

> carbonatés qui stockent d'importantes quantités de carbone (voir l'illustration ci-dessous).

LA PISTE DU CO₂

Dans ce cycle long, la source de carbone (le volcanisme) est indépendante du climat. Ce n'est pas le cas des processus qui piègent le carbone : l'altération des roches dépend de la température et du ruissellement des eaux. C'est cette propriété qu'utilisa Joseph Kirschvink dans son scénario : lorsque la glaciation s'est généralisée, les températures extrêmement froides et l'absence d'eau liquide ont stoppé l'altération des roches, mais les volcans ont continué à émettre du CO₂. Le gaz s'est accumulé dans l'atmosphère et a intensifié l'effet de serre jusqu'à ce que ce dernier contrebalance l'effet d'albédo, provoquant une fonte rapide et brutale des glaces. La glace disparaissant, l'effet refroidissant causé par le fort albédo des glaces s'est atténué, ce qui a accéléré la fonte. Libérée de sa glace, mais avec une atmosphère encore très riche en CO₂, la Terre a alors brutalement quitté son climat glacial pour un climat tropical généralisé.

Ce scénario restait cependant très fragile, car seule la formation d'Elatina témoignait de la présence de glaces aux basses latitudes. Séduit par cette hypothèse, Paul Hoffman, géologue à l'université Harvard, aux États-Unis, partit alors à la recherche de vestiges de ces événements passés afin de vérifier sa vraisemblance. Accompagné de son étudiant en thèse, Galen Halverson, il élabora, au terme de six années d'une exploration minutieuse, la théorie de la Terre boule de neige, qu'il présenta en 1998 (voir l'entretien page 32).

Depuis, cette théorie est devenue un sujet scientifique majeur. Nombre de problèmes concernant la Terre boule de neige ont été élucidés la décennie suivante. De nombreuses séries de dépôts glaciaires du Néoprotérozoïque ont

été découvertes sur tous les continents, et l'amélioration des techniques de datation a permis notamment de montrer leur synchronicité. On a ainsi mis en évidence deux épisodes glaciaires extrêmes de plusieurs millions d'années, datés respectivement de 717 et 649 millions d'années, qui semblent bien avoir été généralisés (et un autre épisode plus ancien, voir l'encadré page 29), et des mécanismes conduisant à l'entrée et à la sortie de chacun ont été proposés à partir de ces données. Cependant, il restait à comprendre comment les organismes photosynthétiques avaient survécu, et comment la vie pluricellulaire avait même profité de ces glaciations extrêmes.

On sait depuis longtemps, grâce à l'exploration des environnements polaires, que nombre d'organismes, surtout microscopiques, survivent au froid et à l'absence saisonnière de lumière. Dès le début des années 2000, les scientifiques se sont donc demandé quelles contraintes supplémentaires, par rapport à ces conditions déjà extrêmes, une Terre entièrement gelée aurait imposées aux organismes. Deux contraintes majeures sont apparues.

La première concerne l'épaisseur de la glace de mer et le blocage du rayonnement solaire. La banquise polaire actuelle est peu épaisse, et son extension limitée par sa fonte saisonnière. Sur une Terre entièrement gelée, c'est différent. Les températures extrêmement basses des pôles

LE CYCLE LONG DU CO₂

Le dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique a pour source principale le volcanisme (qu'il soit continental ou océanique) ①. Sous l'effet de la pluie et de la chaleur, les roches contenant des silicates CaSiO₃ réagissent avec les pluies acides dues à la présence de CO₂ et sont dégradées en un résidu solide et en ions. Au cours de cette altération des roches, le carbone issu du CO₂ est transféré dans les rivières sous forme d'ions hydrogénocarbonate HCO₃⁻ ②, puis dans les océans ③. Dans l'océan, ces ions sont utilisés lors de la précipitation de carbonates ④, ce qui piège le carbone issu du CO₂ atmosphérique pour des millions d'années.

