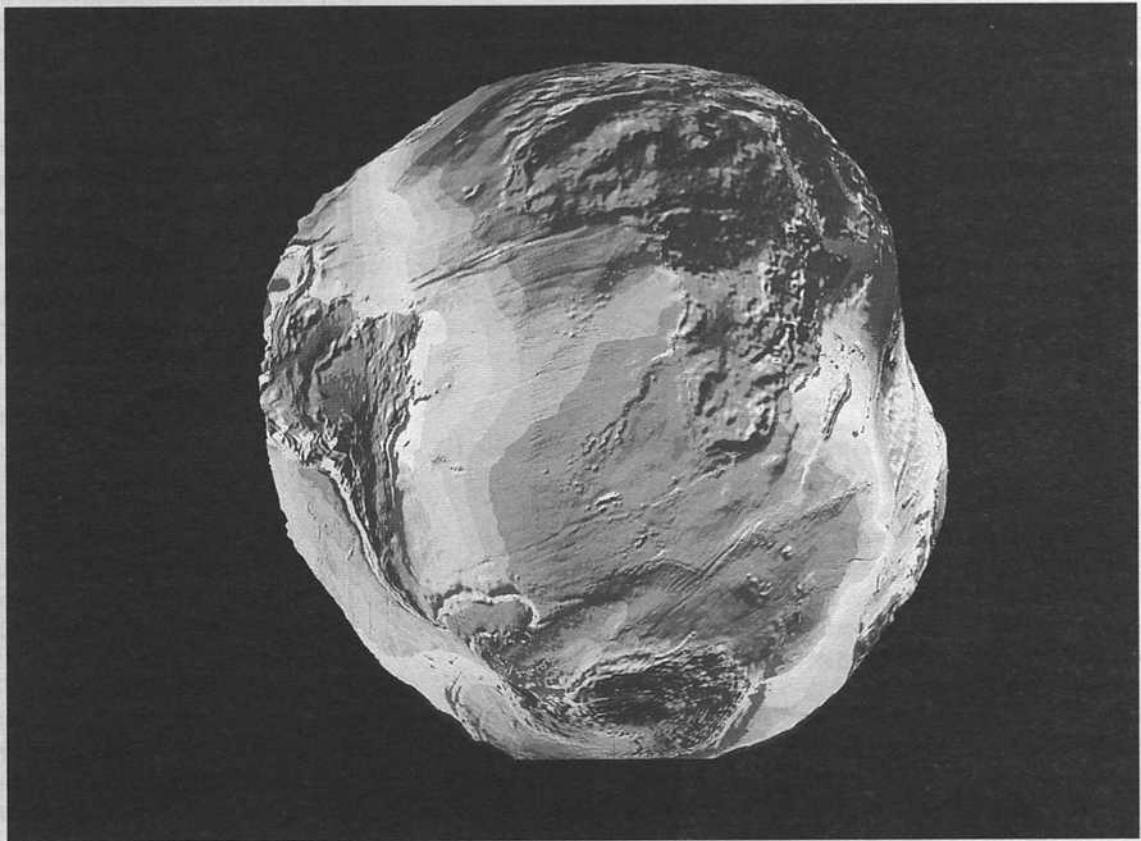


Une controverse du XIXème siècle

La Terre, fluide ou solide ?



VINCENT DEPARIS
*INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE
DE STRASBOURG*

Cordier, le 4 juin 1827, lisait son célèbre mémoire *Essai sur la température de l'intérieur de la Terre* devant l'Académie des Sciences. Il affirmait : « Nos expériences confirment pleinement l'existence d'une chaleur interne, qui est propre au globe terrestre, qui ne tient point à l'influence des rayons solaires, et qui croît rapidement avec la profondeur. (...) Tout porte donc à croire que la masse intérieure du globe est encore douée maintenant de sa fluidité originaire, et que la Terre est un astre refroidi, qui n'est éteint qu'à sa surface ». Les recherches de Cordier correspondaient à un questionnement primordial : comment est constitué l'intérieur de la Terre ? Et surtout quel est son état : fluide ou solide ? Mais à l'époque, comme aujourd'hui d'ailleurs, nul moyen d'aller voir sur place, de sonder directement les entrailles de la Terre. Ce n'est que par les seules informations recueillies en surface et donc par des moyens détournés et des reconstructions indirectes, qu'il fallait se faire une idée. Pour Cordier — dont la vision reflète le large consensus qui s'est établi au début du XIX^{ème} siècle —, la Terre était une énorme masse en fusion recouverte d'une mince écorce rigide d'à peine 40 à 50 kilomètres d'épaisseur. Cette affirmation d'une Terre majoritairement fluide découlait directement de ses observations sur l'accroissement de la température dans le fond des mines. L'augmentation moyenne y était en effet de 1° tous les 25 mètres

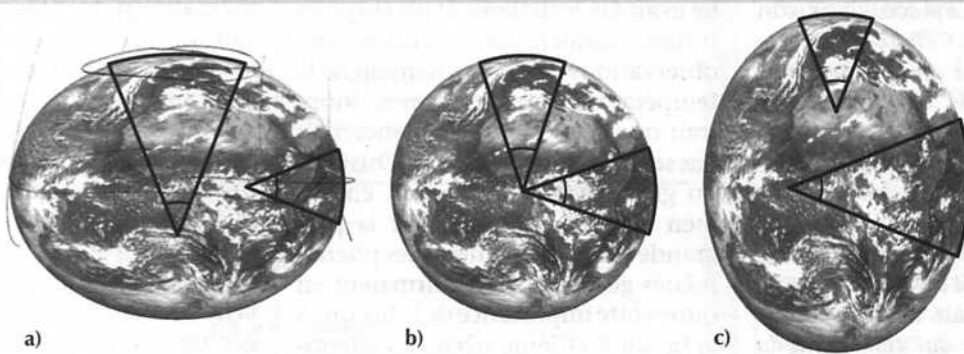
de descente. Avec une telle progression, si l'on supposait que celle-ci se poursuivait indéfiniment, la température de l'eau bouillante était atteinte à 2500 mètres de profondeur (ce qui était confirmé, le croyait-on à l'époque, par les sources d'eau chaude), et dès 50 kilomètres de profondeur, on trouvait une température de 1600 degrés, température à laquelle toutes les roches de la surface étaient en fusion. L'intérieur de la Terre ne pouvait donc être qu'un océan de magma sur lequel flottait une croûte bien fine... Cette idée d'une Terre en fusion harmonisait de plus toutes les connaissances sur la Terre de l'époque et regroupait des conceptions aussi bien astronomiques, géologiques, que de la physique du globe.

Les arguments astronomiques reposaient sur la cosmogonie de Laplace (théorie de la naissance du système solaire) que ce dernier présenta en 1797 dans son *Exposition du système du Monde*. La cohérence des mouvements dans le système solaire, qui se faisaient pratiquement tous dans le même plan et dans le même sens, lui indiquait qu'une même cause primitive avait contrôlé l'ensemble des mouvements planétaires. Il supposait alors que le Soleil avait été initialement enveloppé d'une atmosphère en rotation uniforme qui, en vertu d'une chaleur excessive, était étendue au-delà des orbites de toutes les planètes. La limite de cette atmosphère était en équilibre à cause de l'égalité entre la gravité et la force

centrifuge de rotation. Cependant, au fur et à mesure du refroidissement de l'atmosphère, celle-ci se contractait et voyait, par le principe de la conservation du moment cinétique, sa vitesse de rotation croître. A sa surface, la force centrifuge devenait plus importante que l'attraction et provoquait l'abandon d'un anneau toroïdal de gaz chaud dans le plan équatorial. A chaque contraction thermique, la nébuleuse éjectait un anneau similaire qui se condensait ensuite en une seule masse gazeuse sphérique. Cette succession d'anneaux a ainsi formé les différentes planètes, où le même mécanisme pouvait se reproduire pour engendrer les satellites. L'essentiel de cette théorie de Laplace, qui allait devenir la cosmogonie de référence durant tout le XIX^{ème} siècle, résidait dans le postulat selon lequel la Terre provenait de la condensation d'une masse gazeuse chaude, et qu'elle avait donc originellement été en fusion.

Cette origine ignée du globe était d'ailleurs confirmée par d'autres indices, en particulier par la figure de la Terre et la répartition interne de la densité. Les expéditions françaises envoyées en 1735 au Pérou (Godin, Bouguer, La Condamine...) et en Laponie (Maupertuis, Clairaut...) pour y effectuer des mesures géodésiques ont montré que le degré du méridien était plus grand près des pôles que de l'équateur. Cette observation indiquait que la Terre n'était pas parfaitement sphérique, mais qu'elle avait la

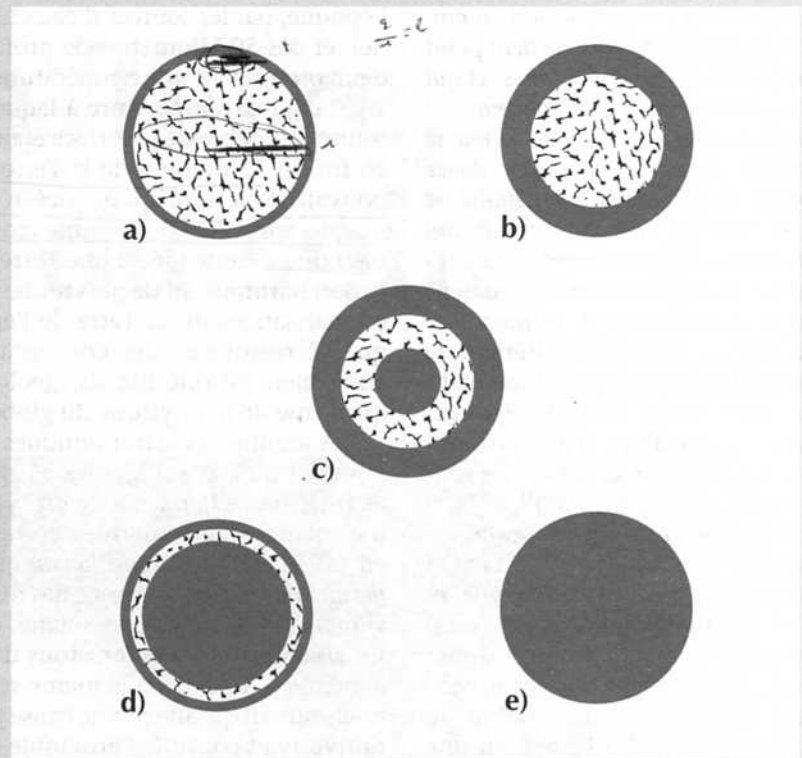
La Terre est-elle aplatie, sphérique ou allongée ?



Nous pouvons apporter la réponse en comparant la longueur d'arcs de méridien (correspondant à un angle identique, déterminé par la hauteur des étoiles au-dessus de l'horizon), à l'équateur et aux pôles. Les expéditions géodésiques françaises, en mesurant un arc plus grand au pôle qu'à l'équateur, montrèrent que la Terre était légèrement aplatie aux pôles.

forme d'un ellipsoïde de révolution légèrement aplati aux pôles, comme l'avait pressenti Newton dès la parution de ses *Principia* en 1687. Si la Terre n'avait pas eu de rotation propre, elle aurait effectivement été parfaitement sphérique à cause de l'égalité gravité de ses parties. Mais la rotation de la Terre sur elle-même et la force centrifuge induite, **nulle** aux pôles et maximale à l'équateur, tendaient à renfler les régions de l'équateur au détriment des régions polaires, et donnait à la Terre cette forme caractéristique en ellipsoïde de révolution. L'aplatissement, qui est la différence entre le rayon équatorial et le rayon polaire divisée par le rayon équatorial, est d'environ 1/300 ; le rayon équatorial est ainsi supérieur au rayon polaire d'une vingtaine de kilomètres. Ces observations géodésiques montraient pour l'essentiel que la figure de la Terre était la même que celle que prendrait une masse entièrement fluide en rotation. D'un autre côté, en 1798, Cavendish avait pu peser la Terre sans sortir de chez lui. Il déterminait en fait la constante de la gravitation en mesurant l'attraction que deux grosses boules de plomb exerçaient sur deux petites balles suspendues aux extrémités d'un levier mobile. Puis, grâce à la valeur de l'attraction à la surface de la Terre, il pouvait obtenir la valeur de la masse de la Terre, ce qui lui donnait une densité moyenne de 5,48 g/cm³ (la valeur actuelle est de 5,52 g/cm³). Or la densité des roches superficielles est de 2,8 g/cm³. Il s'ensuivait que la Terre ne pouvait pas être homogène, mais qu'il devait y avoir dans ses profondeurs des roches plus lourdes pouvant compenser le défaut de masse de la surface. Laplace, dans son *Traité de Mécanique Céleste*, s'interrogeait sur « la cause qui a donné aux couches du sphéroïde des formes à peu près elliptiques et de densité croissante de la surface au centre, qui les a disposées régulièrement autour de leur centre commun de gravité et qui a rendu sa surface très peu différente de celle qu'elle eût prise si elle avait été primitivement fluide ». Il concluait alors : « si les diverses substances qui composent la Terre ont eu primitivement, par l'effet d'une grande chaleur, l'état fluide, les plus denses ont dû se porter vers le centre ; toutes ont pris des formes elliptiques, et la surface a été en équilibre. En se consolidant, ces couches n'ont changé que très peu de figure et présentent bien

Les différents modèles de Terre proposés au XIX^{ème} siècle (d'après Bush)



- a) Croûte solide de faible épaisseur entourant un matériau interne en fusion.
- b) Enveloppe solide épaisse entourant un matériau interne en fusion.
- c) Enveloppe solide épaisse, liquide interne, noyau solide.
- d) Globe pratiquement solide sauf une couche en fusion sous la croûte.
- e) Globe entièrement solide.

les diverses caractéristiques requises ».

Les hypothèses sur l'origine de la Terre, sa figure et la répartition de la densité, indiquaient donc que le globe avait été initialement un corps en fusion. Cordier, par sa synthèse des observations de l'accroissement de la température dans les mines, montrait que cette fusion ne concernait pas seulement les débuts de l'histoire du globe, mais qu'elle était encore bien actuelle, et intéressait la plus grande part de la planète. Les phénomènes géologiques confirmaient en outre cette importance de la fusion. A la fin du XVIII^{ème} siècle, les scientifiques avaient en effet reconnu que les volcans ne résultaient pas de feux souterrains, relativement superficiels et dus à la combustion du charbon — comme on l'avait cru pendant tout le siècle —, mais qu'ils étaient des produits de la fusion des roches terres-

tres. Les volcans étaient alors considérés comme des communications directes entre la surface et la masse fondue sous-jacente. Radau, un mathématicien du XIX^{ème} siècle, écrivait ainsi : « Les volcans sont des témoins irrécusables de l'existence d'un foyer souterrain : ils semblent vraiment les mille portes de l'enfer où couve le feu éternel ». De la même manière, les tremblements de terre étaient envisagés comme une conséquence des mouvements internes du fluide. Cependant, la synthèse de cette idée de la fluidité de la Terre fut réalisée par le géologue Elie de Beaumont : en se refroidissant, l'écorce terrestre était supposée se contracter. Ce processus créait des contraintes, des ruptures, des plissements, qui finalement formaient de nouvelles chaînes de montagnes. Bien que la dissipation de la chaleur soit continue, Elie de Beau-

