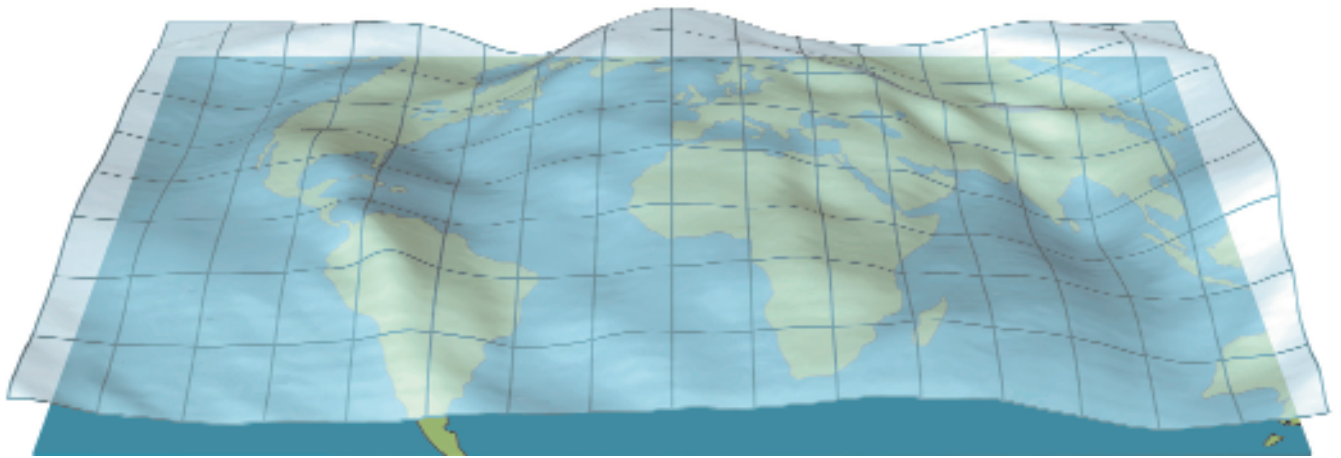




2. LES VARIATIONS NATURELLES DU CHAMP DE GRAVITATION répondent aux régions où règne un faible champ de gravitation de la Terre sont représentées par la surface transparente, qui indique un déficit de matière dans le manteau. Une bande recouvre la carte du monde. Les points les plus hauts de la gravitation relient la côte Est de l'Amérique, la Sibérie, l'Inde, puis l'Antarctique. Ces variations de la force de gravitation indiquent la localisation des principales hétérogénéités de la Terre. Les zones en creux indiquent la localisation des principales hétérogénéités de la Terre.

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

de gravitation de la Terre, ils ne trouvèrent pas que la gravité est liée à la température du manteau, du moins pas de la façon à laquelle ils s'attendaient (voir la figure 2).

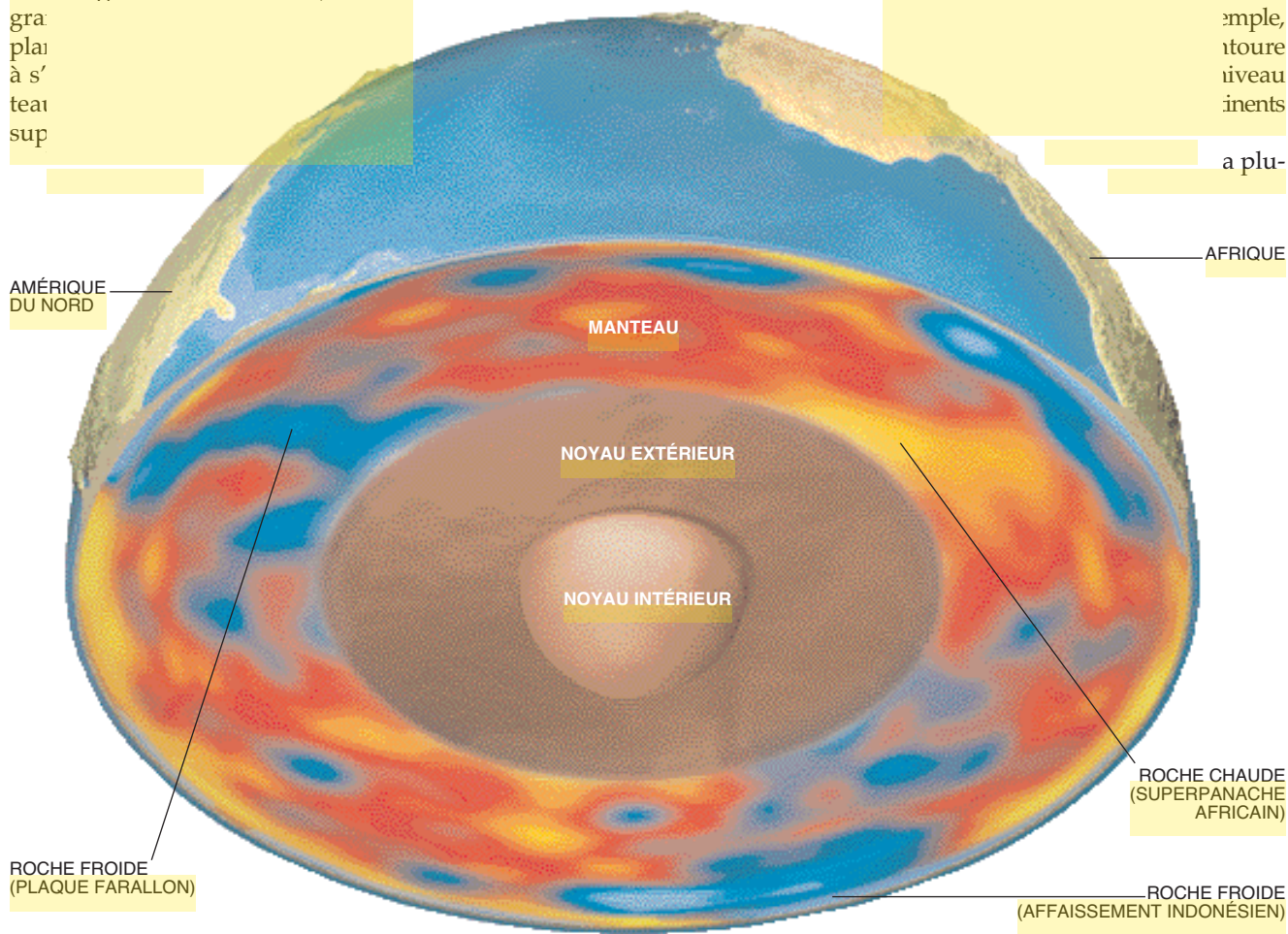
À la fin des années 1970, Clement Chase, de l'Université de l'Arizona, découvrit, au contraire, que la force de gravitation est la plus élevée, non pas au-dessus des régions froides du manteau, mais au-dessus de «points chauds», c'est-à-dire de zones volcaniques isolées. Plus surprenant encore : il observa une longue bande qui s'étend de l'Est du Canada, passe par le pôle Nord, la Sibérie et l'Inde, pour descendre jusqu'à l'Antarctique, et où la gravité est faible. Il montra que cette bande de faible gravité regroupe plusieurs zones de subduction, c'est-à-dire des zones où les plaques tectoniques océaniques replongent dans le manteau, vieilles de 125 millions d'années. Les fantômes de ces anciennes zones de subduction semblaient abaisser la force de gravitation. Pourtant, là où de

des années 1980, Bradford Hager, de l'Institut de technologie du Massachusetts, résolut ce paradoxe. Il montra que la température n'est pas l'unique facteur qui modifie la densité du manteau. En effet, le manteau, considéré sur une longue échelle de temps, est un fluide en mouvement : lorsqu'un fluide de faible densité remonte, ce qui est le cas des parties chaudes du manteau, le fluide de densité supérieure situé au-dessus de lui est repoussé vers le haut. Sous l'effet de ce lent soulèvement, des roches s'accumulent près de la surface terrestre, de sorte que la force de gravitation augmente. De même, lorsque la matière froide dense s'enfonce, elle attire vers le bas des roches qui se trouvaient auparavant près de la surface : au-dessus de cette région, la force de gravitation diminue. C'est pourquoi les fantômes des zones de subduction ont engendré une bande de faible gravité : une partie du plancher océanique froid continue de s'en-

foncer dans le manteau en attirant la surface vers le centre de la Terre. Si cette hypothèse est correcte, le manteau n'est pas simplement animé de lents mouvements horizontaux de glissement, près de la croûte terrestre, mais aussi de mouvements ascendants et descendants qui atteignent la surface : des zones qui remontent repoussent vers le haut les roches situées au-dessus et celles qui s'enfoncent entraînent vers le bas.

Les mouvements verticaux des continents

Au moment où ce mécanisme fut mis en évidence, des géologues montrèrent que les continents avaient bien subi de tels mouvements verticaux. Le niveau de la mer a changé au fil du temps, et ces fluctuations auraient dû toucher tous les continents de la même façon, mais des géologues ont montré que les variations les plus importantes seraient liées aux mouvements verticaux des continents : exemple, l'élévation du niveau de la mer autour de l'Indonésie.



3. LA CARTE DU MANTEAU a été établie grâce aux mesures sismiques qui ont parcouru la planète, après des millions d'années de mouvements de terre. Les régions où les ondes se déplacent lentement indiquent des roches chaudes, moins compactes. Sous l'océan Atlantique Sud et sous l'Afrique du Sud se trouve une zone de roches chaudes nommée 'superpanache africain'. La carte révèle également la présence de matière froide qui s'enfonce en entraînant avec elle des roches chaudes.