température globale moyenne de l'époque, à de si hautes latitudes, il devait geler durant la nuit. Comment les dinosaures locaux s'y étaient-ils adaptés ? Avaient-ils le sang chaud ?

Dès les premières découvertes paléontologiques effectuées par les Européens et les Argentins pendant l'âge d'or de l'exploration de l'Antarctique, le registre fossile du continent blanc s'est enrichi progressivement, particulièrement dans la péninsule Antarctique de par le travail des équipes argentines et britanniques. Et grâce aux efforts de pionniers tels que W. Hammer, l'exploration paléontologique de la chaîne Transantarctique a été fructueuse.

Outre l'enrichissement du registre fossile en amphibiens, dinosaures, oiseaux, reptiles et autres mammifères, le Graal de la paléontologie antarctique serait de découvrir un amphibien paléozoïque (le Paléozoïque couvre la période allant de 543 à 250 millions d'années), voire l'un des premiers tétrapodes terrestres. Les paléontologues se demandent en effet si l'une des étapes de la sortie des eaux des tétrapodes ne s'est pas jouée dans l'hémisphère Sud. La réponse à cette question consisterait notamment à déterminer les conditions environnementales ayant rendu possible cette transition majeure dans l'histoire de la vie terrestre. Il est clair que la paléontologie n'aurait qu'à gagner d'une exploration plus poussée de l'Antarctique, avec des missions où des géologues seraient étroitement associés à des paléontologues... de toutes espèces. ■



les conférences

à la Cité des sciences et de l'industrie

accès gratuit sur inscription : conferences@universcience.fr



à la Cité des sciences et de l'industrie

La fin de la faim en 2050 ?

Un milliard de personnes dans le monde
5 experts décideurs



La fin de la faim en 2050 ?

Aujourd'hui, un milliard de personnes dans le monde ont faim. Qu'en sera-t-il en 2050 ? Experts, décideurs et étudiants se poseront les vraies questions, sans tabous, ni verrous.



colloque
international

**VENDREDI 11 ET
SAMEDI 12 MAI 2012**

universcience.fr



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



CAMPUS
CONDORCET
Paris - Ashervilliers



IDDRI
SciencesPo



SCIENCE

