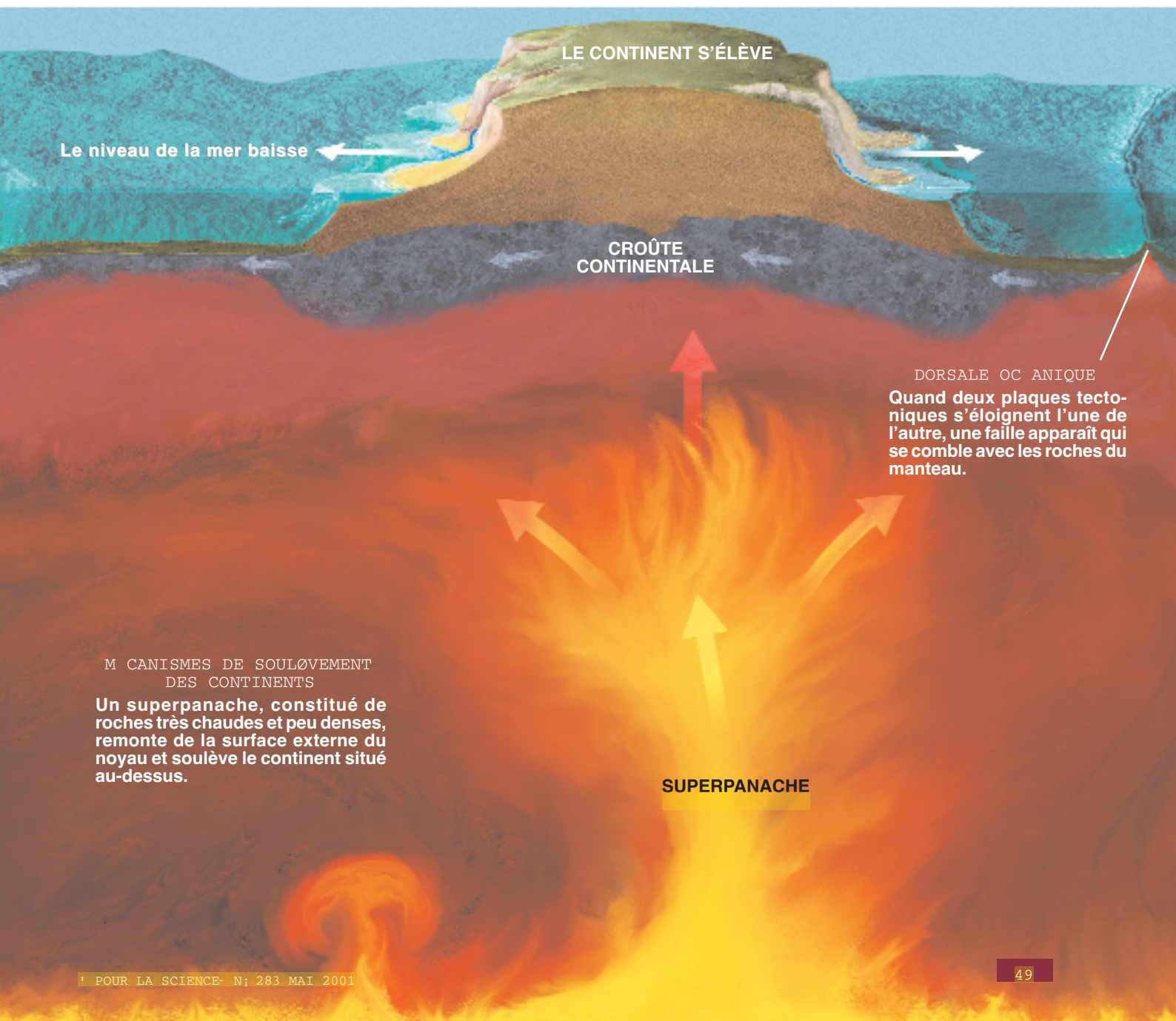


affaissement, puis le soulèvement qui l'a suivi auraient touché une zone de près de 1 000 kilomètres de largeur. Les tenants de la théorie de la tectonique des plaques avaient des difficultés à justifier une telle étendue : la largeur des zones concernées par les mouvements des plaques tectoniques ne dépasse pas quelque 150 kilomètres à partir de leur bord, où la plaque est assez mince pour se courber sous l'effet de la collision. Or, dans la région de Denver, le mouvement vertical s'est déroulé à plusieurs centaines de kilomètres à l'intérieur des terres, très loin de l'influence des collisions de plaques. Un mécanisme totalement différent devait en être responsable.

Une subduction de l'ancien plancher océanique dans le manteau Nord-

américain pouvait-il avoir causé l'affaissement de la région de Denver ? Les géologues trouvèrent que l'effondrement de l'Amérique du Nord durant le Crétacé aurait été causé par une ancienne plaque nommée Farallon, lorsqu'elle plongea dans le manteau sous la côte Ouest. Ils montrèrent, sur une simulation numérique, que l'ancienne plaque s'enfonça dans le manteau presque horizontalement. Lorsqu'elle commença à s'enfoncer, elle aspira, dans son sillage, l'Amérique du Nord assez profondément pour que l'océan s'y déverse. À mesure que la plaque Farallon s'enfonçait, la force d'aspiration faiblissait. La tendance du continent à flotter finit par l'emporter et l'Amérique du Nord refit surface.

La plaque Farallon a depuis longtemps disparu dans le manteau, et l'on ne disposait que d'indices géologiques de son existence, gravés dans le fond de l'océan Pacifique. À la fin des années 1980, les images sismiques n'avaient pas une résolution suffisante pour que l'on puisse détecter un petit fragment de plancher océanique qui s'enfonçait dans le manteau. En 1996, de nouvelles images du manteau ont tout changé. Deux images, obtenues grâce à des mesures sismiques différentes, révélèrent des structures quasi identiques, notamment la plaque Farallon : elle apparaissait nettement sous la forme d'un bloc arqué à quelque 1 500 kilomètres sous la côte Est des États-Unis. Elle se trouve dans la bande de faible gravité observée



MECANISMES DE SOULÈVEMENT DES CONTINENTS

Un superpanache, constitué de roches très chaudes et peu denses, remonte de la surface externe du noyau et soulève le continent situé au-dessus.

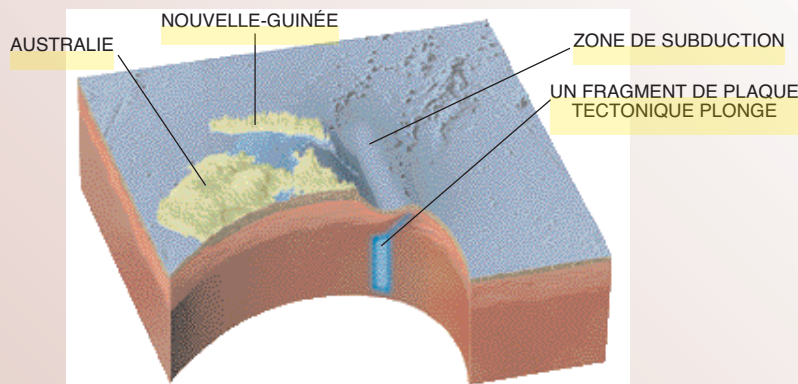
SUPERPANACHE

DORSALE OCÉANIQUE

Quand deux plaques tectoniques s'éloignent l'une de l'autre, une faille apparaît qui se comble avec les roches du manteau.

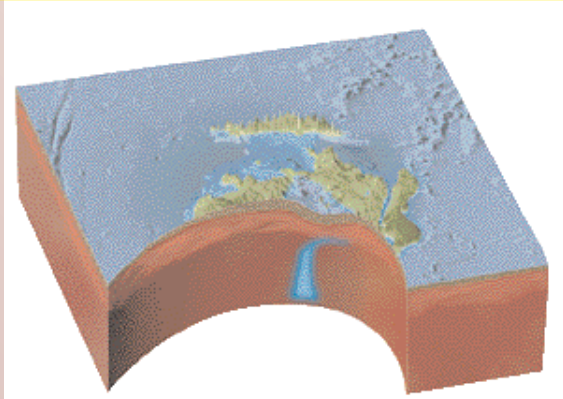
Les mouvements ascendants et descendants de l'Australie

Un modèle informatique révèle comment le fantôme d'une ancienne zone de subduction a aspiré un continent.



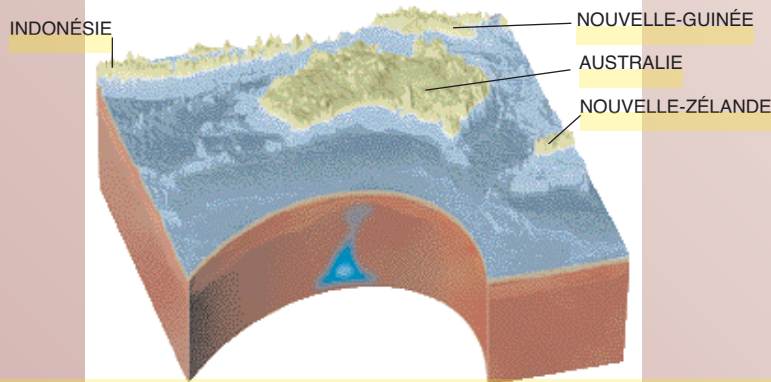
Il y a 130 millions d'années

L'Australie est bordée par une zone de subduction, une profonde tranche où les plaques tectoniques, à l'est, plongent dans le manteau. La plaque qui s'enfonce entraîne avec elle le bord oriental de l'Australie et le manteau dans son sillage. Puis la subduction s'arrête, et le



Il y a 20 millions d'années

Lorsque l'Australie, qui dirige vers l'est, passe au-dessus de la plaque tectonique qui s'enfonce, toute la partie orientale de l'Australie s'arrête d'environ 100 mètres au-dessous du niveau de l'océan. Environ 20 millions d'années plus tard, l'aspiration vers le bas de la plaque plonge crée une mesure qu'elle descend plus profondément dans le manteau et



Aujourd'hui

L'Australie se situe au Nord de sa position initiale. Elle a été repoussée par les déplacements des plaques tectoniques adjacentes qui ont commencé il y a environ 130 millions d'années. Le continent entier s'est soulevé par rapport à son altitude maximale, entraînant vers le bas par la zone de subduction le manteau situé sous l'Indonésie, qui, elle aussi, s'enfonce.

20 ans auparavant entre le Canada, la Sibérie, l'Inde et l'Antarctique.

Les mouvements de l'Australie

Les mouvements verticaux de l'Amérique du Nord ont résulté des phénomènes d'aspiration qu'a provoqués la subduction du plancher océanique et qui ont permis à l'océan d'envahir le fossé d'effondrement. Ces mécanismes s'appliquent-ils aux énigmatiques mouvements continentaux de l'Australie? D'après les modèles informatiques établis depuis une quinzaine d'années, le manteau est capable de soulever la surface de plusieurs centaines de mètres, ce qui suffit à causer une baisse apparente du niveau de la mer. Nous avons alors cherché dans l'histoire des plaques tectoniques des éléments qui auraient provoqué les mouvements verticaux de l'Australie. Pendant le Crétacé, l'Australie, l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Inde, l'Antarctique et la Nouvelle-Zélande étaient rassemblées en un vaste supercontinent, nommé le Gondwana, qui a existé pendant plus de 400 millions d'années, avant de se fragmenter et de former les masses continentales actuelles. Pendant presque toute cette période, une gigantesque zone de subduction où des plaques océaniques froides plongeaient dans le manteau entourait le Gondwana. Nous avons alors émis l'hypothèse que cette zone de subduction, qui entourait le Gondwana pendant des centaines de millions d'années, aurait provoqué les mouvements ascendants et descendants de l'Australie.

Pour comprendre comment la plaque froide s'est comportée dans le manteau lorsque le Gondwana s'est disloqué sur une période de plusieurs millions d'années, nous avons simulé l'influence du manteau sur l'Australie au fil du temps. Nous connaissions la position initiale de l'ancienne zone de subduction, l'histoire des mouvements horizontaux des plaques dans cette région et les propriétés du manteau sous-jacent, notamment une estimation de sa viscosité. Nous avons ainsi élaboré un scénario des mouvements de l'Australie qui correspond bien aux observations (voir l'encadré page ci-contre).

La simulation commençait il y a 130 millions d'années, avec la sub-

duction du plancher océanique sous l'Est de l'Australie. Lorsque cette dernière se détacha du Gondwana, elle passa au-dessus de la plaque froide en subduction, qui aspira la plaque australienne vers le bas. Le continent remonta lorsqu'il poursuivit sa migration vers l'Est en s'écartant de la plaque. Nous avons résolu l'énigme du mouvement de l'Australie durant le Crétacé, et nous avons, à l'aide d'un autre modèle, confirmé que l'Australie s'était bien déplacée vers le Nord en direction de l'Indonésie après le Crétacé, et qu'elle s'est affaissée d'environ 180 mètres. D'après ce modèle, l'Indonésie est aujourd'hui aspirée vers les profondeurs plus que toute autre région du monde, parce qu'elle se situe à l'intersection d'énormes systèmes de subduction dans les océans Pacifique et Indien. À mesure que l'Indonésie s'enfonce, elle entraîne l'Australie avec elle. L'Indonésie est un vaste continent submergé, dont seuls les pics montagneux les plus élevés émergent.

L'Indonésie et l'Afrique sont dans des situations opposées : l'Indonésie est tirée vers le bas, tandis que l'Afrique est repoussée vers le haut. Ces mouvements proviennent de modifications qui se produisent dans le manteau depuis quelques centaines de millions d'années et qui sont liés à l'existence passée du Gondwana. L'immense bande de faible gravité découverte il y a une trentaine d'années résulte de la subduction (qui se poursuit) des plaques tectoniques de la vaste zone qui entourait le continent originel. Au centre du Gondwana se trouvait l'Afrique du Sud. Cette région n'a pas subi le refroidissement lié aux plaques qui plongeaient dans le manteau, car elle en était trop éloignée. Ce phénomène expliquerait pourquoi le superpanache chaud remonte aujourd'hui des profondeurs du manteau à cet endroit.

En conclusion, les mouvements du manteau sculptent la surface de la pla-

nète de différentes façons. Ils contribuent au mouvement horizontal des plaques tectoniques, mais ils provoquent également le soulèvement ou l'affaissement des continents. On a découvert que l'écoulement dans le manteau profond se poursuit très longtemps après le mouvement horizontal des plaques tectoniques. Les positions d'anciennes lisières de plaques exercent encore, des millions d'années après leurs déplacements, un effet sur la façon dont la surface est sculptée.

La convection dans le manteau et les mouvements des plaques tectoniques sont sans cesse mieux décrits. Lorsque la convection du manteau change, le champ gravitationnel se modifie, et nous tentons de suivre ces changements. La détection des variations temporelles du champ gravitationnel de la Terre fait partie d'une mission spatiale germano-américaine nommée GRACE, dont le lancement est prévu en juin. Deux vaisseaux en orbite vont cartographier les variations du champ de gravitation terrestre tous les 15 jours, et nous espérons en déduire les lents mouvements verticaux associés à la convection dans le manteau. Un autre projet, nommé USArray devrait nous fournir bientôt des images sismiques de haute résolution : 400 sismographes itinérants fourniront des images de l'intérieur du manteau, sur les premiers milliers de kilomètres sous les États-Unis, et avec une résolution de 80 kilomètres.

À mesure que ces projets donneront des images et des informations précises sur le manteau, et que les ordinateurs disponibles seront de plus en plus puissants, nous comprendrons de mieux en mieux la dynamique de l'intérieur de la Terre. D'ores et déjà, en considérant la plus vaste région de la planète, c'est-à-dire le manteau, comme un gros morceau de roche qui a sa propre histoire, les géologues ont élu-

Michael GURNIS est géophysicien à l'Institut de technologie de Californie.

M. GURNIS et al, *Dynamics of Cretaceous Vertical Motion of Australia and the Australian-Antarctic Discordance*, in *Science*, vol. 279, p. 1499, 1998.

G. DAVIES, *Dynamics Earth : Plates, Plumes and Mantle Convection*. Cambridge university press, 2000.

M. GURNIS et al, *Constraining Mantle Density Structure Using Geological Evidence of Surface Uplift Rates : the Case of the African Superplume*, in *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol.1, N° 1999GC000035, 2000.

Site web du groupe de recherche de M. GURNIS : www.gps.caltech.edu/~gurnis/geodynamics.html.