

n'étaient plutôt que des éléments d'un réseau qui code l'information sous forme de profils d'activité. Ainsi, tous les neurones participent à l'élaboration du goût. De surcroît, la discrimination neuronale entre des stimulus différents dépend de l'activité simultanée de plusieurs types cellulaires, de la même façon que la vision des couleurs dépend de la comparaison de l'activité des récepteurs de l'œil. Nous en avons déduit que l'information gustative résulte de profils d'activité neuronale.

Les substances qui ont le même goût déclenchent des profils d'activité des neurones similaires. En comparant ces profils chez le hamster et chez le rat, et en utilisant des méthodes statistiques, on a identifié des similitudes entre des profils activés par différents agents sapides : les résultats sont en accord avec d'autres résultats obtenus lors d'expériences comportementales, où l'on détermine les stimulus qui ont des saveurs identiques ou ceux dont les saveurs diffèrent. Ces travaux montrent que les profils d'activation suffisent pour distinguer tous les goûts.

Quand on bloque l'activité de certains groupes de neurones, on perturbe la reconnaissance des goûts. Par exemple, chez le rat, un traitement de la langue par l'amiloride, une molécule antidiurétique, inhibe les canaux à sodium des récepteurs gustatifs qui réagissent surtout au chlorure de sodium. Ce traitement supprime les différences entre les profils d'activité dus au chlorure de sodium et à son substitut, le chlorure de potassium. La réduction de l'activité d'autres types cellulaires abolit également les différences entre les profils d'activité. Ces études montrent qu'un type cellulaire donné n'est pas responsable de la discrimination gustative, mais que celle-ci résulte de la comparaison de l'activité de groupes de cellules. Aussi la saveur dépend-elle de l'activité relative de différents types

de neurones, dont chacun contribue au profil global de l'activité gustative.

Puisque les neurones gustatifs sont sensibles à une grande variété de saveurs, les neurobiologistes comparent les niveaux d'activité de groupes de neurones pour identifier la sensation enregistrée. Aucun type de neurone isolé ne différencie seul des stimulus variés, car une cellule donnée réagit parfois de la même façon à divers stimulus, selon leurs concentrations relatives. Ainsi, le goût ressemble à la vision : grâce à seulement trois types de récepteurs sensibles à une large gamme de longueurs d'onde, nous voyons les multiples couleurs de l'arc-en-ciel. L'absence de l'un de ces récepteurs perturbe la discrimination des couleurs bien au-delà des longueurs d'ondes auxquelles le type de récepteur manquant est sensible.

Toutefois, malgré l'analogie vraisemblable du goût et de la vision des couleurs, certains neurobiologistes se demandent encore si certains types de neurones jouent un rôle privilégié dans le codage des saveurs. Le goût serait-il un sens analytique, où chaque qualité gustative serait distincte, ou bien un sens synthétique, où une combinaison de stimulus constituerait une saveur unique ? Si l'on parvient à identifier la relation entre l'activité des neurones gustatifs peu spécifiques et les sensations suscitées par des mélanges de saveurs, on aura percé les secrets du codage neuronal dans le système gustatif.

Les différents travaux, de l'isolement des protéines réceptrices des cellules gustatives à l'étude de la perception neuronale des saveurs chez l'homme, précisent petit à petit le fonctionnement du goût. Les découvertes à venir constitueront des pistes pour la mise au point de nouveaux édulcorants et pour l'amélioration des substituts du sel et des graisses, c'est-à-dire pour la conception de nourritures et de boissons plus saines et néanmoins goûteuses.

David SMITH est professeur à l'École de médecine de l'Université du Maryland. Robert MARGOLSKEE est professeur de physiologie, de biophysique et de pharmacologie à l'École de médecine du Mont-Sinaï.

Bernd LINDEMANN, *Taste Reception*, in *Physiological Reviews*, vol. 76, n° 3, pp. 718-766, juillet 1996.

Ralph NORGREN, *The Gustatory System*, in *The Human Nervous System*, sous la

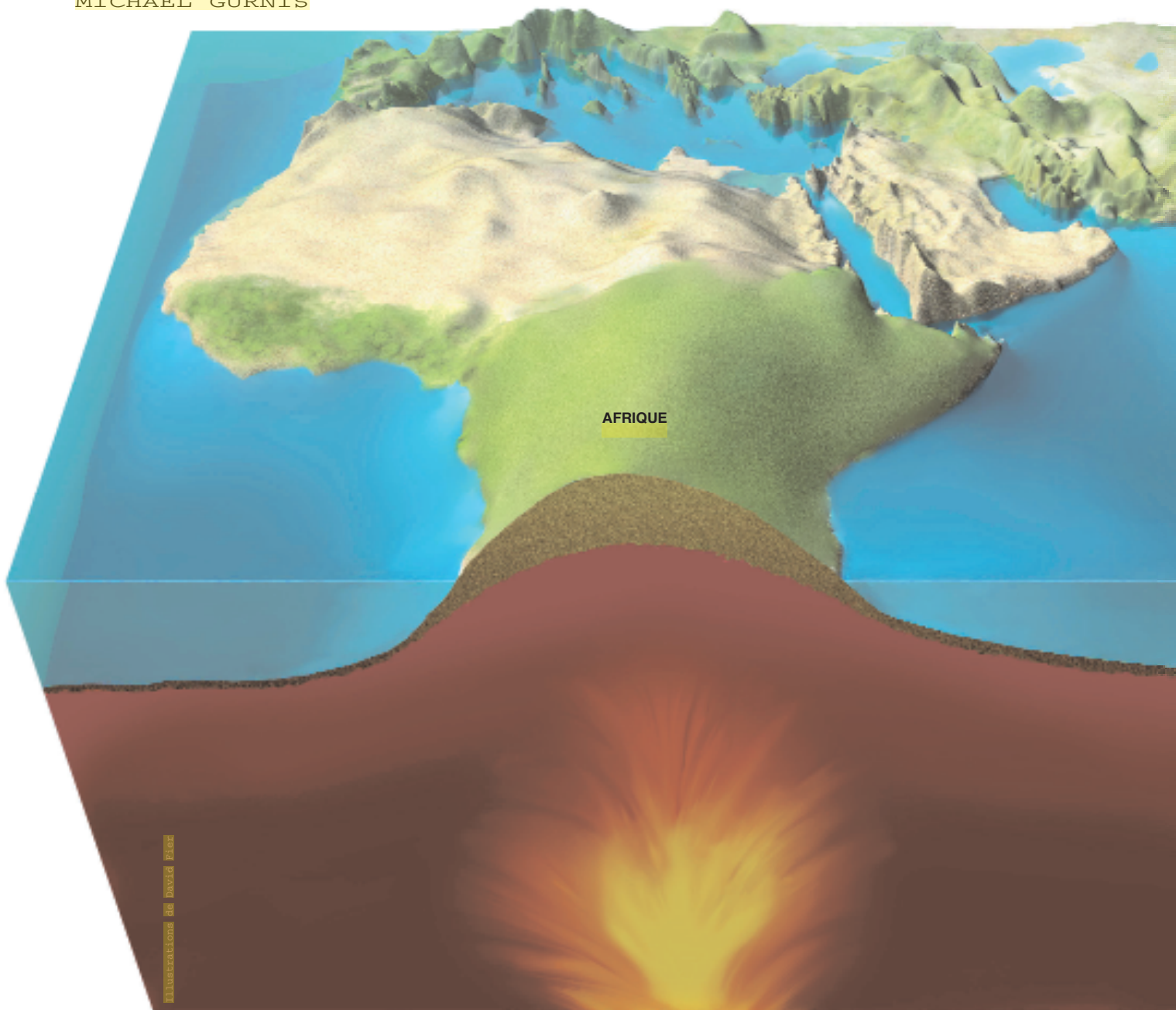
direction de George Paxinos, Academic Press, 1990.

David SMITH et Stephen ST. JOHN, *Neural Coding of Gustatory Information*, in *Opinion in Neurobiology*, vol. 9, n° 4, pp. 427-435, août 1999.

T. GILBERTSON, S. DAMAK et R. MARGOLSKEE, *The Molecular Physiology of Taste Transduction*, in *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 10, n° 4, pp. 519-527, août 2000.

La sculpture des reliefs terrestres

MICHAEL GURNIS

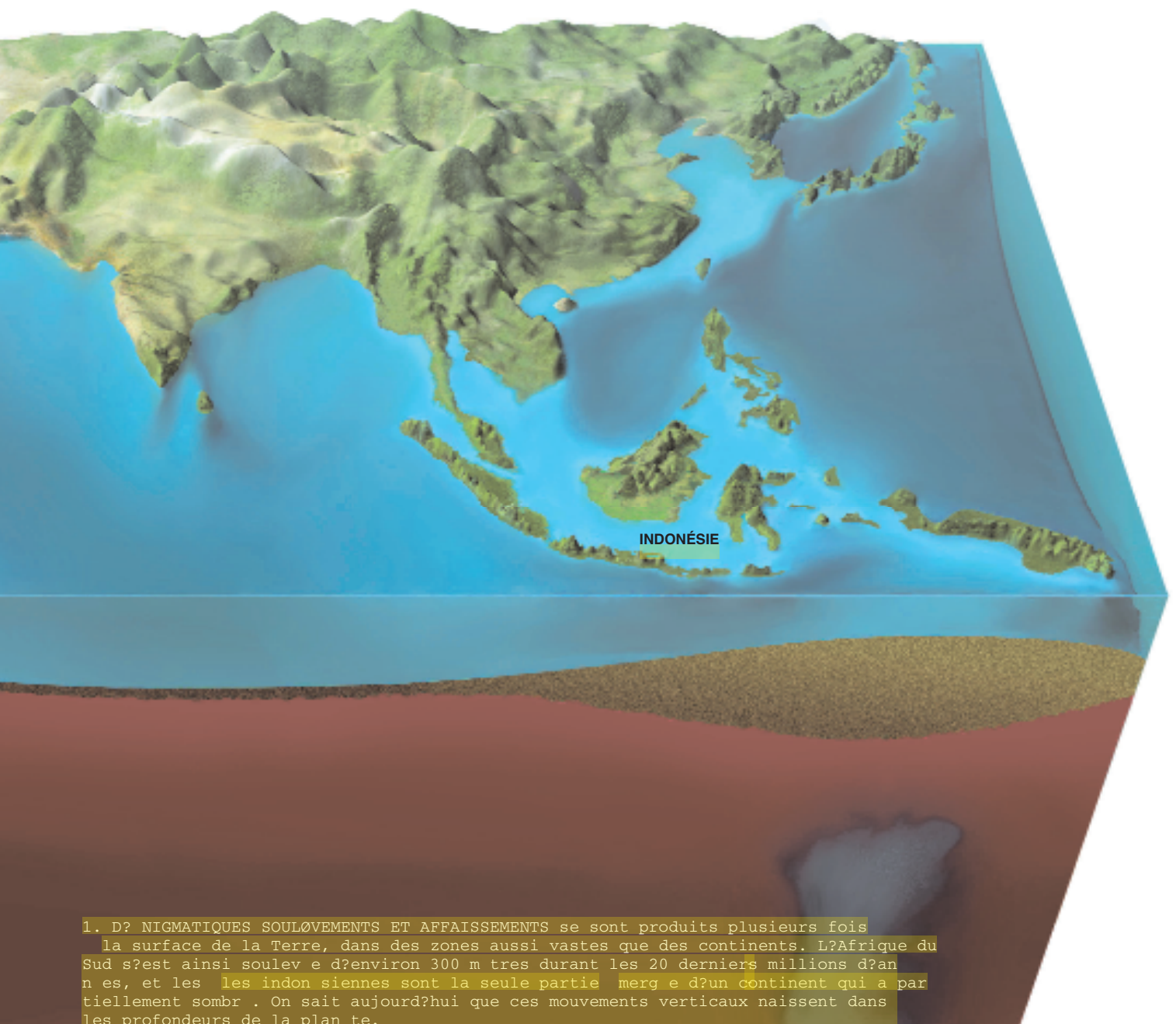


Le relief de la surface de la Terre est façonné par les violentes collisions entre les plaques tectoniques, des fragments mobiles de la croûte terrestre. La chaîne de l'Himalaya, par exemple, résulte de la collision de l'Inde et de l'Asie, et les Andes de l'enfoncement de la plaque océanique de l'océan Pacifique qui plonge sous l'Amérique du Sud. Cependant, les mouvements des plaques tectoniques n'expliquent pas tous les reliefs terrestres.

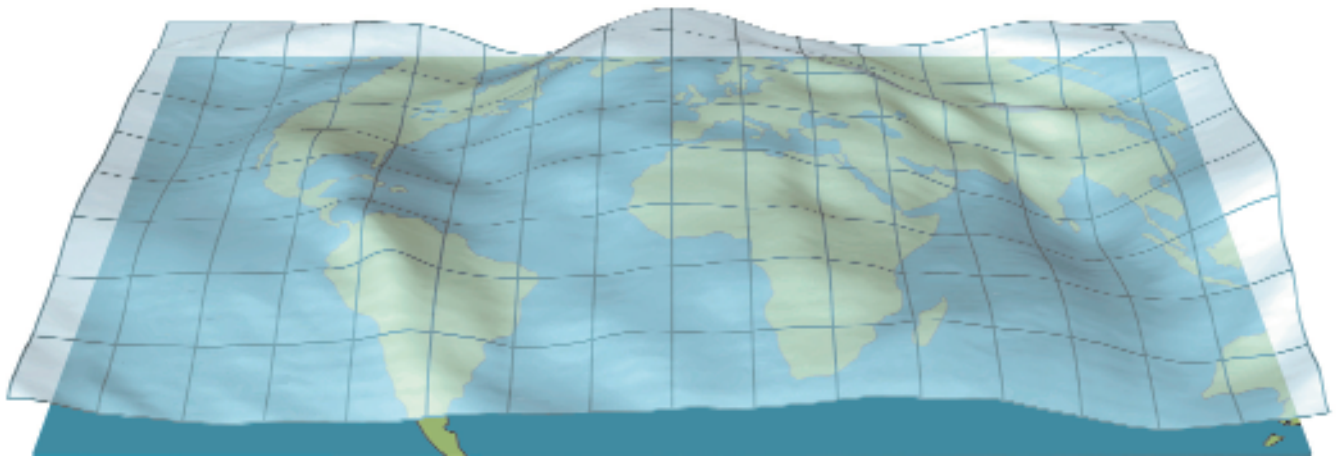
Ainsi, l'Afrique du Sud est couverte de plateaux, parmi les plus vastes du monde, qui s'étendent sur

plus 1 500 kilomètres à plus de 1 500 mètres d'altitude. Des études géologiques ont montré que l'Afrique du Sud et le plancher océanique qui l'entoure s'élèvent lentement depuis plus de 20 millions d'années, bien qu'il n'y ait eu aucune collision tectonique depuis près de 400 millions d'années dans cette zone. Cette région, le «super-bombement» africain, subit un mouvement vertical notable, de même qu'une grande partie de la surface terrestre. Dans le passé, de vastes régions de l'Australie et de l'Amérique du Nord se sont affaissées de plusieurs centaines de mètres, pour resurgir par la suite.

Les géophysiciens pensent depuis longtemps que l'activité des profondeurs de la Terre est la cause de ces mouvements verticaux. Ils en ont cherché des preuves dans le manteau, cette couche composée de roches brûlantes qui se trouve juste sous la croûte terrestre et qui s'étend sur près de 3 000 kilomètres de profondeur, jusqu'au noyau de fer, au centre de la Terre. Le manteau est soumis à d'énormes variations de température et de pression ; elles provoquent un écoulement lent (sur des milliers d'années) de la roche solide, qui se comporte comme une mélasse. Cependant, les géophysiciens ne trouvèrent pas



1. D'ÉNERGÉTIQUES SOULÈVEMENTS ET AFFAISSEMENTS se sont produits plusieurs fois la surface de la Terre, dans des zones aussi vastes que des continents. L'Afrique du Sud s'est ainsi soulevée d'environ 300 mètres durant les 20 derniers millions d'années, et les indonésiennes sont la seule partie émergée d'un continent qui a partiellement sombré. On sait aujourd'hui que ces mouvements verticaux naissent dans les profondeurs de la planète.



2. LES VARIATIONS NATURELLES DU CHAMP DE GRAVITATION répondent aux régions où règne un faible champ de gravitation de la Terre sont représentées par la surface transparente, qui indique un déficit de matière dans le manteau. Une bande recouvre la carte du monde. Les points les plus hauts de la gravitation relient la côte Est de l'Amérique, la Sibérie, l'Antarctique. Ces variations de la force de gravitation correspondent à la normale, due à une masse, puis à l'Antarctique. Ces variations de la force de gravitation correspondent à la normale, due à une masse, puis à l'Antarctique. Ces variations de la force de gravitation correspondent à la normale, due à une masse, puis à l'Antarctique.

d'emblée comment naissent les vastes mouvements verticaux. Aujourd'hui, des modèles informatiques, qui combinent des photographies du manteau actuel et des images reconstruites du manteau passé, expliquent pourquoi certaines régions de la surface de la Terre subissent de tels mouvements ascendants et descendants.

Les géophysiciens élucidèrent d'abord le mystère du super-bombement africain. Depuis la première moitié du XX^e siècle, ils savent que le manteau n'est pas seulement animé d'un lent mouvement de glissement, mais qu'il est malaxé et qu'il mijote comme une soupe épaisse sur le point de bouillir. Les roches les plus chaudes sont les moins denses : elles remontent lentement à la surface. Au contraire, les roches plus froides et plus denses s'enfoncent, jusqu'à ce que la chaleur qui s'échappe du noyau en fusion les chauffe suffisamment pour les faire remonter à nouveau. Ces mouvements de convection sont à l'origine du déplacement horizontal des plaques tectoniques, mais peu de géophysiciens pensaient que les forces engendrées suffisaient à soulever la surface de la planète. Des images de l'intérieur de la Terre finirent pourtant par leur donner raison.

Il y a une vingtaine d'années, des physiciens ont obtenu les premières vues en trois dimensions du manteau en mesurant les vitesses des ondes engendrées par les séismes qui se produisent à proximité de la surface du globe. Ces vitesses dépendent de la composition chimique, de la température et de la pression des roches tra-

versées. Dans les roches chaudes, de faible densité, les ondes sismiques ralentissent, et elles accélèrent dans les régions plus froides et plus denses. Les physiciens enregistrent le temps mis par ces ondes pour se déplacer de l'épicentre d'un séisme jusqu'à une station d'enregistrement. Ils en déduisent les températures et les densités à l'intérieur du globe. Région après région, ils ont ainsi cartographié les températures et les densités dans l'ensemble du manteau grâce aux vitesses sismiques enregistrées lors de milliers de tremblements de terre.

Ces cartographies, de plus en plus détaillées, ont révélé la présence de quelques formations gigantesques dans les parties les plus profondes du manteau. La plus grande d'entre elles se situe juste sous la pointe Sud de l'Afrique. Il y a environ deux ans, des sismologues ont calculé que cette énorme masse en forme de champignon se trouve à environ 1 400 kilomètres du noyau et s'étend sur plusieurs milliers de kilomètres (voir la figure 3). Ce champignon, nommé superpanache, est-il capable de repousser l'Afrique vers le haut ? Dans cette région du manteau, les ondes sismiques sont lentes : les sismologues en ont déduit qu'elle est plus chaude. Toutefois, les mesures ne fournissent la forme et la position du panache qu'à un moment donné. Si sa composition diffère de celle des roches environnantes, il pourrait être plus chaud sans remonter pour autant. Nous avons réalisé un «film» de l'évolution de ce champignon, à partir d'une simulation des phénomènes de

convection dans le manteau. Ce modèle prend en compte la forme et la densité actuelles du superpanache et la date du début de l'élévation de l'Afrique du Sud. Nous avons ainsi déterminé, en 2000, que ce champignon a une flottabilité suffisante pour remonter lentement dans le manteau et pour soulever l'Afrique.

Les géophysiciens ont élucidé le mystère du super-bombement africain assez facilement grâce à des images sismiques et à des modèles informatiques, mais les mouvements ascendants et descendants de l'Amérique du Nord et de l'Australie ont été plus difficiles à expliquer. Les géophysiciens se préoccupent de l'aspect actuel du manteau, sans chercher à expliquer comment il sculpte la surface de la Terre. Pour ce faire, ils doivent s'inspirer de la méthode des géologues, qui étudient comment la surface de la Terre a évolué au cours du temps.

Les fantômes du passé

Les géophysiciens ont commencé à comprendre le soulèvement de certaines parties de l'Amérique du Nord et de l'Australie grâce à l'étude d'un sujet apparemment sans relation : l'influence de la densité du manteau sur le champ gravitationnel de la Terre. Dans les années 1960, on pensait que la gravité serait supérieure au-dessus des régions composées de roches froides, plus denses, dont la masse est plus élevée. Or, lorsque les géophysiciens établirent la première cartographie des variations du champ