

> entre 2,8 centimètres vers l'ouest et 4,7 centimètres vers l'est, et comprises entre 2,3 centimètres vers le nord et 3,7 centimètres vers le sud. Ces mesures étaient très dispersées, mais elles semblaient présenter une asymétrie: la moyenne indiquait une déviation de 9 millimètres vers l'est et de 3,3 millimètres vers le sud. Benzenberg sollicita l'aide de Heinrich Olbers, astronome dont le nom aujourd'hui est attaché au paradoxe de la nuit noire (qui se résume à cette question: si l'Univers est statique et infini, il est rempli d'une infinité d'étoiles, alors pourquoi le ciel nocturne est-il noir?), pour interpréter ces résultats, c'est-à-dire pour obtenir des valeurs théoriques auxquelles les comparer.

Olbers étudia la question et la soumit à son tour à Carl Friedrich Gauss, un des grands mathématiciens de l'époque. L'astronome et physicien français Pierre-Simon de Laplace s'y intéressa aussi, probablement aiguillonné par l'intérêt de Gauss: ils étaient habitués à se trouver en compétition sur des points scientifiques. Ils furent amenés, en décrivant le mouvement de chute dans le référentiel terrestre tournant, à détailler un effet subtil que le mathématicien et ingénieur français Gustave Coriolis retrouva quelques décennies plus tard et que l'on nomme aujourd'hui «force de Coriolis».

Il s'agit du fait que la trajectoire d'un corps qui se déplacerait en ligne droite, à vitesse constante, dans un référentiel «fixe», est perçue comme courbe pour un observateur attaché à un référentiel tournant. Cet observateur interprète cette courbure comme étant l'effet d'une force (la force de Coriolis), que certains tiennent à qualifier de fictive, au même titre que la force centrifuge, car elle ne se manifeste pas dans le référentiel «fixe». C'est précisément cette propriété qui en fait une excellente sonde du caractère tournant ou non d'un référentiel; c'est grâce à elle que le pendule de Foucault (1851) met en évidence la rotation de la Terre sur elle-même.

L'INFIME DÉVIATION VERS LE SUD

En 1803, en étudiant la chute des corps sous l'action de leur poids, de la force centrifuge et de la force de Coriolis, Gauss et Laplace parvinrent à une formule similaire à celle que l'on enseigne encore de nos jours concernant la déviation vers l'est. Pour la déviation vers le sud, Laplace ne prédit «aucune déviation sensible», tandis que Gauss fournit une expression analytique donnant des valeurs non nulles mais très faibles. Pour une chute de 76 mètres comme dans l'expérience de Benzenberg, Gauss obtint une déviation théorique de 8 millimètres vers l'est et de 1 micromètre vers le sud. Si la première valeur est en accord avec la valeur expérimentale de 9 millimètres obtenue par Benzenberg, la seconde ne l'est pas du tout: la valeur mesurée de la déviation vers le sud est

VOYAGE AU « CENTRE DE LA TERRE » DANS UN TUNNEL GRAVITATIONNEL

On appelle « tunnel gravitationnel » la forme du puits qu'il faudrait creuser dans la Terre pour qu'un corps lâché depuis son ouverture tombe sans jamais toucher les parois. La première chose à noter est que le calcul d'une trajectoire dans l'intérieur de la Terre diffère de celui d'une trajectoire au-dessus de la surface. En effet, les lois de la gravitation indiquent que les parties de la Terre situées à un rayon supérieur à la distance entre le centre de la Terre et l'objet exercent une attraction globale nulle. Il faut donc recalculer la part de masse active en chaque point de la trajectoire dans la Terre, ce qui n'est pas le cas en surface où toute la Terre contribue.

Dans le cas où la Terre est considérée comme parfaitement sphérique, homogène et sans rotation, et où les frottements avec l'air sont négligeables, le tunnel gravitationnel serait rectiligne et relierait le point de départ au point situé

à l'antipode. L'objet lâché à l'entrée du tunnel oscillerait entre ces deux points en atteignant une vitesse maximale au centre de la planète. La rotation de la Terre, responsable pour les observateurs qui tournent avec elle de la « force de Coriolis », induit une déviation vers l'est et vers le sud. On montre alors, toujours pour une planète sphérique, que le tunnel est un peu courbé et aboutit à un point situé à quelques milliers de kilomètres à l'ouest du point antipodal. Si ces tunnels devaient être construits et utilisés pour voyager d'un point du globe à un autre, ils ne pourraient être utilisés que dans un sens !

Du fait de sa rotation, la Terre n'est pas sphérique mais aplatie aux pôles. En 2018, je me suis intéressé à la forme de ces tunnels en prenant en compte cette déformation. Le premier résultat étonnant est que la plupart des calculs sont assez simples, accessibles à un étudiant en licence, si l'on prend soin de se placer du point de vue d'un observateur « fixe ». Le second concerne la forme des tunnels : ceux-ci sont entièrement contenus à l'intérieur de la Terre. Ouverts à une extrémité (celle où le corps est lâché), ils ne débouchent nulle part ailleurs à la surface de la Terre (voir la figure ci-dessous).

R. T.

